

Изучение водных и наземных экосистем: история и современность



Международная научная конференция, посвящённая
150-летию Севастопольской биологической станции –
Института биологии южных морей имени А. О. Ковалевского
и 45-летию НИС «Профессор Водяницкий»

13-18 сентября 2021 г.
Севастополь, Россия

Министерство науки и высшего образования РФ
Правительство города Севастополя
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»
Всероссийское гидробиологическое общество при Российской академии наук
Русское географическое общество
Паразитологическое общество при Российской академии наук

Изучение водных и наземных экосистем: история и современность

Международная научная конференция, посвящённая 150-летию
Севастопольской биологической станции —
Института биологии южных морей имени А. О. Ковалевского
и 45-летию НИС «Профессор Водяницкий»

Тезисы докладов

13–18 сентября 2021 г.
Севастополь, Российская Федерация

Севастополь
ФИЦ ИнБЮМ
2021

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
Government of the City of Sevastopol
Federal State Budgetary Institution of Science
Federal Research Centre
“A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS”
Russian Hydrobiological Society
Sevastopol Branch of the Russian Geographical Society
Parasitological Society at the Russian Academy of Sciences

Study of Aquatic and Terrestrial Ecosystems: History and Contemporary State

International scientific conference dedicated to the 150th anniversary
of the Sevastopol Biological Station –
A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas
and to the 45th anniversary of research vessel “Professor Vodyanitsky”

Book of Abstracts

13–18 September, 2021
Sevastopol, Russian Federation

Sevastopol
IBSS RAS
2021

УДК 574(06)

ББК 28я43

ИЗ9

ИЗ9

Изучение водных и наземных экосистем: история и современность : тезисы докладов Международной научной конференции, посвящённой 150-летию Севастопольской биологической станции — Института биологии южных морей имени А. О. Ковалевского и 45-летию НИС «Профессор Водяницкий», 13–18 сентября 2021 г., Севастополь, Российская Федерация. – Севастополь : ФИЦ ИнБЮМ, 2021. – 711 с.

ISBN 978-5-6044865-5-9 <https://doi.org/10.21072/978-5-6044865-5-9>

В сборнике представлены тезисы докладов Международной научной конференции «Изучение водных и наземных экосистем: история и современность», отражающие результаты фундаментальных и прикладных научных исследований в области биологии и экологии водных и наземных экосистем.

Издание предназначено для гидробиологов, географов, экологов, специалистов в области охраны природы и природопользования, работников аквакультурной отрасли, представителей органов власти, преподавателей, аспирантов и студентов.

УДК 574(06)

ББК 28я43

Study of aquatic and terrestrial ecosystems: History and contemporary state : book of abstracts of the International scientific conference dedicated to the 150th anniversary of the Sevastopol Biological Station – A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas and to the 45th anniversary of research vessel “Professor Vodyanitsky”, 13–18 September 2021, Sevastopol, Russian Federation. – Sevastopol : IBSS RAS, 2021. – 711 p.

This book contains abstracts of reports presented at the International scientific conference “Study of aquatic and terrestrial ecosystems: History and contemporary state”. The purpose of the conference was to discuss the results of fundamental and applied scientific research in biology and ecology of aquatic and terrestrial ecosystems.

The publication is intended for hydrobiologists, geographers, ecologists, experts in the field of nature protection and nature management, workers in the aquaculture industry, government officials, teachers, graduate students, and students.

*Материалы опубликованы в авторской редакции
с минимальными корректорскими правками.*

*Публикуется по решению учёного совета ФИЦ ИнБЮМ
(протокол № 12 от 29.09.2021).*

ISBN 978-5-6044865-5-9

© Авторы, 2021

© ФИЦ ИнБЮМ, 2021

Организаторы

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»
Всероссийское гидробиологическое общество при Российской академии наук
Севастопольское городское отделение Русского географического общества
Паразитологическое общество при Российской академии наук

Программный комитет

Сопредседатели

Егоров Виктор Николаевич
акад. РАН, д. б. н., проф., Севастополь, РФ

Горбунов Роман Вячеславович
к. г. н., Севастополь, РФ

Члены программного комитета

Douglas Michael DSc, Fayetteville, USA	Лопатин Алексей Владимирович акад. РАН, д. б. н., проф., Москва, РФ
Pešić Vladimir Doctor of Science, Professor, Montenegro	Матишов Геннадий Григорьевич акад. РАН, д. б. н., проф., Ростов-на-Дону, РФ
Аверьянов Леонид Владимирович д. б. н., проф., Санкт-Петербург, РФ	Неврова Елена Леонидовна д. б. н., Севастополь, РФ
Адрианов Андрей Владимирович акад. РАН, вице-президент РАН, д. б. н., проф., Москва, РФ	Нечаев Владимир Дмитриевич д. полит. н., доцент, Севастополь, РФ
Богатов Виктор Всеволодович акад. РАН, д. б. н., проф., Владивосток, РФ	Павлов Дмитрий Сергеевич акад. РАН, д. б. н., Москва, РФ
Будашкин Юрий Иванович к. б. н., Феодосия, РФ	Пименов Николай Викторович д. б. н., Москва, РФ
Галакад.тионов Кирилл Владимирович д. б. н., проф., Санкт-Петербург, РФ	Плугатарь Юрий Владимирович чл.-корр. РАН, д. б. н., проф., Ялта, РФ
Голубева Наталья Ивановна к. г. н., Москва, РФ	Полонский Александр Борисович чл.-корр. РАН, д. г. н., проф., Севастополь, РФ
Голубков Сергей Михайлович чл.-корр. РАН, д. б. н., Санкт-Петербург, РФ	Рожнов Вячеслав Владимирович акад. РАН, д. б. н., проф., Москва, РФ
Давидович Николай Александрович д. б. н., Феодосия, РФ	Рябушко Виталий Иванович д. б. н., Севастополь, РФ
Дмитренко Павел Сергеевич к. х. н., Владивосток, РФ	Соков Алексей Валентинович д. г. н., Москва, РФ
Довгаль Игорь Васильевич д. б. н., Севастополь, РФ	Солдатов Александр Александрович д. б. н., проф., Севастополь, РФ
Колончин Кирилл Викторович к. э. н., доцент, Москва, РФ	Флинт Михаил Владимирович акад. РАН, д. б. н., проф., Москва, РФ
Коновалов Сергей Карпович чл.-корр. РАН, д. г. н., проф., Севастополь, РФ	Чернецов Никита Севинович чл.-корр. РАН, д. б. н., Санкт-Петербург, РФ
Кочетов Алексей Дмитриевич чл.-корр. РАН, д. б. н., проф., Новосибирск, РФ	Шадрин Николай Васильевич к. б. н., Севастополь, РФ
Крылов Александр Витальевич д. б. н., проф., Ярославль, РФ	

Содержание

Белоусов В. Н., Кожурин Е. А.

Перспективные направления развития марикультуры в Азово-Черноморском рыбохозяйственном бассейне 34

Егоров В. Н.

Эволюция исследований отдела радиационной и химической биологии Института биологии южных морей по проблеме взаимодействия живого и косного вещества с радиоактивными и химическими компонентами морской среды 36

Моисеенко Т. И.

Водная экотоксикология в решении задач оценки качества вод и «здоровья» экосистем 38

Рылькова О. А., Гаврилова Н. А., Игнатъев С. М.

НИС «Профессор Водяницкий»: 45 лет достойной службы (юбилейная ретроспектива на стыке веков) 40

Рябушко В. И., Ерохин В. Е.

История развития в ФИЦ ИНБЮМ научного направления «морские биотехнологии» 43

Солдатов А. А.

Парадоксы биоэнергетики низших позвоночных 46

Ульянова М. О., Сивков В. В.

Морские аспекты карбонового полигона в Калининградской области 48

Биоразнообразие водных и наземных экосистем и его сохранение

Архипов А. Г., Коломейко Ф. В., Пак Р. А.

Изменения индексов видового разнообразия ихтиопланктона северной части Центрально-Восточной Атлантики 51

Асеева Н. Л., Кравченко Д. Г., Измятинская В. Н., Измятинский Д. В.

Особенности ихтиофауны Северного Приморья (Японское море) 53

Атопкин Д. М., Беспрозванных В. В., Шедько М. Б., Рожкован К. В., Ха Н. Д., Нгуйен В. Х.

Новые морфологические и молекулярно-генетические данные для трематод семейства Viscerhalidae Roche, 1907 от костистых рыб Восточно-Азиатского региона 56

Байкова И. Б.

Роль естественнонаучных коллекций Музея Мирового океана в экологическом просвещении 57

Бородина А. С., Беляев А. О., Тихоненков Д. В. Выявление оптимальных условий для культивирования жгутиконосцев телоне- мид	59
Власенко П. Г., Изотова Г. В., Кашинская Е. Н., Соловьев М. М. Разнообразие трематод рода <i>Diplostomum</i> рыб Западной Сибири по результатам ДНК-баркодирования	60
Во Х. Т., Бутаева Ф. Г., Юрахно В. М. Первые сведения о микроспоридиях (Opisthosporidia, Microsporidia) морских рыб Вьетнама	61
Герасимова Е. А. Центрохелидные солнечники солоноватых водоёмов России и мира	63
Губанов В. В. Ихтиопланктон начала летнего сезона в акватории ГПЗ «Утриш» и прилегающей прибрежной акватории	64
Гуня А. Н., Керимов И. А., Гайрабеков У. Т., Гагаева З. Ш. Изучение подземных и поверхностных вод Северного Кавказа и ландшафтные исследования	66
Дбар Р. С., Вольтер Е. Р., Маландзия В. И., Литвинов А. И., Топчян Ж. Л. Современное состояние запаса и перспективы промысла барабули (<i>Mullus barbatus ponticus</i> Essipov, 1927) в Абхазской акватории Чёрного моря	68
Дбар Р. С., Гамахария П. Д. Структура и состояние популяции европейского анчоуса (<i>Engraulis encrasicolus</i> L., 1758), зимующего у берегов Абхазии в 2020/2021 промысло- вый сезон	71
Дбар Р. С., Нешенко И. П., Бибииков Н. Г., Есипов И. Б., Кенигсбергер Г. В., Михеев В. И., По- пов О. Е. К вопросу определения местообитания раков альфеусов <i>Alpheus dentipes</i> (Alpheidae, Decapoda) методом акустической пеленгации	73
Дикаева Д. Р. Распределение сообществ полихет в северо-восточной части Баренцева моря .	75
Дмитриева Е. В., Юрахно В. М., Во Тхи Ха, Нгуен Тхи Хай Тхань, Слынько Ю. В., Слынько Е. Е., Челебиева Э. С., Водясова Е. А. Характеристика паразитофауны кефалей (Mugilidae) из прибрежных вод Цен- трального Вьетнама	77
Дрыгваль П. В., Станис Е. В., Карпухина Е. В. Геозкологическое обоснование определения природоохранного потенциала территорий	79
Ершов П. Н., Фукс Г. В., Хайтов В. М. Основные итоги изучения изменчивости частот встречаемости лево- и право- сторонней морф в популяциях речной камбалы Белого моря	81

Живоглядова Л. А., Елфимова Н. С., Афанасьев Д. Ф. Средиземноморская мидия <i>Mytilus galloprovincialis</i> Lamarck, 1819 (Bivalvia, Mytilidae) в Азовском море	83
Жидков З. В., Сиделева В. Г. Морфологические преобразования у морского вида <i>Myoxocephalus quadricornis</i>, происходящие при освоении послеледниковых пресноводных озёр	84
Жихарев В. С., Гаврилко Д. Е., Золотарева Т. В., Шурганова Г. В. Устьевые области равнинного водохранилища как рефугиумы для редких и чужеродных видов зоопланктона	86
Загумённая О. Н., Коробушкин Д. И. Почвообитающие раковинные амёбы побережья Азовского моря	89
Загумённый Д. Г., Прокина К. И., Радайкина Л. В., Тихоненков Д. В. Видовое разнообразие и морфология центрохелидных солнечников из разнотипных пресных и морских биотопов Евразии	91
Занина М. А. Состояние популяции ириса аировидного в Балашовском районе Саратовской области	92
Зарубина Е. Ю., Феттер Г. В. Особенности состава, структуры и продуктивности водной и прибрежно-водной растительности малых озёр лесной и таёжной зон юга Западной Сибири	94
Зуев Г. В. Популяционная структура европейского анчоуса <i>Engraulis encrasicolus</i> (L.) в Азово-Черноморском бассейне	96
Зуев Г. В., Скуратовская Е. Н. Многолетняя динамика репродуктивного потенциала черноморского шпрота <i>Sprattus sprattus phalericus</i> (Risso) (Pisces: Clupeidae) в Крымском регионе	97
Иваницкий А. Н. К истории изучения фауны рукокрылых субтропических районов Черноморского побережья (конец XVIII — начало XX в.)	99
Иванчева Е. Ю., Иванчев В. П. Биологические особенности озёрного гольяна в Рязанской области	102
Израильская А. В. Первое обнаружение трематоды <i>Neodiplostomum seoulense</i> (Seo et al., 1964) Hong et Shoop, 1995 на территории России: морфология, жизненный цикл и молекулярные данные	104
Исакова Н. П., Виноградова А. А. Заражённость моллюсков <i>Viviparus viviparus</i> трематодами рода <i>Leucochloridiomorpha</i> в водоёмах Санкт-Петербурга	106
Карасев А. Б. К истории изучения фауны паразитов рыб Баренцева моря	107

Карпов С. А.	
Афелиды — паразитоиды или хищники?	110
Кезля Е. М., Гусев Е. С., Мартыненко Н. А., Подунай Ю. А., Шкурина Н. А., Капустин Д. А., Мальцев Е. И., Куликовский М. С.	
Разнообразие аэрофитных микроводорослей Национального парка Кат Тьен (Южный Вьетнам)	111
Керимов И. А., Гагаева З. Ш.	
Гидрологические исследования на Северном Кавказе (XVIII–XIX вв.)	112
Кириченко Н. И.	
Исторические находки липовой моли-пестрянки <i>Phyllonorycter issikii</i> (Lepidoptera: Gracillariidae) на островах и полуостровах в заливе Петра Великого Японского моря	114
Коваль М. В., Горин С. Л.	
Условия формирования видового разнообразия ихтиофауны в эстуариях Камчатки	117
Корниенко С. А.	
Гельминты насекомоядных млекопитающих полуострова Крым	120
Кравцова Л. С., Перетолчина Т. Е., Потемкина Т. Г., Ханаев И. В., Небесных И. А., Купчинский А. Б., Тупикин А. Е., Кабилов М. Р.	
Исследование разнообразия гидробионтов прибрежной зоны озера Байкал в условиях изменяющегося климата и антропогенного воздействия	122
Кривобоков Л. В., Мухортова Л. В.	
Типологическое разнообразие и эколого-географическая характеристика лесного покрова Южной Эвенкии	124
Куликовский М. С., Глуценко А. М., Мальцев Е. И., Мартыненко Н. А., Гусев Е. С., Кезля Е. М., Кузнецова И. В.	
Метабаркодинг и штрихкодирование: что в реальности мы знаем о разнообразии водорослей в водоёмах России	126
Ланге Е. К.	
Структура фитопланктона солоноватоводной Липовской протоки (Финский залив, Балтийское море)	127
Лятун М. В., Ежова Е. Е., Орлова М. И.	
Сравнение двух локальных популяций чужеродных полихет рода <i>Laonome</i> из Вислинского и Финского заливов Балтийского моря	129
Макариков А. А., Стахеев В. В.	
Гельминты грызунов Таманского полуострова	131
Макаров М. В.	
Таксоцен <i>Gastropoda</i> на рыхлых грунтах и в эпифитоне макрофитов залива Дунаув (Чёрное море, Крым)	133

Малуша А. П., Орлова Е. Р., Зуева Н. В.	
Оценка таксономического разнообразия водных макрофитов рек севера Мурманской области	135
Мельник А. С., Ежова Е. Е.	
Распределение фитопланктона в Юго-Восточной Балтике в период цианобактериального цветения летом 2020 г.	137
Мильчакова Н. А., Александров В. В., Бондарева Л. В.	
Развитие и оптимизация природоохранной сети г. Севастополя	139
Неврова Е. Л., Петров А. Н.	
Бентосные диатомовые у побережья Крыма (Чёрное море): иерархические аспекты разнообразия и структуры таксоценов в акваториях с различной степенью техногенного загрязнения	140
Перетолчина Т. Е., Ханаев И. В., Кравцова Л. С.	
Разнообразие гидр (Cnidaria: Hydridae) в Байкальском регионе	141
Пионтковский С. А., Юнев О. А., Чесалин М. В., Царин С. А.	
Роль океанских экспедиций Института биологии южных морей в становлении классических концепций морской экологии	142
Покручина О. А.	
Редкие и охраняемые раннецветущие растения степей запада Саратовской области	143
Празукин А. В., Ли Р. И., Фирсов Ю. К.	
Видовой состав и распределение эпифитных диатомовых водорослей в пологе <i>Zostera noltii</i> Hornemann (Чёрное море)	145
Пышкин В. Б., Прыгунова И. Л.	
Видовое разнообразие элатерид (Insecta: Elateridae) в горно-лесных экосистемах Крыма	146
Ревков Н. К., Болтачева Н. А., Бондаренко Л. В., Лукьянова Л. Ф., Вялова О. Ю.	
Восстановление популяции черноморского гребешка <i>Flehopecten glaber</i> (Bivalvia: Pectinidae) и формирование им одноимённого биоценоза у берегов Крыма	148
Розанов А. С., Мягкая И. Н., Коржук А. В., Изотова А. А., Тошаков С. В., Лазарева Е. В., Пельтек С. Е.	
Микробные сообщества в веществе из потока рассеяния Урского хвостохранилища (Кемеровская область, пос. Урск)	150
Рябушко Л. И., Мирошниченко Е. С., Благинина А. А., Широян А. Г., Лишаев Д. Н.	
Цианобактерии и диатомовые водоросли в обрастании синтетических полимерных материалов (Крым, Чёрное море): их роль и перспективы изучения	153
Садогурская С. А., Белич Т. В., Садогурский С. Е.	
Биоэкологическая характеристика Cyanobacteria морской каменистой супралиторали ООПТ «Мыс Мартъян» (Чёрное море)	155

Самылина О. С., Синетова М. А., Куприянова Е. В., Турова Т. П.	
Цианобактерии рода <i>Sodalinema</i>: экология, биогеография и филогения	156
Сергеева Е. С.	
Видовые комплексы стрекоз озёрных экосистем рек Хопёр и Ворона	159
Серегин С. А., Попова Е. В.	
Индексы биоразнообразия и показатели структуры сообщества метазойного микрозоопланктона в оценке антропогенного воздействия и трофности прибрежных акваторий	160
Симакова А. В., Бабкина И. Б., Бабкин А. М.	
Заражённость промысловых карповых рыб метацеркариями <i>Parascogenimus ovatus</i> в бассейне Средней Оби (Томская область, Россия)	162
Смирнов Р. В.	
Погонофоры: холодноводные и глубоководные организмы или же обитатели биотопов со специфическим химическим составом субстрата и придонной воды? Новые аспекты биологии погонофор в Арктике	164
Смирнова Е. Б., Арушанян Г. С.	
Междуречье Хопёр — Карай как рефугиум ресурсных видов растений	165
Смольяков Д. Д., Москвитина М. И., Филатова О. А., Грабович М. Ю.	
Биоразнообразие нитчатых бесцветных серобактерий рода <i>Sphaerotilus</i> в водных экосистемах	167
Солодовник Д. А.	
Генетическое разнообразие трематоды <i>Metorchis ussuriensis</i> (Opisthorchiidae) на юге Дальнего Востока России	168
Старунова З. И., Старунов В. В., Шунькина К. В., Зайцева О. В.	
Особенности распространения и биология пресноводной мшанки <i>Pectinatella magnifica</i>	170
Столбунов И. А., Чан Дык Зьен	
Влияние чужеродных кольчужных сомов <i>Pterygoplichthys</i> spp. (Loricariidae) на рыбное население водоёмов и водотоков Вьетнама	172
Столяров А. П., Мардашова М. В.	
Видовое разнообразие и пространственная структура макробентоса в лагуне на Зелёном мысу (Кандалакшский залив, Белое море)	174
Студиград Н. П.	
Ихтиопланктон у побережья Новороссийской и Геленджикской бухт в летний период 2019–2020 гг.	175
Татонина Ю. В.	
Потенциально опасный паразит Приморского края — трематода <i>Dicrocoelium</i> sp.	177
Терентьев А. С., Колесников М. В.	
Видовое разнообразие макрозообентоса на различных грунтах в северо-восточной части Чёрного моря (2019 г.)	179

Токранов А. М.	
Трофические группировки донных и придонных рыб различных семейств отряда Perciformes в прикамчатских водах	182
Торгашкова О. Н., Ефимова Д. И., Татьяна Е. О., Каргина Р. Р.	
Структурное разнообразие почвенного банка семян пойменных лесных сообществ	184
Трибун М. М.	
Свободноживущие инфузории (Ciliata, Ciliophora) некоторых пресноводных объектов г. Хабаровска и его окрестностей	186
Усманова Р. Р., Прохорова Е. Е., Лопатина О. Д., Богачева Т. А., Токмакова А. С., Жохов А. Е., Атаев Г. Л.	
Анализ генотипического полиморфизма трематод <i>Leucochloridium paradoxum</i>	189
Филимонова Е. И., Лукина Н. В., Глазырина М. А., Чибрик Т. С.	
Биоразнообразие семейства Orchidaceae на золотавалах Среднего Урала	190
Филинова Е. И.	
Вселенцы в макрозообентосе Саратовского водохранилища	193
Хачева С. И., Гургенян Н. В.	
Редкие виды ксилотрофных базидиомицетов Пицунда — Мюссерского заповедника Абхазии	195
Чабан Е. М.	
Заднежаберные моллюски отряда Cephalaspidea (Gastropoda: Heterobranchia) биоценозов мягких грунтов Карского моря	197
Чернышев А. В.	
Немертины в глубоководных экосистемах дальневосточных морей России	199
Човган О. В.	
Инвентаризация микропланктона в восточной части пролива Фрама: предзимний период	200
Шаганов В. В.	
Визуальные подводные наблюдения за составом и распределением ихтиофауны в районе полуострова Киик-Атлама (Юго-Восточный Крым, Чёрное море)	203
Шадрин С. Н.	
Стоматоцисты золотистых водорослей в водоёмах Ленинградской области	204
Шарапова Л. И.	
Современное состояние зоопланктона глубинных биотопов восточной части Среднего Каспия	205
Юницына О. А., Новоселов А. П., Кондаков А. В.	
Сибирский хариус <i>Thymallus arcticus</i> (Pallas, 1776) в реках европейского севера России: миф или реальность?	207

Юрикова Е. А., Бегун А. А.	
Видовой состав и количественные характеристики ледовой альгофлоры бухт залива Петра Великого Японского моря	209
Ядренкина Е. Н., Равкин Ю. С.	
Современное районирование Северной Евразии по видовому богатству рыб: проблемы и решения	211
Endo Y., Sato Y., Yamaguchi A., and Dovgal I.	
Do Epibiotic Suctorians Choose Attachment Sites of Copepod Body?	213
Fraija-Fernández N., Fernández M., Raga J. A., and Aznar F. J.	
Metazoan Parasite Diversity From Cetaceans	214
Gubanov A., Stefanova K., Goubanova K., Krivenko O., Garbazey O., Altukhov D., Lyashko T., Belokopytov V., and Stefanova E.	
Zooplankton Community Response to Heat Wave 2010 in the Coastal Black Sea Areas: Sevastopol and Varna Bays Case-Studies	215
Mayén-Estrada R.	
Mexican Symbiotic Ciliates: An Overview of Its Diversity	216
Yurakhno V. M., Slyngo Yu. V., Slyngo E. E., Nguyen C. N., Vo T. H., and Whipps C. M.	
New Data on Parasites of the Genera <i>Kudoa</i> and <i>Unicapsula</i> (Myxosporea: Multivalvulida) in Marine Fish of Nha Trang Bay, Vietnam	217

Структура, функционирование и динамика водных и наземных экосистем

Акатов В. В., Акатова Т. В., Афанасьев Д. Ф., Ескина Т. Г., Сазонец Н. М., Сушкова Е. Г., Чефранов С. Г.	
Воздействие доминантов на видовое богатство растительных сообществ разных типов: от макрофитобентоса Чёрного и Азовского морей до альпийских лугов Западного Кавказа	219
Александров С. В.	
Закономерности формирования первичной продуктивности разнотипных лагунных экосистем Балтийского моря	221
Алтухов Д. А., Литвинюк Д. А., Губанова А. Д., Муханов В. С., Ляшко Т. В., Гарбазей О. А.	
Вертикальное распределение и суточные миграции планктонных копепод в глубоководных районах Чёрного моря в 2019–2021 гг.	223
Артамонова К. В., Трофимова В. В.	
Гидрохимические условия прибрежной акватории Балтийского моря в летний период 2014–2019 гг.	225
Биличенко И. Н., Седых С. А., Опекунова М. Ю.	
Постпирогенные исследования горно-таёжных геосистем Прибайкалья	227

Булышева Н. И.	
Формирование сообществ макрообрастания на экспериментальных пластинах в условиях натурального эксперимента в зоне смешения речных и морских вод . . .	229
Вежновец В. В.	
Особенности вертикальной структуры летнего зоопланктона в термически стратифицированных озёрах разной трофности	231
Володченко А. Н.	
Экологическая структура сообществ сапроксильных жесткокрылых затапливаемых прибрежных лесов северной степи	234
Гаврилко Д. Е., Синев А. Ю., Жихарев В. С., Шурганова Г. В.	
Распространение редких литоральных видов ветвистоусых ракообразных в Среднем Поволжье	235
Газизова Т. Ю., Сапелко Т. В.	
Динамика водной растительности озера Ховатанлампи (северо-восток Ладжского озера)	237
Галактионов К. В.	
А мы пойдём на Север! Паразиты в морских прибрежных сообществах Арктики и потепление климата	239
Герб М. А., Володина А. А., Полунина Ю. Ю.	
Особенности зарастания реки Преголя после проведённых гидротехнических работ	241
Головатюк Л. В., Шитиков В. К., Зинченко Т. Д.	
Анализ пространственного распределения макрозообентоса лотических систем Среднего и Нижнего Поволжья	243
Горбунов Р. В.	
Особенности функционирования ландшафтов Крымского полуострова в условиях региональных проявлений изменения климата	245
Далечина И. Н.	
Первичная продукция фитопланктона в Волгоградском водохранилище в 2003–2019 гг.	247
Деревенская О. Ю.	
Изменения в сообществах зоопланктона восстановленных озёр системы Лебяжье	248
Дмитриева О. А., Семенова А. С., Крек А. В., Подгорный К. А.	
Структура планктонных сообществ Балтийского моря летом 2012–2019 гг.	250
Дрыгваль А. В., Дрыгваль П. В., Горбунов Р. В., Лапченко В. А.	
Сезонные закономерности функционирования степных ландшафтов Карадагского заповедника	251
Ермолаева Н. И.	
Влияние зимних заморов на структуру зоопланктона малых озёр лесостепной зоны юга Западной Сибири	253

Максимова О. Б., Жук Е. А.	
Многолетняя динамика фотосинтетических пигментов фитопланктона в Лужской губе Финского залива Балтийского моря	255
Загородняя Ю. А., Пионтовский С. А., Прусова И. Ю., Серикова И. М., Евстигнеев В. П., Дегтяр И. В., Ал-Хашми Х.	
Noctiluca scintillans в трёх океанах: ареал и сезонная динамика численности	257
Зуенко Ю. И., Асеева Н. Л.	
Деоксигенация промежуточного слоя Охотского моря и её влияние на батиметрическое распределение чёрного палтуса	259
Иванов А. А., Севастьянов В. С., Смирнова Л. Л., Шныкин Б. А., Долгонос А. А.	
Первородный энергетический ресурс протобионтов	260
Казанцева Т. И., Адамович Б. В.	
Какие факторы сильнее всего влияют на многолетнюю динамику озёрной экосистемы (по данным мониторинга Нарочанских озёр за 1978–2015 гг.)	261
Карасева Е. М., Ежова Е. Е.	
Пространственно-временная изменчивость распределения икры балтийского шпрота в летние сезоны 1996 и 2020 гг.	262
Каткова-Жукоцкая О. А., Катков-Жукоцкий П. С.	
Аэрофотосъёмка: история развития и современные методы, применяемые в биологических и экологических исследованиях (обзор)	264
Кожухова Е. В., Макаревич Е. В., Литвинова М. Ю., Мищенко Е. С.	
Аммонифицирующая способность биофлокулянт-продуцирующих микроорганизмов, выделенных из гидроэкосистем Арктического региона	266
Козлов О. В., Аршевский С. В., Шаров А. В., Накоскин А. Н., Филистеев О. В., Павленко А. В.	
Популяции <i>Gammarus lacustris</i> как основа формирования фаунистических комплексов малых лесостепных озёр Западной Сибири	269
Королькова Е. О., Толпышева Т. Ю., Щепкина Э. П.	
Видовой состав эпилитных лишайников на некоторых военных укреплениях Северной стороны г. Севастополя	271
Косых Н. П.	
Биологическая продуктивность растительности болот Западной Сибири	272
Крашенинникова С. Б., Шокурова И. Г., Минкина Н. И., Самышев Э. З.	
Влияние гидрометеорологических и гидрохимических факторов на распределение компонентов экосистемы Чёрного моря	274
Курбатова А. И., Тарко А. М., Слабоспицкая А. С.	
Оценка динамики углерода в аридных и семиаридных зонах с помощью модели глобального цикла углерода ВЦ РАН имени А. А. Дородницына	275
Кутявина Т. И., Рутман В. В., Ашихмина Т. Я.	
Возможности применения спектральных индексов для определения степени эвтрофирования водоёмов Кировской области	277

Лапин С. А.	
Методические подходы к организации комплексных исследований крупных эстуарных экосистем на примере Обской губы	278
Ли Р. И., Сысоева И. В., Сысоев А. А., Латушкин А. А.	
Структура фитопланктона Чёрного моря в весенний период	281
Лубенец Л. Ф., Черных Д. В., Коломейцев А. А.	
Оценка динамики характеристик дождевых паводков и водности в бассейнах рек Касмала и Майма в летне-осеннюю межень	283
Лунева Н. Н.	
К вопросу о структуре агроэкосистем	286
Майкова О. О., Букшук Н. А., Кравцова Л. С., Небесных И. А., Ханаев И. В.	
Мониторинг состояния эндемичной спонгиофауны озера Байкал в условиях массовой эпизоотии в местах с разной антропогенной нагрузкой	289
Макаревич П. Р., Водопьянова В. В., Булавина А. С., Махотин М. С.	
Термохалинные характеристики и пространственное распределение хлорофилла а в Карском море	291
Манов А. В., Бобкова К. С.	
Еловые леса Печорского бассейна как эталон коренных фитоценозов европейской тайги	293
Мельников В. В.	
Итоги и перспективы гидробиологических исследований пелагического редокс-клина и субкислородного слоя Чёрного моря	296
Менделева В. П., Волкова И. В., Баранова Ю. И.	
Оценка степени засоленности почв Володарского района Астраханской области	298
Мухортова Л. В., Сергеева О. В., Кривобоков Л. В., Осипенко Я. С.	
Структура лесной подстилки лиственничных экосистем криолитозоны Средней и Южной Сибири	300
Напреенко М. Г., Напреенко-Дорохова Т. В., Соснина И. А., Сапожников Ф. В.	
Динамика прибрежных экосистем Куршской лагуны Балтийского моря в голоцене	302
Павлова Л. В., Фролов А. А., Зимина О. Л., Евсеева О. Ю., Дикаева Д. Р., Румянцева З. Ю., Пантелеева Н. Н.	
Бентос северо-востока Баренцева моря: современное состояние и многолетняя динамика	305
Празукин А. В., Фирсов Ю. К., Латушкин А. А., Чепыженко А. А.	
Распределение солнечной радиации в пологах многоклеточных водорослей и морских трав	307

Пузанов А. В., Бабошкина С. В., Двуреченская С. Я., Рождественская Т. А., Балькин С. Н., Балькин Д. Н., Салтыков А. В., Трошкова И. А.	
Биогеохимическая обстановка водосборных бассейнов как один из основных факторов формирования микроэлементного состава поверхностных вод притоков Телецкого озера	308
Реутова Т. В., Дреева Ф. Р., Реутова Н. В.	
Посттехногенное развитие водной и наземной экосистем на территории хвостохранилища Тырныаузского горно-обогатительного комбината (Центральный Кавказ)	310
Русяев С. М., Зырянов С. В.	
О факторах естественной смертности пинагора у Мурманского побережья Баренцева моря	313
Сабитова Р. З., Айрапетян А. О., Косолапов Д. Б., Сахарова Е. Г., Косолапова Н. Г., Малин М. И., Малина И. П., Цветков А. И., Крылов А. В., Овсепян А. А., Гамбарян Л. Р., Мамян А. С., Акопян С. А.	
Факторы, определяющие специфические изменения планктона при повышении количества рыб в крупном горном озере (Севан, Армения)	316
Семенов Д. А., Воякина Е. Ю.	
Динамика изменений некоторых лимнологических параметров озера Никоновское (Валаамский архипелаг)	317
Серикова И. М., Брянцева Ю. В., Евстигнеев В. П., Пионтковский С. А., Жук В. Ф., Георгиева Е. Ю., Минский И. А.	
Влияние холодных зим на сезонную сукцессию фитопланктона и структуру поля биолюминесценции в шельфовой зоне в районе Севастополя	319
Скок Н. В., Иванова Ю. Р.	
Применение фенологических методов для экологического мониторинга	321
Смирнова Е. А., Оганесян А. А., Савикин А. И.	
Роль видов-вселенцев в структуре сообществ Таганрогского залива в 2014–2020 гг.	323
Стельмах Л. В., Мансурова И. М., Георгиева Е. Ю., Бабич И. И., Ковригина Н. П.	
Адаптация фитопланктона Чёрного моря к климатическим изменениям и усиленной антропогенной нагрузке: гипотезы и факты	325
Стратаненко Е. А.	
Структурно-функциональная роль офиур в донных сообществах арктических морей	327
Черных Д. В., Малыгина Н. С., Курятникова Н. А., Бирюков Р. Ю., Золотов Д. В., Першин Д. К., Митрофанова Е. Ю.	
Анализ пространственного и временного распределения частиц микропластика на ландшафтной основе (на примере Алтайского региона)	328
Шадрин Н. В.	
Экология водоёмов: от нахождения среднего к пониманию уникального	331

Шаров А. Н. Особенности развития подлёдного фитопланктона в небольших субарктических озёрах	332
Шурганова Г. В., Жихарев В. С., Гаврилко Д. Е., Кудрин И. А. Динамика планктонных сообществ Чебоксарского водохранилища за 40-летний период его существования	333
Яковенко В. А., Шадрин Н. В., Ануфриева Е. В. Влияние ветра на распределение зоопланктона: на примере небольшого гипер-солёного озера Мойнаки (Крым)	335
Ясакова О. Н., Литвин А. Ю. Состояние планктонных сообществ в открытой северо-восточной части Чёрного моря в декабре 2017 г.	337
Mukhanov V. S., Sakhon E. G., Polukhin A. A., and Artemiev V. A. Flow Cytometry–Measured Cryptophyta Abundance and Biomass in the Bransfield Strait During Austral Summer	339

Экология, физиология, поведение и биохимия гидробионтов

Агафонов А. В., Логоминова И. В., Панова Е. М. Подводная акустическая сигнализация черноморской белобочки (<i>Delphinus delphis ponticus</i> Varabash, 1935)	341
Аминина Н. М., Вишневская Т. И., Кадникова И. А., Гончаренко С. И. Характеристика водорослей и морских трав дальневосточных морей по содержанию свинца и мышьяка	344
Андреева А. Ю., Кладченко Е. С., Кухарева Т. А., Водясова Е. А., Челебиева Э. С., Гостюхина О. Л. Показатели неспецифического иммунного ответа и антиоксидантного статуса тихоокеанской устрицы (<i>Crassostrea gigas</i>) в условиях экспериментальной гипоксии	346
Бедошвили Е. Д., Ханаев И. В., Небесных И. А., Майкова О. О. Ультраструктура <i>Lubomirskia baicalensis</i> из природной популяции оз. Байкал в норме и при патологии	348
Беляева О. И., Чечина О. Н. Оценка встречаемости дельфинов в Севастопольской бухте в 2012–2018 гг. (Чёрное море)	350
Березина Н. А. Особенности энергетического обмена северных популяций разноногих ракообразных (Amphipoda)	352
Бородина А. В. Особенности состава каротиноидов черноморских двустворчатых моллюсков	353

Брюханов А. Л., Власова М. А., Хижняк Т. В.	
Характеристика нового штамма сульфатредуцирующих бактерий рода <i>Desulfovibrio</i>, выделенного из акватории г. Севастополя	355
Бугаев Л. А., Войкина А. В., Жарынина И. И., Лисовская В. В., Кириченко О. В.	
Сравнительная характеристика показателей антиоксидантного комплекса гигантской устрицы (<i>Crassostrea gigas</i>) из различных районов Чёрного моря	357
Бурлаков И. А., Волкова И. В., Крючков В. Н., Егорова В. И., Сейдалиева Л. К.	
Изменения печени густеры <i>Blicca bjoerkna</i> (L., 1758) дельты Волги как морфофизиологический индикатор изменения условий обитания	359
Войкина А. В., Бугаев Л. А., Лисовская В. В., Кириченко О. В., Жарынина И. И., Сергеева С. Г., Цыбульская М. А.	
Состояние антиоксидантной системы и физиолого-биохимические показатели тарани из различных районов Азовского моря	361
Гаврюсева Т. В., Сигачева Т. Б., Чеснокова И. И.	
Анализ биохимических показателей и гистопатологических альтераций у кефали сингиля <i>Chelon auratus</i> (Risso, 1810) из акваторий Юго-Западного Крыма (Чёрное море)	363
Галактионова М. Л., Гераскин П. П.	
Влияние перекисных процессов на активность цитохромоксидазы бычков	364
Городовская С. Б., Сушкевич А. С.	
Состояние гонад покатной молодежи горбуши из реперных рек Камчатки	365
Григорьев Д. И., Юрлова Н. И.	
Выживаемость трематод семейства Opisthorchiidae во вторых промежуточных хозяевах — карповых рыбах — в условиях разной минерализации воды: экспериментальное изучение	368
Грушко М. П., Федорова Н. Н.	
Особенности состава эритроцитов периферической крови осетровых рыб	370
Давидович Н. А.	
Способ доставки гамет к месту сингамии как тренд эволюции у диатомовых водорослей	371
Давидович О. И., Давидович Н. А.	
Половое воспроизведение бентосной диатомовой водоросли <i>Haslea</i> sp. с корсиканского побережья	372
Ефимова Т. В., Чурилова Т. Я., Моисеева Н. А., Скороход Е. Ю.	
Адаптация фитопланктонного сообщества к спектральному составу света	373
Зуев Ю. А., Русяев С. М.	
Вариативность поведения пинагора в период охраны потомства	374
Иванчев В. П.	
Экспансия лебедя-шипунa в Рязанской области	376

Истомина А. А.	
Антиоксидантная активность различных видов дальневосточных двустворчатых моллюсков из естественной среды обитания	378
Казанкова И. И., Казанцев С. В.	
Циркадный ритм движения створок молодежи мидии <i>Mytilus galloprovincialis</i> Lam. в условиях пищевой недостаточности	380
Кальченко Е. И., Городовская С. Б., Горбань А. П., Попков А. А.	
Оценка физиолого-биохимических показателей молодежи кижуча при выращивании на Паратунском заводе (Камчатка)	382
Каниева Н. А.	
Влияние нефти на физиологические механизмы резистентности рыб	384
Карамушко Л. И.	
Энергетические закономерности роста у морских рыб Арктики	386
Кашинская Е. Н., Симонов Е. П., Власенко П. Г., Соловьев М. М.	
Разнообразие ассоциированной микробиоты цестод, паразитирующих в мышцах и кишечнике рыб рода <i>Coregonus</i> озера Телецкое	388
Кладченко Е. С., Андреева А. Ю., Рычкова В. Н.	
Влияние осмотического стресса на морфофункциональные параметры гемоцитов двустворчатого моллюска <i>Anadara kagoshimensis</i>	390
Клиндух М. П., Меньшакова М. Ю.	
Суточная динамика свободных аминокислот в бурой водоросли <i>Fucus vesiculosus</i> Linnaeus, 1753 Баренцева моря в период полярного дня	392
Коляда М. Н., Осипова В. П., Пименов Ю. Т., Берберова Н. Т.	
Влияние фосфорсодержащего фенольного антиоксиданта на уровень спонтанного и индуцированного пероксидного окисления липидов спермы белорыбицы	394
Копий В. Г., Зайцева О. В., Петров С. А.	
Некоторые аспекты биологии полихеты <i>Ficoromatus enigmaticus</i> (Fauvel, 1923) из массовых поселений в акватории крымского побережья (Чёрное море)	396
Косова М. В., Деревенская О. Ю., Унковская Е. Н.	
Гидробиологические исследования озёр ВКГПБЗ после деятельности хозяйственных объектов	397
Кузнецова Т. В.	
Референтные значения функциональных показателей некоторых видов пресноводных двустворчатых моллюсков (сем. Unionidae) и раков (Decapoda, сем. Astacidae)	399
Куцын Д. Н.	
Эколого-географическая изменчивость жизненного цикла султанки <i>Mullus barbatus</i> (Mullidae) бассейна Средиземного моря	401
Литвиненко А. В., Христофорова Н. К., Цыганков В. Ю., Ковальчук М. В.	
Микроэлементный состав западносахалинской кеты	403

Логоминова И. В., Агафонов А. В., Панова Е. М., Литвин В. А., Голубцова А. В., Мельникова Ф. Э. Пространственно-временное распределение черноморской афалины (<i>Tursiops truncatus ponticus</i> Varabash, 1940) в акваториях крымского побережья. Этолого-акустические методы описания	404
Малинина Ю. А., Джаяни Е. А., Филинова Е. И., Колозин В. А., Мелешин Д. И. Гидробиологические исследования малого водохранилища Самарского Заволжья	406
Минкина Н. И., Самышев Э. З. Результаты исследований Института биологии южных морей экофизиологии антарктических сальп <i>Salpa thompsoni</i> Foxton	408
Мурзина С. А., Воронин В. П., Артеменков Д. В., Орлов А. М., Немова Н. Н. Сравнительная характеристика липидного и жирнокислотного профиля некоторых видов мезопелагических рыб моря Ирмингера	410
Мурзина С. А., Обухова Е. С., Рожина А. М., Воронин В. П., Дгебуадзе П. Ю. Антимикробная активность липидных экстрактов иглокожих залива Нячанг (Южно-Китайское море)	413
Наумкин Т. П., Усанов С. С., Шаганов В. В. О питании мраморного краба <i>Pachygrapsus marmoratus</i> (Fabricius, 1793) в прибрежной зоне Восточного Южного бережья Крыма (Чёрное море)	415
Некрасов И. С., Баиева Е. И. Гистофизиологические особенности сига-пыжьяна (<i>Coregonus lavaretus pidschian</i> Gmelin, 1788) в субарктическом озере плато Путорана	416
Пеккоева С. Н., Воронин В. П., Falk-Petersen S., Berge J., Немова Н. Н., Мурзина С. А. Липидный профиль молоди лептоклина пятнистого <i>Leptoclinus maculatus</i> в раннем постэмбриональном развитии в летний период в Арктике	418
Петров А. Н., Неврова Е. Л., Трофимов С. А., Литвин Ю. И. Оценка воздействия ионов меди на динамику роста клоновых культуры трёх видов бентосных диатомовых водорослей (<i>Bacillariophyta</i>) Чёрного моря	420
Полунина Ю. Ю. Распределение и структура популяций ветвистоусых ракообразных (<i>Cladocera</i>, <i>Crustacea</i>) в различных бассейнах Балтийского моря в летний сезон	423
Полякова С. Л., Давидович Н. А., Давидович О. И. Размерный анализ двух черноморских популяций токсикогенных диатомовых водорослей (<i>Bacillariophyta</i>) из рода <i>Pseudo-nitzschia</i>	425
Приймак А. С., Поспелова Н. В. Роль микроводорослей рода <i>Prorocentrum</i> в питании мидий <i>Mytilus galloprovincialis</i> Lam.	426
Пуговкин Д. В., Корсунова Е. В., Венгер М. П. Количественные характеристики бактериобентоса литорали южного колена Кольского залива в зимний период	428

Рыжик И. В., Салахов Д. О.	
Быстрые стрессовые реакции клеток <i>Acrosiphonia arcta</i> (Dillwyn) Gain на действие эмульсии дизельного топлива	430
Светашева Д. Р., Грушко М. П.	
Различия и физиологические особенности органов кроветворения хрящевых и костистых рыб в эмбриональный период развития на примере кошачьей акулы <i>Scyliorhinus canicula</i> L. и леща обыкновенного <i>Abramis brama</i> (L.)	432
Селюков А. Г., Жигилева О. Н., Боричевская А. И., Шадрина С. С.	
Цитоморфологические и генетические особенности двух видов рыб — <i>Siganus fuscescens</i> и <i>Gerres oblongus</i> (Actinopterygii: Perciformes) — сублиторальной зоны о-ва Малапаскуа (Филиппины)	434
Сигачева Т. Б., Скуратовская Е. Н., Куршаков С. В.	
Биоиндикационная оценка Таганрогского залива (Азовское море) с использованием биохимических показателей печени бычка-кругляка <i>Neogobius melanostomus</i> (Pallas, 1814)	436
Смолькова О. В.	
Линейный рост и продукция двустворчатого моллюска <i>Mya arenaria</i> Linnaeus, 1758 в условиях литорали Баренцева и Белого морей	438
Соловьев М. М., Василенко В. А., Кашинская Е. Н., Бочкарев Н. А., Шокурова А. В., Власенко П. Г.	
Особенности функционирования пищеварительной системы в симпатрических парах сигов рода <i>Coregonus</i>	441
Тамулёнис А. Ю., Стратаненко Е. А., Зуев Ю. А.	
Распространение полихеты <i>Laonome xeprovala</i> (Bick & Bastrop, 2018) в акватории Финского залива (Балтийское море)	442
Ушивцев В. Б., Галактионова М. Л., Сеницына Т. А.	
Опыт использования спутниковой информации для изучения состояния популяций каспийских раков (<i>Astacidae</i>)	443
Хорошевская В. О.	
О влиянии соединений ванадия на фотосинтез фитопланктона	444
Хорошутина О. А.	
Оценка результатов применения различных методов определения индивидуального возраста <i>Rapana venosa</i> (Valenciennes, 1846)	446
Чуйко Г. М., Холодкевич С. В., Шаров А. Н., Кузнецова Т. В., Куракин А. С.	
Реакция клеточной системы антиоксидантной защиты, кардиоактивности и двигательной активности створок беломорской мидии (<i>Mytilus edulis</i> Linnaeus, 1758) на краткосрочное понижение солёности воды	448
Чупикова Е. С., Ткаченко С. А., Борисенко Г. С., Ковековдова Л. Т., Попков А. А.	
Мониторинг показателей безопасности скумбрии японской	450

Чурова М. В., Шульгина Н. С., Крупнова М. Ю., Кйивярйянен Е. И., Рендаков Н. Л., Мурзина С. А., Немова Н. Н.	
Активность некоторых ферментов энергетического обмена, Na/K-АТФазы и содержание кортизола у молоди горбуши <i>Oncorhynchus gorbuscha</i> (Walb.) при переходе из пресной среды в морскую	452
Шахматова О. А., Павшенко Д. А., Матяш А. О.	
Активность каталазы в листьях <i>Iris pseudacorus</i> L. в условиях осмотического стресса	454
Шокурова А. В., Соловьев М. М., Кашинская Е. Н., Бочкарев Н. А., Власенко П. Г.	
Элементный состав желчи пресноводных костистых рыб из разнотипных озёр Сибири	456
Щербань С. А.	
Изучение процессов роста у черноморских видов двустворчатых моллюсков в прибрежных биоценозах Севастополя и южнобережного Крыма	457
Юрченко В. В., Морозов А. А., Кирюхин Б. А.	
Изменение белкового профиля плазмы крови японской медаки <i>Oryzias latipes</i> под влиянием гуминовой кислоты	460
Natyaganova A. V., Mincheva E. V., Bukin Yu. S., and Kulakova N. V.	
Directed Cell Growth and Its Consequences in the Green Filamentous Alga <i>Ulothrix zonata</i> (F. Weber & Mohr) Kützing	462

Молекулярная биология и генетика гидробионтов

Багмет В. Б., Никулин А. Ю., Абдуллин Ш. Р., Никулин В. Ю., Гончаров А. А.	
Новые молекулярные и фенотипические данные по виду <i>Mayamaea arida</i> (Bock) Lange-Bertalot (Bacillariophyta) из почв Дальнего Востока	465
Бедошвили Е. Д., Петрова Д. П., Хабудаев К. В., Лихошвай Е. В.	
Тубулины диатомей и связанные с ними белки как возможный фактор видоспецифической морфологии панцирей	467
Беляев А. О., Загумённый Д. Г., Тихоненков Д. В.	
Морфологическое, ультраструктурное и молекулярно-генетическое исследование новой линии свободноживущих <i>Kinetoplastea</i>	468
Бутина Т. В., Букин Ю. С., Петрушин И. С., Майкова О. О., Ханаев И. В.	
Вирусы в ассоциированном сообществе байкальских губок (<i>Baikalospongia bacillifera</i>) и окружающей их среде	470
Водясова Е. А., Мегер Я. В., Челебиева Э. С., Андреева А. Ю., Кладченко Е. С.	
Представленность белкового семейства глутатион-S-трансфераз у мидии <i>Mytilus galloprovincialis</i>	472
Глушченко А. М., Мальцев Е. И., Кузнецова И. В., Куликовский М. С.	
Морфологическое и молекулярно-генетическое исследование видов рода <i>Symbella</i> (Bacillariophyta, Symbellaceae) из озера Байкал	473

Кропотин А. В., Аксёнова О. В., Беспалая Ю. В., Болотов И. Н., Кондаков А. В. Таксономическая ревизия моллюсков рода <i>Corbicula</i> (Bivalvia: Cyrenidae) из вулканического озера Тоба, Северная Суматра, Индонезия	474
Дегтяр И. В., Лантушенко А. О., Боровков А. Б., Челебиева Э. С. Молекулярно-генетическая верификация таксономического статуса цианобактерии <i>Arthrospira platensis</i>, штамм IBSS-31	475
Махров А. А., Артамонова В. С., Бардуков Н. В., Болотов И. Н., Винарский М. В. Волны вселения холодноводных гидробионтов в Европу (через Тетис, Паратетис и Арктику)	477
Мегер Я. В., Водясова Е. А., Челебиева Э. С., Шихат О. В., Дмитриева Е. В. Характеристика митохондриального генома <i>Ligophorus vanbenedenii</i> (Plathelminthes: Monogenea)	479
Морева И. Н., Радченко О. А. Генетическое разнообразие мраморного керчака <i>Myoxocephalus stelleri</i> Tilesius, 1811 (Actinopterygii: Cottidae) северо-западной части Тихого океана	481
Небесихина Н. А. Изменчивость митохондриальной ДНК у камбалы калкан (<i>Scophthalmus taeoticus</i>) в Азово-Черноморском бассейне	483
Прохорова Д. А., Дмитриева Е. В., Водясова Е. А. Молекулярно-генетическая изменчивость <i>Gyrodactylus alviga</i>	485
Прохорова Е. Е., Орлов Ю. А., Токмакова А. С., Водясова Е. А., Атаев Г. Л. Транскриптомный анализ гемоцитов <i>Planorbarius corneus</i> при заражении трематодами <i>Bilharziella polonica</i>	486
Радайкина Л. В., Загуменный Д. Г., Тихоненков Д. В. Полиморфизм покровных элементов центрохелидных солнечников	488
Слынько Ю. В. Эволюционный потенциал видов позвоночных в экстремальных геоклиматических зонах	490
Слынько Ю. В., Слынько Е. Е. Роль популяционно-генетической организации в обеспечении успешности биологических инвазий на примере интродукции тихоокеанской кефали пиленгаса в Азово-Черноморский бассейн	492
Тихоненков Д. В., Михайлов К. В., Карпов С. А., Прокина К. И., Есаулов А. С., Белякова О. И., Мазей Ю. А., Мыльников А. П., Алешин В. В. Новые филогенетические ветви жгутиковых Holozoa и происхождение многоклеточных животных	493
Черногор Л. И., Елисейкина М. Г., Петрушин И. С., Ханаев И. В., Беликов С. И. Исследование заболеваний байкальских губок с помощью клеточной культуры примморф	494

Шульгина Н. С., Чурова М. В., Крупнова М. Ю., Немова Н. Н. Влияние разных режимов освещения на рост и уровень экспрессии генов мио- генных регуляторных факторов у молоди атлантического лосося (<i>Salmo salar</i> L.) в условиях его искусственного воспроизводства	495
Яхненко А. С., Ицкович В. Б. Разработка микросателлитных маркеров для популяционно-генетического ана- лиза байкальских эндемичных губок	497
Fahrni J. and Dovgal I. V. Towards the Tree of Subclass Chonotrichia (Ciliophora)	498

Проблемы загрязнения водных экосистем и морская радиохемозко- логия

Бурдиян Н. В., Дорошенко Ю. В. Численность и распространение гетеротрофных и углеводородокисляющих бактерий в прибрежной акватории Крыма и Кавказа в весенний период (по ма- териалам 106-го рейса НИС «Профессор Водяницкий»)	500
Габышев В. А., Потапова Н. К., Габышева О. И. К изучению качества вод городских водоёмов зоны сплошного распространения многолетней мерзлоты (на примере г. Якутска)	502
Гагаева З. Ш., Гурьевских О. Ю., Керимов И. А., Махмудова Л. Ш., Мячина К. В. Антропогенная трансформация водных экосистем Юга России	504
Донец М. М., Цыганков В. Ю., Гумовский А. Н., Гумовская Ю. П., Боярова М. Д., Кульшова В. И. Сравнение биоиндикационных свойств рыб семейства <i>Syringidae</i> на примере реки Амур	506
Дреева Ф. Р., Реутова Н. В., Реутова Т. В., Хутуев А. М. Микроэлементы в поверхностных водах горных территорий Центрального Кав- каза	508
Зайцева О. В. Перспективность оценки токсичности природных вод экспресс-биотестами с ис- пользованием гидробионтов	510
Зуева Н. В., Буэнаньо Б. Б. Б. Оценка экологического состояния малых озёр о-ва Валаам (Карелия) по водным макрофитам	512
Калюжин А. С., Рыбальченко А. Д., Морозова М. А., Седова Д. А. Выделение и изучение неферментирующих бактерий деструкторов углеводоро- дов и фенола из водной среды	514
Козлова А. В., Зуева Н. В. Использование композитных индексов для интегральной оценки экологическо- го состояния водотоков	516

Кораблина И. В., Геворкян Ж. В., Клименко Т. Л., Сиверина Т. В. Загрязнение шельфа северо-восточного района Чёрного моря приоритетными токсикантами в 2019–2020 гг.	518
Королев В. Г., Курбанов Г. Ф. Тест-системы для обнаружения генотоксикантов в окружающей среде	520
Коротков А. А. Природный радионуклид ^{90}Po в отдельных компонентах экосистем крымских озёр	522
Куленко Е. А., Никитина Л. И. Биоиндикация для определения сапробности малых рек г. Хабаровска и его окрестностей	523
Малахова Л. В. Хлорорганические соединения в воде и гидробионтах в черноморских прибрежных районах Крыма	525
Матасова И. Ю., Теюбова В. Ф. Многолетняя динамика гидрохимических показателей и количественных характеристик фитопланктона в порту Темрюк (2006–2020 гг.)	528
Матишов Г. Г., Ильин Г. В., Усягина И. С., Касаткина Н. Е., Валуйская Д. А. Радиоэкологические условия в зонах инновационного развития морской Арктики	530
Мирзоева Н. Ю., Егоров В. Н., Терещенко Н. Н., Малахова Л. В. 65 лет морской радиохемозологии в СБС — ФИЦ ИнБЮМ	533
Мирошниченко О. Н., Сидоров И. Г., Параскив А. А. Пространственное распределение Cs в акваториях Мирового океана по результатам экспедиционных исследований 2016–2020 гг.	535
Немировская И. А., Завьялов О. П., Храмцова А. Н. Природа углеводов в воде и осадках российского сектора Чёрного моря	538
Обухова О. В., Мельник И. В., Васильева Е. Г. Микробиологический мониторинг воды реки Кизань в районе расположения Соколовских нефтешламонакопителей (Астраханская область)	540
Омельченко С. О. Сравнительная характеристика содержания нитрозаминов в тканях черноморских рыб	542
Параскив А. А., Терещенко Н. Н., Проскурнин В. Ю., Чужикова-Проскурнина О. Д., Платаев А. П., Трапезников А. В. Антропогенные радиоизотопы плутония в компонентах экосистемы Севастопольской бухты	545
Половинкина М. А., Осипова В. П., Осипова А. Д., Пименов Ю. Т. Прооксидантная активность ароматических производных Hg и Sn	548
Поповичев В. Н. Кинетический аспект фосфорного обмена природной взвеси фотического слоя Чёрного моря на основе метода радиоактивных индикаторов	550

Сидоров И. Г., Мирошниченко О. Н., Проскурнин В. Ю.	
Транспорт антропогенного радионуклида Cs через Керченский пролив	552
Соловьёва О. В., Тихонова Е. А., Алёмова Т. Е.	
Особенности углеводородного состава донных отложений Балаклавской бухты (Чёрное море)	554
Стецюк А. П.	
Использование антропогенного радионуклида Cs для геохронологии распределения ртути в донных осадках севавтопольских бухт	556
Терещенко Н. Н., Пархоменко А. В.	
Изучение особенностей осадконакопления в западной части Чёрного моря методом радиоизотопной геохронологии	558
Торгашкова О. Н., Беликов А. С.	
Оценка экологического состояния малых рек города Саратова по биологическому индексу макрофитов	560
Холмогорова Н. В.	
Биоиндикация загрязнения реки Июль (Удмуртская Республика) по организмам макрозообентоса	562
Чернова Е. Н.	
Микроэлементный состав организмов из прибрежных вод морских акваторий — проявление региональных особенностей или биогеохимических провинций?	564
Чечко В. А., Кривошлык П. Н.	
Гранулометрический состав и содержание органического вещества в донных отложениях Калининградского залива Балтийского моря	566
Чужикова-Проскурнина О. Д., Проскурнин В. Ю., Терещенко Н. Н., Кобечинская В. Г.	
Тяжёлые металлы в прибрежных водах Чёрного и Азовского морей в летний сезон 2020 г.	568
Matsche M.	
Muxozoan Parasites and Biliary Neoplasia in a Temperate Bass (Moronidae) in North America	570

Биологические ресурсы, биотехнология и аквакультура

Баканев С. В.	
Крабы-вселенцы Баренцева моря и перспективы их промысла	572
Бандурин К. В., Архипов А. Г., Маслянкин Г. Е.	
Научный мониторинг биологических ресурсов в Атлантическом океане	574
Басамыкина А. Н., Курбатова А. И., Савенкова Е. В., Куркина Е. В.	
Возможность интенсификации аэробных биохимических процессов на этапе биологической очистки сточных вод	576

Белогурова Р. Е., Карпова Е. П., Аблязов Э. Р. Динамика популяционных характеристик черноморской атерины <i>Atherina boyeri</i> Risso, 1810 Каркинитского залива и перспективы её хозяйственного использования	577
Болдырев В. З., Бадаев О. З. Водные биологические ресурсы южных мигрантов в Южно-Курильской зоне . .	580
Воскобойников Г. М., Воскобойников А. В. Аквакультура водорослей в Баренцевом, Гренландском и Норвежском морях . .	582
Данилова Е. А., Бубунец Э. В. Сравнительная характеристика производителей стерляди из природной популяции и выращенных в условиях УЗВ	583
Жондарева Я. Д. Ростовые и продукционные характеристики культуры <i>Tetraselmis viridis</i> в тепличном бассейне при естественных источниках света и углерода	586
Журавлева Н. Г. Анализ морфологических особенностей пищеварительной системы молоди чистильщика радужного губана <i>Labrus bergilta</i> — возможного объекта марикультуры	588
Коваль М. В., Горин С. Л. Биологические ресурсы промысловых видов рыб и специфика их освоения в различных эстуариях Камчатского края	589
Кривова З. В., Мальцев Е. И., Куликовский М. С. Влияние азотного голодания на жирнокислотный состав штаммов рода <i>Vischeria</i>	591
Мальцев В. Н. Опасные болезни культивируемых черноморских рыб, вызываемые жгутиконосцами	593
Мальцев В. Н. Паразитологическая ситуация в районах выращивания устриц в Чёрном море .	595
Мальцев Е. И., Кривова З. В., Новаковская И. В., Мальцева С. Ю., Егорова И. Н., Куликовский М. С. Скрининг биологически активных метаболитов, синтезируемых представителями рода <i>Parietochloris</i> (Trebouxiophyceae)	597
Михеев П. Б., Коцюк Д. В., Подорожнюк Е. В., Кошелев В. Н., Шеина Т. А., Пузик А. Ю. Применение метода микрохимического анализа отолитов для решения задач рыбохозяйственной науки	599
Овсянников Е. Е., Золотов А. О., Овсянникова С. Л., Бадаев О. З. Видовой состав уловов при промысле минтая в Южно-Курильской зоне	601
Поспелова Н. В., Приймак А. С., Поспелов С. С., Штрунц А. С., Посторонюк К. М. Тяжёлые металлы в раковинах и мягких тканях культивируемых мидий <i>Mytilus galloprovincialis</i>	603

Ростовцев А. А., Абрамов А. Л., Интересова Е. А. Современное состояние водных биологических ресурсов Средней Оби (в пределах Томской области)	605
Салиенко С. Н., Михеев П. А. Применение комплексного рыбозащитного устройства электрического воздействия (КРУЭВ) для сохранения биологических ресурсов пресноводных и морских экосистем	607
Самко Е. В., Новиков Ю. В., Никитин А. А., Муктепавел Л. С., Цыпышева И. Л., Капштер А. В. Ведение рыбохозяйственной деятельности в Дальневосточном бассейне на основе регионального спутникового мониторинга	608
Селюков А. Г., Селюкова С. А., Шуман Л. А., Мирзабаев Д. С. Влияние слабых импульсных магнитных полей на выживаемость и цитофизиологическое состояние молоди муксуна <i>Coregonus muksun</i> (Pallas) в условиях интоксикации	610
Столбунов И. А., Извеков Е. И., Заботкина Е. А., Вербицкий В. Б., Быкова С. Н., Салиенко С. Н., Кирич М. П., Подрезова П. С. Экспериментальные исследования воздействия системы электронной программируемой комплексного рыбозащитного устройства электрического воздействия (СЭПРО КРУЭВ) на пресноводных и морских гидробионтов	612
Тряпицына Г. А., Левина С. Г., Тряпицына С. В., Дюсенова Р. Д., Перетыкин А. А. Анализ накопления Sr и Cs высшей водной растительностью при радиоактивном загрязнении водоёмов (Уральский регион)	614
Челебиева Э. С., Данцюк Н. В., Чубчикова И. Н., Дробецкая И. В., Минюк Г. С. Морфологические и функциональные особенности зелёных микроводорослей рода <i>Coelastrella</i>	616
Шульгина Е. В. Оценка готовности к покатной миграции дальневосточных лососей с длительным пресноводным периодом жизни (на примере чавычи <i>Oncorhynchus tshawytscha</i> и кижуча <i>O. kisutch</i>)	618
Щербань С. А. Мониторинг процессов соматического роста черноморского шпрота <i>Sprattus sprattus</i> (Pisces: Clupeidae) в нагульные периоды	621
Litvinenko L. I. and Zenkovich P. A. Features of <i>Artemia</i> Cultivation in Lakes With Different Salinity	623
Baiandina Iu. S. Black Sea Turbot Sperm Motility Depending on the Dilution of Seawater	625

Устойчивое развитие прибрежных зон

Александров С. В., Горбунова Ю. А. Уровень эвтрофирования прибрежных вод и пространственное распределение выбросов фитобентоса на побережье в калининградской зоне Балтийского моря	627
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

Бухарицин П. И., Котеньков С. А.	
Проблемы заносимости Волго-Каспийского морского судоходного канала: история и современность	629
Гусева Е. В., Алёмов С. В., Витер Т. В.	
Многолетние изменения состояния сообществ многоклеточного бентоса бухты Круглая (Крым)	631
Марченко М. А., Гусяков В. К., Маринин И. В., Пененко В. В., Пененко А. В., Родионов А. С., Токтошов Г. Ы.	
Интегрирующая платформа для сбора и анализа данных природоохранного мониторинга	632
Матасова И. Ю.	
Особенности распределения Ва и Мп в почвах геохимических ландшафтов Черноморского побережья России	634
Моисеева Н. А., Чурилова Т. Я., Скороход Е. Ю., Ефимова Т. В., Землянская Е. А., Артемьев В. В.	
Коррекция данных флуоресценции, регистрируемой погружными датчиками, на основе контактных измерений	636
Мязин В. А.	
Сорбционно-биологический способ очистки и восстановления нефтезагрязнённых прибрежных территорий арктических морей	637
Мязин В. А.	
Углеводороды в донных отложениях городских озёр г. Мурманска	639
Напреенко М. Г., Самерханова А. К., Анциферова О. А., Напреенко-Дорохова Т. В.	
Экологическая реабилитация водно-болотных экосистем в рамках функционирования карбонового полигона в Калининградской области	641
Скороход Е. Ю., Чурилова Т. Я., Моисеева Н. А., Ефимова Т. В., Землянская Е. А.	
Сканеры цвета океана как инструмент оценки состояния экосистем прибрежных вод	643
Степаньян О. В., Матишов Г. Г.	
Коса Долгая — уникальный природный объект Азовского моря: итоги экспедиции Русского географического общества 2021 г.	644
Чурилова Т. Я., Ефимова Т. В., Моисеева Н. А., Скороход Е. Ю.	
Методологические основы для дешифрования данных дистанционного зондирования на основе спектральных биооптических моделей с целью оперативной оценки состояния водных экосистем на основе индикаторов качества и продуктивности вод	648
Шацкий А. В., Зув Ю. А., Суслопарова О. Н.	
Влияние дноуглубительных работ на бентосные сообщества в Лужской губе Финского залива	649
Bologa A. Ş.	
Historical Development of Marine Sciences in Romania	650

Метан, его генезис и участие в биологических и геологических процессах

Артёмов Ю. Г.

Средообразующая роль метановых сипов в аноксической зоне Чёрного моря 652

Будников А. А., Мурашова А. И., Малахова Т. В., Иванова И. Н.

Оценка потоков пузырьковых газовыделений в бухте Ласпи (Крым) по данным пассивной акустики 654

Видищева О. Н., Соловьева М. А., Ахманов Г. Г., Хлыстов О. М.

Разгрузка углеводородных газов вдоль разлома Гидратный озера Байкал 656

Григорьев А. Г., Жамойда В. А., Буданов Л. М., Неевин И. А.

Метан в газонасыщенных (голоценовых) илах восточной части Финского залива 657

Земская Т. И., Черницына С. М., Хальзов И. А., Наумова Т. В., Погодаева Т. В., Механикова И. В., Сиделева В. Г., Ситникова Т. Я.

Биологические сообщества в районах разгрузок минерализованных газосодержащих флюидов на Байкале и микроорганизмы, ассоциированные с животными 659

Иванова И. Н., Будников А. А., Малахова Т. В., Мурашова А. И.

Распределение растворённого кислорода вблизи действующих мелководных струйных выделений метана 661

Калгин В. Ю., Обжиров А. И.

К вопросу о биогенном механизме сульфидообразования в донных отложениях Южно-Китайского моря 663

Кравчишина М. Д., Леин А. Ю., Дубинина Е. О., Мирошников А. Ю., Дара О. М., Саввичев А. С.

Аутигенные карбонатные корки холодных метановых сипов на шельфе моря Лаптевых 665

Ломакина А. В., Букин С. В., Погодаева Т. В., Крылов А. А., Земская Т. И.

Филогенетическое разнообразие прокариот в осадках, содержащих аутигенные карбонаты, в районах грязевых вулканов Южного и Среднего Байкала 667

Лысенко В. И.

Экологические и палеогеографические условия образования «карбонатов просачивания углеводородов» по результатам изучения гераклитов (Юго-Западный Крым) 669

Лысенко В. И., Шик Н. В.

Биогеологические процессы образования «пляжных» бактериальных построек в бухте Ласпи (Юго-Западный Крым) 671

Макаров М. М., Муякшин С. И., Кучер К. М.

Динамика активности отдельных глубоководных выходов газа озера Байкал за период с 2010 по 2020 г. 673

Малахова Т. В., Егоров В. Н., Малахова Л. В., Артемов Ю. Г., Будников А. А., Иванова И. Н., Мурашова А. И., Пименов Н. В.	
Струйные метановые газовыделения в прибрежных районах Крыма: генезис, потоки, средообразующий эффект	675
Малахова Т. В., Мурашова А. И.	
Суточная динамика концентрации растворённого метана в воде аэробной зоны Чёрного моря: к вопросу о «метановом парадоксе»	676
Марков Н. Д., Смольяков Д. Д., Ключева В. А., Грабович М. Ю.	
Роль представителей рода <i>Sphaerotilus</i> в превращении C1-соединений водных экосистем	678
Мурашова А. И., Малахова Т. В., Будников А. А., Иванова И. Н.	
Пространственно-временные закономерности распределения метана и влияющие на него факторы в эстуарии реки Чёрной (Крым)	679
Новигатский А. Н., Беликов И. Б., Белоусов В. А., Скороход А. И., Ключевиткин А. А.	
Результаты судовых измерений метана над Северной Атлантикой и прилегающей Арктикой в 80-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш»	681
Обжиров А. И., Пономарева А. Л., Углова Н. И., Телегин Ю. А., Швалов Д. А., Калгин В. Ю.	
Взаимосвязь проявления углеводородов и микробиоты в Партизанском районе Приморья	683
Пименов Н. В.	
Микробные сообщества — индикаторы зон разгрузки подводных газовых сипов	685
Погодаева Т. В., Ломакина А. В., Иванов В. Г., Турчин А. В., Хлыстов О. М., Крылов А. А., Земская Т. И.	
Геохимические данные генерации и окисления метана микробными сообществами в донных отложениях грязевого вулкана Кедр (озеро Байкал)	687
Русанов И. И., Юсупов С. К., Засько Д. Н., Захарова Е. Е., Самылина О. С., Кадников В. В., Саввичев А. С., Пименов Н. В.	
К вопросу о генезисе метана аэробной зоны водоёмов	689
Саввичев А. С., Русанов И. И., Кадников В. В.	
Сообщество метанотрофных бактерий водной толщи как микробный фильтр, ограничивающий попадание метана в атмосферу (на примере тундровых озёр полуострова Ямал)	691
Самылина О. С., Русанов И. И., Тарновецкий И. Ю., Пименов Н. В.	
Гидрохимические и микробиологические предпосылки к аэробной продукции метана в водной толще моря Лаптевых	693
Севастьянов В. С., Федулов В. С., Федулова В. Ю., Кузнецова О. В., Душенко Н. В., Иванов А. А., Ткаченко Е. А.	
Происхождение метана, углеводородных газов и CO₂ в морских осадках сиповых полей моря Лаптевых	695

Сырбу Н. С. Современные газогеохимические особенности термальных и минеральных источников острова Сахалин, их связь с сейсмичностью и углеводородным потенциалом	697
Телегин Ю. А., Букреев С. А., Морозова М. В., Чукмасов П. В., Скоробогатов Д. О. Концентрации метана в поверхностном слое воды на шельфе Аргентины (предварительные результаты)	699
Тихонова Е. Н., Кадников В. В., Русанов И. И., Пименов Н. В. Аэробные метанооксиляющие бактерии в поверхностных осадках российских морей	700
Ульянова М. О., Ананян А. С., Егошина Е. Д. Газогеохимические характеристики донных осадков Гданьской и Готландской впадин Балтийского моря	702
Хлыстов О. М. Метан гидрата озера Байкал: характеристики, аномалии и связь с центрами осадконакопления	704
Холмогоров А. О. Концентрации метана в поверхностном слое воды Японского моря и сейсмические события региона	705
Ясаков Т. Р., Канапацкий Т. А., Корженков А. А., Ульянова М. О., Пименов Н. В. Метагеномика метанового покмарка в Балтийском море	707

Перспективные направления развития марикультуры в Азово-Черноморском рыбохозяйственном бассейне

Белоусов В. Н., Кожурин Е. А.

Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону, Россия

belousov_v_n@azniirh.ru

После кризисного периода 1990-х гг. восстановление объёмов производства российской аквакультуры характеризуется двумя периодами активного роста:

- первый (конец XX — начало XXI в.) обусловлен наличием крайне ненасыщенного рынка до 2000 г. и активным бюджетным субсидированием в начале 2000-х гг.;
- второй, последовавший после продолжительного периода стагнации, мы отмечаем в последние 5 лет (2015–2020) благодаря снижению конкуренции на внутреннем рынке вследствие закрытия российского рынка для части европейских производителей и повышения конкурентоспособности из-за снижения курса рубля.

Благодаря этому из бывших республик Советского Союза только Российская Федерация достигла среднегодового уровня производства товарной рыбы, сопоставимого с таковым благополучного для отрасли периода 1980-х гг.

Вместе с тем в последние два года, по данным форм отчётности, предоставляемых регионами в Минсельхоз России, реализации продукции аквакультуры не достигает и 60 % от выращенного товара. Это говорит о назревании нового периода стагнации.

Наиболее значимой складывающейся ситуацией является ограниченный ассортимент выращиваемых объектов аквакультуры: он более чем на 90 % состоит всего из трёх видов — карпа, толстолобиков и лососевых. Одним из вариантов решения проблемы может стать развитие марикультуры, и Азово-Черноморский бассейн для этого имеет все предпосылки.

Востребованность продукции марикультуры, произведённой в этом регионе, подтверждается активным её развитием. Турция довела объём выращивания рыбы в морских садках до 200 тыс. тонн, наращивая объём производства последние 20 лет в среднем на 10 % ежегодно. Болгария уже 15 лет осуществляет активное выращивание моллюсков и достигла значений 3 тыс. тонн в год. Уже пять лет развивается конхиокультура в Грузии.

У побережья Республики Крым и г. Севастополя сейчас используются 37 рыбоводных участков общей площадью 3,4 тыс. гектаров, а у берегов Кавказа — 42 участка площадью 4,1 тыс. гектаров.

На данных участках выращиваются в основном 2 вида моллюсков — устрицы и мидии. Объём их производства в черноморской акватории России к 2020 г. достиг 1800 тонн, что сопоставимо с максимальными уловами из природных популяций этих видов в данной акватории в советский период (1950-е гг.). Это можно считать существенным достижением, но достаточно ли этого для обеспечения существующего рынка и имеется ли потребность в иной продукции марикультуры?

По данным FAO, страны Причерноморья закупают более 1 млн тонн рыбопродукции в год (общая стоимость — свыше 3 млрд долларов США). При этом поставки осуществляются не только из государств, расположенных в данном регионе, но и из других бассейнов, например из Чили, Швейцарии, Марокко, Норвегии, Нидерландов, Дании, Испании, Италии, Армении и Белоруссии. Это говорит о явно ненасыщенном рынке рыбопродукции.

Наибольшую потребность из стран Причерноморья имеет Россия. Это можно считать благоприятным фактором для отечественных производителей, поскольку протекционистские меры Евросоюза существенно осложняют поступление продукции на прилавки входящих в него государств.

При этом надо учитывать специфику рынков причерноморских стран. Общая их потребность говорит о том, что моллюски входят в тройку лидеров импорта, однако на российском рынке наиболее востребованы рыбные объекты, особенно лососевые, а на втором месте стоят креветки и прочие ракообразные. Спрос на завоз моллюсков в Россию — один из самых низких в структуре импорта.

Таким образом, перспективными направлениями развития марикультуры в российском секторе Чёрного моря являются в первую очередь освоение методик и развитие выращивания рыбных объектов, особенно лососевых, дорады и спаровых. Следующим по значимости направлением марикультуры становится выращивание ракообразных.

Развитие конхиокультуры укладывается в общебассейновую тенденцию, но более нацелено на внешний рынок, чем на внутренний; здесь основная задача для исследователей и разработчиков технологий заключается в снижении себестоимости производства продукции для возможной конкуренции на европейском рынке.

Эволюция исследований отдела радиационной и химической биологии Института биологии южных морей по проблеме взаимодействия живого и косного вещества с радиоактивными и химическими компонентами морской среды

Егоров В. Н.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

egorov.ibss@yandex.ru

Научная проблема определения взаимодействия гидробионтов с радиоактивными загрязнениями морской среды возникла ещё на заре ядерной эры. В Институте биологии южных морей (далее — ИнБЮМ) эти работы были начаты под руководством академика Г. Г. Поликарпова в момент организации отдела радиационной и химической биологии (далее — ОРХБ) в 1956 г. Они были направлены на познание закономерностей концентрирования радионуклидов живым и косным веществом, на изучение действия ионизирующих излучений на морские организмы и на оценку влияния биогеохимических процессов на миграцию радионуклидов в морской среде. Этот этап исследований ОРХБ завершился созданием к 1964 г. новой науки — морской радиоэкологии.

Исследования с применением метода меченых атомов показали, что поглощение химических веществ гидробионтами осуществляется за счёт сорбционных и метаболических процессов, а их прижизненное выделение соответствует метаболическим реакциям первого или нулевого порядков. Было установлено, что кинетические закономерности минерального обмена морских организмов зависят от концентрирующей способности компонентов экосистем, от солёности вод, температуры, освещённости, физико-химических форм веществ различной биологической значимости, а также от размерно-массовых и биопродукционных характеристик гидробионтов. Определено, что пищевой путь минерального питания может быть отражён на единой параметрической базе описания вещественного и энергетического баланса в морских экосистемах. Учёт влияния перечисленных факторов позволил в конце 1970-х гг. построить полуэмпирическую теорию минерального и радиоизотопного обмена гидробионтов в масштабе времени протекания сорбционных и метаболических процессов, а также трофических взаимодействий.

Вторая половина XX в. характеризовалась мировой промышленной революцией, связанной с возрастающей ролью технологического применения химических веществ и их соединений различной биологической значимости. Потоки их поступления в морскую среду в ряде случаев превзошли интенсивность природных биогеохимических циклов оборота в гидросфере. Изучение дифференциальных моделей современных морских экосистем свидетельствовало о нестационарности происходящих в них радиохемозекологических процессов. Было установлено, что пределы устойчивости биогеоценозов определяются интенсивностью самоочищения вод за счёт депонирования консервативных загрязнений в водных и геологических депо; было обосновано понятие экологической ёмкости в отношении загрязняющих веществ. Совокупность методических подходов, эмпирических данных и параметрической базы теории минерального обмена, предназначенных для определения целей прогнозирования и экологической ёмкости морской среды, составили основу созданной в ОРХБ к середине 1990-х гг. новой области науки — морской динамической радиохемозекологии.

Исследования ОРХБ по проблеме определения опасности ядерной аварии 26 апреля 1986 г. на Чернобыльской АЭС потребовали применить методологию «чёрного ящика» для изучения отклика черноморских экосистем на импактное воздействие радиационного фактора. Были получены оценки влияния гидродинамических и биогеохимических процессов на крупномасштабное формирование полей долгоживущих радионуклидов в Чёрном море, уточнены параметры концентрирующей способности гидробионтов, определена «дозовая цена» ионизирующих излучений от долгоживущих радионуклидов, выполнены прогнозы интенсивности и масштабов времени радиоактивного воздействия на морские организмы. Были разработаны методы использования постчернобыльских осколочных радиоизотопов в качестве радиотрассеров гидродинамических и седиментационных процессов.

В последующие годы основные цели исследований ОРХБ были связаны с изучением эмпирической базы и с разработкой теории радиоизотопного и химического гомеостаза природных морских экосистем. Было установлено, что их гомеостаз по биотическим и абиотическим факторам достигается в результате отрицательных обратных связей по принципу Ле Шателье — Брауна. Механизмы отрицательной обратной связи могут проявляться за счёт концентрирующей функции живого и косного вещества, адаптационных характеристик гидробионтов, трофического фактора, популяционных показателей биотопов и геохимических барьеров. Была показана оптимальность решения проблем устойчивого развития морских акваторий на основе реализации принципа сохранения баланса между потреблением и естественным воспроизводством их ресурсов. Обосновано, что мерой потребления ресурса качества морской среды может являться загрязнение компонентов экосистем по сравнению с их предельно допустимыми концентрациями (ПДК). Ресурсом воспроизводства качества морской среды являются потоки биогеохимического самоочищения вод, применимые для целей экологического нормирования, оценки которых могут быть определены по биогеохимическим критериям экологической и ассимиляционной ёмкости.

В настоящее время радиохемозкологические исследования ОРХБ направлены на решение задач реализации экоцентрического принципа морского природопользования по факторам загрязнения морской среды в условиях эволюции морских экосистем в результате климатических изменений и антропогенного воздействия.

Водная экотоксикология в решении задач оценки качества вод и «здоровья» экосистем

Моисеенко Т. И.

Институт геохимии и аналитической химии имени В. И. Вернадского РАН, Москва, Россия

moiseenko.ti@gmail.com

Впервые экотоксикология как одно из направлений токсикологии была выделена в 1969 г. R. Thruhaut, который сформулировал её основные задачи — «изучение влияния природных или синтезированных токсичных веществ на экосистемы, животных (включая человека), растения и микробные сообщества». С 1970-х гг. проведены серии совещаний и создан ряд международных объединений, таких как Международное объединение экотоксикологии и безопасности окружающей среды (International Society of Ecotoxicology and Environmental Safety, SECOTOX) и другие. В России основы водной токсикологии были заложены Н. С. Строгановым в период 1960–1970-х гг., когда появились негативные последствия токсичных сбросов от промышленных объектов. Он даёт следующее определение: водная токсикология — наука, «изучающая закономерности токсического влияния водной среды на водные организмы и на биологические процессы, протекающие в водоёме»; это было созвучно задачам водной экотоксикологии.

В приложении к водам суши методология оценки качества вод и нормирования антропогенных воздействий базируется на трёх основных позициях:

- обоснование информативных биологических критериев «здоровья» экосистемы, отражающих негативные эффекты загрязнения вод в численных значениях;
- сжатие многоплановой гидрохимической информации до единого показателя состояния абиотической среды, адекватно отражающего дозу воздействия;
- определение доза-эффектных зависимостей и критических уровней загрязнения вод.

Степень точности определения интегральной дозы и информативность критериев диагностики «здоровья» экосистемы определяются разработанностью сложных в теоретическом плане задач в области наук о Земле и жизни, таких как:

- 1) закономерности миграции, трансформации, седиментации и поведения антропогенно принесённых элементов, их взаимодействие с природными факторами;
- 2) закономерности антропогенной изменчивости экосистем, устойчивость и пределы адаптации, «норма и патология» или пограничные состояния биологических систем и т. д.

Рассчитанные доза-эффектные зависимости дают информацию о наиболее значимом в практическом плане вопросе — насколько сформированные под влиянием загрязнения новые свойства вод опасны для водного населения и насколько необходимо снизить уровень загрязнения вод, чтобы их качество соответствовало благоприятным условиям существования и размножения водных обитателей.

Проведённые исследования в рамках экотоксикологического подхода на примере ряда водных объектов России и зарубежья (субарктическое оз. Имандра, водохранилища Волжского бассейна, субтропическое водохранилище Тайваня) показали эффективность выявления основного повреждающего фактора для экосистем и практическую значимость решения задач нормирования загрязнения. На основе доза-эффектных зависимостей, полученных путём натуральных исследований

на водных объектах различных природно-климатических зон, раскрыты причинно-следственные связи между качеством вод (токсичными элементами и веществами) и заболеваемостью рыб. На их основе показаны уровни необходимого снижения загрязнения вод токсичными веществами.

Приведённые примеры оценок качества вод в рамках экотоксикологической парадигмы наглядно продемонстрировали, что водная экотоксикология формирует знания, которые необходимы для разработки превентивных мер качественного истощения водных ресурсов и для сохранения здоровья человека.

НИС «Профессор Водяницкий»: 45 лет достойной службы (юбилейная ретроспектива на стыке веков)

Рылькова О. А., Гаврилова Н. А., Игнатъев С. М.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

ol.rylkova@yandex.ru

2021 г. является юбилейным для научно-исследовательского судна «Профессор Водяницкий»: исполняется 45 лет с момента его спуска на воду в Финляндии. За долгие годы на службе науке ему пришлось не только перешагнуть из века в век, из тысячелетия в тысячелетие, но и трижды сменить страну, оставив при этом неизменными порт приписки — Севастополь — и владельца судна — Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского.

Советский научный морской флот был одним из самых мощных в мире. Строительство морских научных судов велось не только в нашей стране, но и в Польше, ГДР и Финляндии. В частности, за период 1970–1979 гг. в Финляндии было построено 19 специализированных судов, предназначенных для проведения фундаментальных и прикладных океанографических, гидробиологических и геологических исследований в Мировом океане.

Инициатива добиться выделения нового океанского НИС нашему институту принадлежала директору д. б. н., проф. Владимиру Николаевичу Грезе и заместителю директора по экспедициям к. г. н. Николаю Константиновичу Ханайченко, которые воплотили в жизнь мечту Владимира Алексеевича Водяницкого. Благодаря их усилиям, при планировании закладки серии из четырёх судов нового проекта 430, построенных на судовой верфи Laivateollisuus Ab (г. Турку, Финляндия) для научного флота СССР, было принято решение отправить одно в Севастополь в ИнБЮМ.

Судно было названо в честь выдающегося учёного, внёсшего неоценимый вклад в развитие исследований Чёрного моря, д. б. н., чл.-корр. АН УССР, проф. В. А. Водяницкого. Владимир Алексеевич был организатором и руководителем биологической станции в Новороссийске (1920–1931), заместителем директора, а фактически заведующим (1930–1938), и директором (1944–1968) Севастопольской биологической станции АН СССР, а затем и Института биологии южных морей имени А. О. Ковалевского (1963–1968).

НИС «Профессор Водяницкий» относится к среднетоннажным научно-исследовательским судам специального назначения. Его водоизмещение 1498 т, длина 68,7 м, ширина 12,4 м, осадка 4,2 м, скорость хода 12 узлов. Экипаж составляет 30 человек. На борту судна на момент спуска на воду было 7 лабораторий, в которых могли работать 28 научных сотрудников. 26 октября 1976 г. на судне был поднят государственный флаг СССР, подписано распоряжение о передаче корабля Институту биологии южных морей. Капитаном нового НИС был назначен Всеволод Михайлович Буроменский, но в силу сложившихся обстоятельств принимал судно в Финляндии 2-й помощник капитана Владимир Григорьевич Тыниника, который позже, в период 1990-х — 2000-х гг., был практически бессменным капитаном судна. В разные годы капитанами НИС «Профессор Водяницкий» также были А. Н. Леоненко, О. В. Красницкий, Н. И. Тимко, Н. И. Корзик. В настоящее время капитан судна — Сергей Александрович Пищенко. 18 декабря 1976 г. НИС «Профессор Водяницкий» вышло в свой первый рейс в Атлантический океан, начальником экспедиции стал Н. К. Ханайченко. В свой порт приписки, Севастополь, судно впервые прибыло 4 марта 1977 г.

Всего в советский период исследований (1976–1991) было выполнено более 40 научных рейсов, в том числе с участием иностранных учёных и специалистов, в различные районы Мирового океана (Чёрное, Средиземное, Красное моря, Атлантический и Индийский океаны). Получение нового экспедиционного судна позволило начать систематическое изучение тропических и субтропических районов Мирового океана, участвуя в проектах АН СССР, а также развивая начатые ранее морские биопродукционные и экосистемные исследования. В 1990 г. на верфи-строителе были выполнены капитальный ремонт и серьёзная модернизация судна, произведена замена научного оборудования, вместо большой ЭВМ серии ЕС установлена компьютерная сеть Token Ring на базе серверов и компьютеров IBM серии PS/2, для заборных работ начал использоваться STD-зонд Neil-Brown Mark III с кассетой батометров GO-FLO фирмы General Oceanics, был приобретён телеуправляемый подводный аппарат Benthos Miniower MK-II, полностью обновлена навигационная система судна, установлен новый гидроакустический комплекс Simrad EK-400.

После распада Советского Союза государственные средства на обслуживание научно-исследовательских судов практически перестали выделять. Большая часть кораблей была отдана в длительную аренду, другие остались стоять у своих причалов, превращаясь в груду металла.

Не миновала сложная судьба и НИС «Профессор Водяницкий». С 1992 г. география исследовательских работ судна сузилась и охватывала только акваторию Чёрного моря, однако выполнялись 4–5 рейсов в год, включая работы по международным проектам (COMSBLACK, EROS-2000). Ввиду значительного недофинансирования института, как и всей Национальной академии наук Украины, в 1994 г. судно было отдано в аренду частной компании ЗАО «Торговый Дом "Гесс и К^о"» и использовалось для грузоперевозок между Стамбулом и Севастополем. Научные лаборатории переоборудовали под каюты, а грузчиками зачастую выступали научные сотрудники института (в том числе кандидаты и доктора наук). К счастью, руководитель компании-арендатора Юрий Михайлович Кравцов, будучи капитаном дальнего плавания, по возможности шел навстречу учёным, позволяя выполнять ограниченные научные работы по пути следования корабля. Благодаря такому отношению, например, измерения по вековому разрезу Херсонес — Босфор продолжались даже в этот тяжёлый для морской науки период. После прекращения бюджетного финансирования морских экспедиций группой учёных ИнБЮМ под руководством академика НАН Украины Геннадия Григорьевича Поликарпова для организации и проведения морских научных исследований был создан Центр международных морских исследований (ЦММИ) в качестве структурного подразделения при ЗАО «Торговый Дом "Гесс и К^о"». В новую структуру, кроме Г. Г. Поликарпова и Ю. М. Кравцова, вошли д. б. н., чл.-корр. НАН Украины, проф. Виктор Николаевич Егоров, к. б. н. Сергей Борисович Гулин и н. с. Юрий Георгиевич Артёмов. Как результат, за период 1992–2005 гг. на НИС «Профессор Водяницкий» благодаря финансированию со стороны различных международных организаций были проведены 24 научные экспедиции, в которых участвовали учёные из 39 научных учреждений разных стран.

По окончании долгосрочной аренды в 2005 г. администрации института, прежде всего заместителю директора по науке д. б. н., проф. Юрию Николаевичу Токареву с огромным трудом удалось добиться выделения государственного финансирования на ремонт и модернизацию судна. По факту НИС «Профессор Водяницкий» стало единственным «выжившим» научно-исследовательским судном Национальной академии наук Украины, которое было возвращено науке после аренды. В 2010 г. обновлённое НИС «Профессор Водяницкий» вернулось в строй, совершив за три года 13 рейсов в акватории Чёрного моря с участием специалистов различных институтов НАН Украины.

С 2014 г. для НИС «Профессор Водяницкий» началась новейшая история. Возглавивший в 2015 г. Институт биологии южных морей д. б. н., проф. С. Б. Гулин чётко понимал, что без морских экспедиций морской институт не может существовать: он неизбежно превратится в прибрежную организацию. Именно поэтому значительное внимание новый директор уделял не только поддержанию работоспособности корабля, но и его оснащению новым оборудованием. На судне был проведён регистровый классификационный ремонт, а участие в 7 коммерческих рейсах позволило приобрести новое научное оборудование. И сегодня без преувеличения можно сказать, что НИС «Профессор Водяницкий» является флагманом научного флота России на Чёрном и Азовском морях.

Основное палубное оборудование корабля состоит из океанологических лебёдок (в том числе предназначенных для работы с кабель-тросом), бортовой гидравлической Г-рамы, двух механических Г-рам на полубаке, двух гидравлических кранов, выносной стрелы для планктонных сетей, кормовой П-рамы и двухбарабанной траловой лебёдки. Научное оборудование включает акустический комплекс SIMRAD EK-500, зондирующий комплекс IDRONAUT OCEAN SEVEN 320Plus и другие океанологические инструменты. На борту судна оборудовано 9 современных научных лабораторий.

За период 2014–2021 гг. НИС «Профессор Водяницкий» выполнило более 40 рейсов в различные районы Азово-Черноморского бассейна. Ныне совместно с коллегами из других институтов и университетов в течение годового цикла планируются и проводятся комплексные исследования гидролого-гидрохимических, биогеохимических и гидробиологических характеристик в водной толще и донных отложениях Чёрного и Азовского морей, изучается пространственно-временная и сезонная изменчивость показателей, проводятся испытания нового оборудования.

От лица учёных Института биологии южных морей и морских исследователей других организаций хочется выразить глубокую благодарность всем членам экипажа НИС «Профессор Водяницкий», которые на протяжении 45-летнего периода достойной службы корабля отечественной науке были преданы общему делу, и пожелать судну пройти ещё много тысяч миль. Семь футов под килем!

Авторы весьма признательны кандидату биологических наук Игорю Геннадьевичу Поликарпову за ценные замечания и дополнения, а также всем сотрудникам ИнБЮМ, экипажу судна и членам их семей за предоставленную информацию, фото- и видеоматериалы.

История развития в ФИЦ ИнБЮМ научного направления «морские биотехнологии»

Рябушко В. И., Ерохин В. Е.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

rabushko2006@yandex.ru

Направление «морские биотехнологии» сложилось в ИнБЮМ в два этапа. В 1983 г. в отделе экологической физиологии водорослей была создана лаборатория новой техники и методов эксперимента, которую возглавил к. б. н. В. Е. Ерохин. Впоследствии лаборатория была преобразована в лабораторию биологически активных веществ (далее — БАВ). Основные направления исследований лаборатории — разработка способов получения БАВ из морских организмов и методов их изучения. В этот период исследованы гиббереллиноподобные вещества у представителей Chlorophyta, Phaeophyta, Chrysophyta и Cyanophyta и ряда планктонных микроводорослей Азово-Черноморского бассейна. Значительное внимание уделяли исследованию зостерана, митилана, пигментов, АТФ, флавопротеинов. Был проведён скрининг лектинов в некоторых массовых для Чёрного моря макрофитах и микроводорослях. Лектины — белки, обладающие свойством избирательно связываться с полисахаридами, гликопротеинами и гликолипидами, не вызывая при этом их химического превращения. Получение лектинов из водорослей перспективно для развития биотехнологий создания экологически чистых средств защиты растений.

Второй этап развития направления начался в конце 1990-х гг., когда сотрудники лаборатории продолжили исследования в кооперации с коллегами из других подразделений ИнБЮМ, прежде всего с д. б. н. В. И. Рябушко и возглавляемым им отделом, а также из иных организаций, прежде всего ведущих медицинских учреждений и вузов Украины. В это время были начаты работы с гидролизатами мяса морских моллюсков мидии и рапаны, а также мелкой черноморской рыбы. Разработаны технологии получения щелочных, кислотных и ферментативных гидролизатов, которые были положены в основу создания новых продуктов питания высокой биологической ценности, питательных сред для медицинской и технической микробиологии, компонентов сельскохозяйственных удобрений.

Начали развиваться работы, связанные с созданием функциональных продуктов питания, например хлебобулочных изделий и майонезов. Используя предлагаемую основу, изготовили различные вариации диетических пищевых продуктов для лечебно-профилактического питания, особенно в лекарственной терапии детей, проблемы со здоровьем у которых связаны с последствиями чернобыльской аварии, и лиц с неврологическими нарушениями. Применены пищевые композиции, обогащённые гидролизатом из моллюсков, как средство реабилитации и оздоровления жителей, в основном детей, которые имеют патологии пищеварительной системы, полидефицитную анемию, изменённый иммунный статус и повышенный уровень свободнорадикальных процессов в организме.

Разработан биопрепарат для профилактики и лечения начальных стадий церебрального атеросклероза. Технология основана на получении биологически активных веществ из морских организмов методом контролируемого расщепления белка мягких тканей мидии и рапаны. Действующее начало представлено аминокислотами (аргинин, лизин, треонин, пролин, тирозин, аспарагиновая и глутаминовая кислоты, метионин, лейцин, глицин, аланин, серин, валин, изолейцин, фенилаланин, цистин, цистеин, гистидин, триптофан, таурин); жирными кислотами (пальмитино-

вая, пальмитолеиновая, миристиновая, олеиновая, эйкозеновая, эйкозапентаеновая, докозеновая, докозадиеновая, трикозапентаеновая, докозагексаеновая, трикозатетраеновая, стеариновая, октадекатетраеновая, тетракозеновая, гептадекановая, гептадиеновая, линолевая, арахидоновая); витаминами (А, Е, РР, V, В₁, В₂, В₆, В₁₂); биогенными элементами (Са, Zn, Fe, Cu, Mn, Mg, J, K, Ni и др.; более 30). В результате комплексного анализа влияния биопрепарата на функционально-биохимические показатели у пациентов с начальными проявлениями церебрального атеросклероза установлено его мультифакторное действие. Биопрепарат улучшает мозговой кровоток за счёт увеличения скоростных показателей и снижения периферического сопротивления в отдельных сосудах мозга. Этот эффект, вероятно, обусловлен мультимодальным действием биопрепарата: антиоксидантным, противовоспалительным, медиаторным, а также за счёт нормализации функциональной активности щитовидной железы.

Компоненты нативных и лиофилизированных гонад культивируемой мидии являются перспективными источниками для получения БАВ — стимуляторов либидо и БАВ, обладающих противоопухолевой активностью. Получено средство, обогащённое тестостероном, которое может быть использовано для поддержания общего физиологического статуса и репродуктивной активности человека.

Инъекционный ветеринарный препарат из биологически активных веществ морского моллюска мидии показан при иммунодефиците и нарушениях общего обмена веществ у животных, а также при заболеваниях крови, кожи и печени, реабилитации после инфекций и операций, при нарушениях половой функции, для увеличения количества и улучшения качества приплода, усиления лактации, восстановления и улучшения структуры волосяного покрова, уменьшения вероятности заболеваний, как препарат сопровождения при вакцинации. У птицы — для увеличения яйценоскости и качества инкубационных яиц.

Разработана технология изготовления основы для микробиологических питательных сред, в которой получают щелочной гидролизат из моллюсков и соединяют с кислотным гидролизатом из рыбы.

Применение гидролизатов из морского сырья способствует повышению урожайности сельскохозяйственных культур. Для повышения эффективности аминокислотных удобрений испытаны композиции на основе рыбных ферментативных и мидийных гидролизатов. Разработана технология получения высокоэффективных комплексных удобрений из морского сырья с высоким содержанием аминокислот для обработки семян культурных растений и для внекорневого внесения. Применение данных удобрений позволяет повысить коэффициенты использования макро- и микроэлементов растениями пшеницы, устойчивость посевов к засухе и высоким температурам. Удобрения могут использоваться в системах получения экологически безопасной и чистой продукции растениеводства.

Разработана технология получения ультрадисперсных частиц серебра в матрице биополимеров морских водорослей, которая может быть положена в основу создания новых отечественных фармацевтических и ветеринарных препаратов и лекарственных средств, например лейкопластырей, суппозиториев, нетканых материалов с антисептическим покрытием. Биополимеры применяют при лечении ожогов, трофических язв и пролежней, а также длительно незаживающих ран. Они обладают хорошими дренирующими свойствами, ускоряют очищение ран, снижают их инфицированность, уменьшают интоксикацию организма и способствуют благоприятному течению раневого процесса. Биополимеры синергетически усиливают активность наносеребра, обеспечивая его высокую стабильность, мембранотропность и биосовместимость.

На основе альгината натрия из бурых водорослей рода *Cystoseira* получены лабораторные образцы различных лечебно-профилактических и лекарственных препаратов — средства для улучшения качества кожи, средства для полоскания полости горла и носа, а также дезинфицирующей крем-маски.

Разработаны новые технологии получения целевых продуктов лечебно-профилактического назначения из биомассы и БАВ диатомовой водоросли *Cylindrotheca closterium*. Это биомасса с высоким содержанием фукоксантина и ПНЖК как биологически ценный продукт, спиртовой экстракт БАВ, оливковое масло, обогащённое фукоксантином, кристаллический фукоксантин.

По тематике научного направления «морские биотехнологии» получено более 60 патентов и авторских свидетельств на изобретения Украины и России, защищены 4 кандидатские диссертации.

Парадоксы биоэнергетики низших позвоночных

Солдатов А. А.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

alekssoldatov@yandex.ru

Базальные скорости метаболизма у пойкилотермов в 6–10 раз ниже, чем у гомойотермных организмов, при равных температурных условиях и весовых характеристиках животных [Савина, 1992]. Различия в активном обмене составляют 5–15 раз [Bennett, 1978]. Они сохраняются не только на организменном, но и на тканевом уровнях. При этом клеточные системы обеих групп поддерживают сходные трансмембранные градиенты по Na^+ и K^+ , что позволяет говорить о более высокой функциональной эффективности пойкилотермов [Buck, Hochachka, 1993 ; Johansson, Nilsson, 1995 ; Knickerbocker et al., 2001]. Считается, что это определяется более низкой плотностью Na^+ - и K^+ -каналов на цитоплазматических мембранах, что снижает энергетические траты на поддержание трансмембранного градиента (метаболический арест) [Doll et al., 1993 ; Hochachka, Somero, 2002 ; Hulbert et al., 2002]. Однако количество митохондрий, плотность капиллярной сети в мышцах и напряжение кислорода в артериальной крови у пойкилотермов либо сопоставимы, либо превышают величины, известные для млекопитающих [Hochachka, Lutz, 2001 ; McKenzie et al., 2004 ; Soldatov, 2006 ; Bickler, Buck, 2007]. Причины, лежащие в основе данного парадокса, до конца не определены.

В настоящей работе проводится сравнительная оценка кислородных режимов мышечной ткани млекопитающих и рыб, а также предлагаются новые варианты объяснения существующих противоречий. Акцент делается на двух группах показателей, которые при устойчивых состояниях организма должны быть сбалансированы:

- напряжении кислорода в артериальной ($P_a\text{O}_2$), венозной крови ($P_v\text{O}_2$) и тканевых структурах ($P_m\text{O}_2$);
- скоростях транспорта кислорода кровью ($V_a\text{O}_2$, $V_v\text{O}_2$) и утилизации его тканями ($V_m\text{O}_2$).

Первая группа параметров ответственна за скорости диффузии кислорода в тканевых структурах, вторая — за величины $P\text{O}_2$ в крови и тканях.

Сравнительная оценка показала, что величины $P_a\text{O}_2$ и $P_v\text{O}_2$ у млекопитающих и пелагических рыб оказались близкими. В то же время у представителей донной ихтиофауны они были почти в 2 раза ниже. Несмотря на совпадение значений указанных величин у млекопитающих и представителей пелагической ихтиофауны, напряжение кислорода в скелетных мышцах ($P_m\text{O}_2$) рыб было более чем в 3 раза ниже. У донных видов различия достигали 5–6 раз. Они были выявлены в сравнении не только с млекопитающими, но и с рептилиями, птицами и амфибиями, у которых $P\text{O}_2$ находилось в пределах 38–48 гПа.

Низкие диффузионные характеристики гистогематического барьера являются более вероятным объяснением выявленного феномена. Об этом свидетельствует достаточно высокий градиент напряжений кислорода (46–57 гПа), существующий между кровью и скелетными мышцами ($P_{c-m}\text{O}_2$) у пелагических рыб, что отражает напряжённый характер диффузии газа в их тканях.

Сравнительные исследования показали, что кислородная ёмкость крови у рыб ниже, чем у высших позвоночных, и прямо связана с естественной подвижностью вида. Число же функционирующих капиллярных единиц в скелетных мышцах птиц, млекопитающих и рыб, напротив, практи-

чески одинаково. Это позволяет ожидать и близких значений тканевого кровотока. В настоящей работе кровотоков в красных и белых мышцах был определён методом H_2 -клиренса. На основании полученных значений затем была рассчитана средневзвешенная величина, определяемая с учётом процентного содержания соответствующих групп мышц в теле рыб. Результаты, полученные для пелагических видов, практически совпали с таковыми для млекопитающих. При сходных величинах массопереноса кислорода в скелетных мышцах млекопитающих и рыб утилизация его (V_mO_2) имела существенные отличия. У пелагических видов она была в 2–6 раз ниже.

Диффузионную способность скелетных мышц по отношению к кислороду (D_mO_2) оценивали как количество потреблённого кислорода (V_mO_2) в расчёте на единицу (1 гПа) диффузионного градиента. У рыб она составила 0,0014–0,0055 мл $O_2 \cdot \text{мин}^{-1} \cdot 100 \text{ г}^{-1} \cdot \text{гПа}^{-1}$, что в 2–21 раз ниже, чем у млекопитающих.

О том, что стенка капилляров у рыб способна значительно лимитировать диффузию кислорода, ранее уже высказывались предположения [Rasio et al., 1992]. Однако более поздние работы констатировали обратное: проницаемость капилляров у рыб оказалась почти в 10 раз выше, чем у млекопитающих [Nichols, 1987]. В них были обнаружены крупные отверстия и разрывы [Riehl, 1983], позволяющие легко преодолевать барьер многим высокомолекулярным соединениям, в частности белкам [Nichols, 1987] и даже эритроцитам [Nikinmaa et al., 1981]. Это означает, что стенка капилляра у рыб не может ограничивать диффузию кислорода в ткань.

Исследования, выполненные на икринках выюна [Березовский, Сушко, 1984], позволили выявить иную причину низких значений P_mO_2 у рыб. При проколе микроэлектродом оболочки икринки был зарегистрирован значительный скачок PO_2 — около 48 гПа. Это позволяет выдвинуть предположение о том, что основным фактором, ограничивающим диффузию кислорода в мышцах рыб, являются не капилляры, а низкие диффузионные характеристики мембранных структур клеток. К подобному заключению приходят и другие исследователи [Hills et al., 1982]. Сравнительная оценка текучести цитоплазматических и митохондриальных мембран пойкилотермных организмов (рептилии) и млекопитающих продемонстрировала, что у первых она была ниже [Brand et al., 1991]. Показана также высокая плотность мембран эритроцитов миноги в сравнении с таковыми амфибий и млекопитающих [Забелинский и др., 2014]. Осложнять диффузию кислорода в тканях первичноводных организмов может и высокое содержание воды. Известно, что растворимость кислорода в липидах в 4 раза выше, чем в оводненной цитоплазме [Londrville, Sidell, 1990]. Если принять во внимание эти факты, становятся понятными причины высокой плотности капилляров и митохондрий в скелетных мышцах различных систематических групп рыб. Это, в свою очередь, позволяет говорить о том, что одним из путей совершенствования кислородного режима тканей в ряду позвоночных является, скорее, повышение диффузионных характеристик мембранных структур их клеток.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИНБЮМ № 121041400077-1 и при частичной поддержке проекта РФФИ № 20-04-00037.

Морские аспекты карбонового полигона в Калининградской области

Ульянова М. О.^{1,2}, Сивков В. В.^{1,2}

¹Балтийский федеральный университет имени И. Канта, Калининград, Россия

²Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

marioches@mail.ru

Естественные природные комплексы могут как эмитировать газы, так и поглощать их. Важность эмиссии климатически активных газов состоит в их влиянии на парниковый эффект, который приводит к нагреванию земной климатической системы. Прогнозы показывают, что эта тенденция будет продолжаться в течение XXI в. при любом сценарии развития мировой экономики. Мировое сообщество серьёзно озабочено антропогенным влиянием на климат и предпринимает согласованные действия по его уменьшению. Главным показателем при оценке роли отдельных государств в эмиссии газов станет чистая эмиссия, то есть разность между эмиссией и поглощением. Таким образом, оценка (инвентаризация) чистой эмиссии климатически активных газов каждой страной становится проблемой достоверного количественного учёта антропогенных и природных источников газов с одной стороны и природных (или созданных человеком) поглотителей этих газов с другой.

Для решения задачи построения эффективной системы мониторинга климатически активных газов и её обеспечения эффективными технологиями и методиками на территории России создаётся сеть научно-образовательных полигонов, на которых будут происходить разработка, испытание и валидация технологий количественной оценки потенциалов эмиссии и секвестрования различными типами экосистем. Реконструкция интегральных потоков климатически активных газов позволит предоставлять точную информацию по их инвентаризации, обеспечивая эффективное принятие решений государственными органами в части выполнения соответствующих обязательств России, регулирования национального карбонового законодательства и проведения экологической (низкоуглеродной) трансформации экономики.

Один из полигонов, калининградский карбоновый полигон «Росьянка», создаётся в южной части Балтийского региона. Такое его расположение является особенно важным, поскольку именно Европейским союзом наиболее активно выдвигаются требования по сокращению выбросов парниковых газов, сопряжённые с серьёзными финансовыми и экономическими инструментами регулирования, которые включают квотирование и генерирование стоимости выбросов, формирование системы международных расчётов за увеличение/уменьшение выбросов, налоговые инструменты. В контексте «карбоновой повестки» Балтийское море — уникальный бассейн. Это трансграничное море, испытывающее высокую антропогенную нагрузку. Здесь беспрецедентно высок уровень эвтрофикации вод; как следствие, высоки скорости первичного биопродуцирования (фотосинтеза). Поэтому в масштабе Мирового океана Балтийское море является ярко выраженным максимумом секвестрирования CO₂. Интенсивность фотосинтеза наиболее высока в юго-восточной части моря, где организована морская площадка калининградского карбонового полигона. Расположение этой площадки в пределах крупного ареала газонасыщенных осадков позволяет также учесть эмиссию метана. Наконец, у берегов Калининградской области разрабатываются самые крупные региональные месторождения углеводородов, и их эмиссия из земной коры в гидросферу и атмосферу также требует оценки.

Морская площадка калининградского карбонового полигона расположена в территориальных водах РФ за пределами береговой зоны моря на глубине 64–87 м и находится под влиянием стока крупнейшей в регионе реки — Вислы. Верхний, распреснённый слой моря достигает здесь глубин 70–75 м и характеризуется солёностью 7,0–7,5 PSU. Температурный режим верхнего слоя моря имеет выраженную сезонность, включая процессы формирования и эрозии термоклина. В нижнем, осолонённом слое (12–14 PSU) изменчивость гидрологических и гидрохимических показателей определяется затоками североморских вод. Придонные воды подвержены спорадической гипоксии и аноксии. Донные осадки представлены морскими терригенными алеврито-пелитовыми илами с высоким содержанием органического углерода и углеводородных газов (метана). Акватория полигона не подвержена прямому антропогенному воздействию, за исключением рыболовства.

В Балтийском федеральном университете имени И. Канта (БФУ), который является оператором карбонового полигона «Росьянка», начата реализация проекта по теме «Временная изменчивость потоков углерода на карбоновом полигоне в Балтийском море». Участником программы является Атлантическое отделение Института океанологии имени П. П. Ширшова РАН. Цель работ на морской площадке полигона определена как разработка и испытание технологий контроля эмиссии парниковых газов и других значимых климатических параметров и проведение исследований источников и поглотителей парниковых газов. Для решения задач по теме исследования реализуется экосистемный (междисциплинарный) подход. Будут изучаться потоки углерода на границах литосфера — гидросфера и гидросфера — атмосфера; будет исследоваться баланс углерода в морской среде. Это потребует проведения газогеохимических, гидробиологических, гидрологических, гидрохимических и седиментологических исследований. Основными задачами исследований на 2021–2022 гг. являются: 1) сезонные океанологические съёмки на с целью определения величин потоков углеводородных газов на границах вода — дно и вода — атмосфера, скорости первичной продукции фитопланктона, седиментационного потока органического углерода из слоя фотосинтеза, температуры, солёности, величины pH и прозрачности воды, содержания в воде углекислого газа, метана, сероводорода, кислорода, биогенных веществ и органической взвеси, биомассы и таксономического состава бентоса, фито-, бактерио- и зоопланктона; 2) сбор и анализ спутниковых данных по хлорофиллу *a*, температуре поверхности моря и концентрации взвеси; 3) долговременные измерения потоков углеводородных газов на границе вода — дно с помощью автономной донной станции. В результате будут определены количественные значения показателей эмиссии и секвестирования углерода в морской среде с учётом сезонной изменчивости и разработана адаптированная методика мониторинга этих показателей. Первые исследования на морской площадке калининградского карбонового полигона были выполнены весной и летом 2021 г.

Задача мониторинга климатически активных газов — междисциплинарная; она требует привлечения специалистов в самых разных областях — климатологии, метеорологии и океанографии, численном моделировании, технологии измерений, машинном обучении и т. д. Это потребует адаптации существующих и разработки новых магистерских и аспирантских программ, консолидирующих знания из разных областей, поэтому понадобится создание новых образовательных форматов, которые связаны с самими полигонами. На решение этой задачи будет, в частности, направлена деятельность морского консорциума, образованного в 2020 г. БФУ, Дальневосточным федеральным университетом и Севастопольским государственным университетом.

Работа выполнена в рамках госзадания ИО РАН (тема № 0128-2021-0012).

**Биоразнообразиие водных
и наземных экосистем
и его сохранение**

Изменения индексов видового разнообразия ихтиопланктона северной части Центрально-Восточной Атлантики

Архипов А. Г., Коломейко Ф. В., Пак Р. А.

Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»), Калининград, Россия

arkhipov@atlantniro.ru

Интегрированным показателем состояния любого сообщества может служить его видовое разнообразие, выраженное различными индексами [Песенко, 1982 ; Серебряков, 1984 ; Jacobs, 1975 ; и др.]. В ихтиопланктонных пробах, собранных во время комплексных экспедиций на стандартных станциях в северной части Центрально-Восточной Атлантики (далее — ЦВА), количество видов икринок и личинок, а также численность каждого вида от года к году существенно менялись. Чтобы оценить видовое разнообразие ихтиопланктона, были использованы различные индексы видового разнообразия, широко применяемые в эколого-фаунистических исследованиях [Песенко, 1982 ; Одум, 1986 ; Бурковский, 2006 ; Архипов, 2006 ; Jacobs, 1975 ; и др.]. Проанализированы изменения индексов видового разнообразия ихтиопланктона в северной части Центрально-Восточной Атлантики с привлечением ретроспективных данных и новых материалов.

В работе использованы материалы ихтиопланктонных съёмок 2000–2019 гг. в водах северной части ЦВА (32°–16° с. ш.) (исключительные экономические зоны Марокко и Мавритании). Для сбора материалов применялись планктоносборщики «Бонго-20» с газом № 17–21. Осуществлялся ступенчато-косой лов на горизонтах 100, 50, 35, 25, 10 и 0 м по 1,5–3 минуты на каждом горизонте при скорости судна 2,0–3,0 уз. [Методические указания..., 1983]. Планктонные станции в акваториях съёмок располагались над глубинами от 20 до 1000 м. Дальнейшая обработка материалов велась в лабораторных условиях под бинокулярными микроскопами МБС-10 (увеличение 8×2, 8×4). В ходе камеральной обработки определялись качественный и количественный составы икринок и личинок рыб. Видовое разнообразие ихтиопланктона оценено с использованием наиболее распространённого в гидробиологии информационно-статистического императивного индекса Шеннона [Shannon, 1948]. Как мера неоднородности, индекс Шеннона учитывает выравнивания видовых обилий, но очень часто для наглядной оценки степени «полидоминантности» отдельно применяют показатель выравниваемости (императивный индекс), предложенный Э. Пиелу [Pielou, 1966] и представляющий собой отношение наблюдаемого разнообразия (индекс Шеннона) к максимальному. Кроме того, были рассчитаны императивный индекс Симпсона [Simpson, 1949] и параметрический индекс Маргалефа [Margalef, 1951]. Императивные индексы в основном заимствованы из теории информации и имеют преимущество перед параметрическими: они применимы даже тогда, когда форма распределения видового разнообразия по станциям и/или по годам значительно меняется. Параметрические же индексы показывают наличие большего или меньшего количества видов в сравниваемых биоценозах вне зависимости от количества каждого вида. Для оценки вклада каждого вида в состав ихтиопланктонных комплексов был применён индекс доминирования Палия — Ковнацки [Kownacki, 1971]. Всего за рассматриваемый период было выполнено и проанализировано 25 ихтиопланктонных съёмок.

Рассмотрим динамику колебаний индексов видового разнообразия ихтиопланктона северной части Центрально-Восточной Атлантики. Изменения индексов происходили синхронно, причём наибольшие колебания наблюдались у параметрического индекса Маргалефа (5,79–10,00); анализируя их, можно отметить общую тенденцию увеличения видового разнообразия от северной

части Марокко к району Мавритании. Колебания императивных индексов были более сглаженными. Индекс Симпсона менялся в пределах от 0,32 до 0,87, то есть, согласно классификации Одума [Odum, 1975], ихтиопланктонный комплекс в северной части ЦВА имел среднее (индекс выше 0,2) и высокое (индекс выше 0,7) биотическое разнообразие. Рассчитанный с использованием индекса Шеннона показатель выравненности (индекс) Пиелу изменялся в пределах от 0,22 до 0,59. В основном наблюдалась ситуация определённой монодоминантности (индекс выравненности был $\leq 0,5$ в 13 из 19 лет наблюдений), в остальные годы отмечалось относительно равное обилие всех видов в сравнительно сложно организованном ихтиопланктонном комплексе. Согласно оценке степени доминирования по индексу Паляя — Ковнацки, доминирующими видами в ихтиопланктоне в рассматриваемых районах были европейская сардина (*Sardina pilchardus*) и круглая сардинелла (*Sardinella aurita*), субдоминантами — европейский анчоус (*Engraulis encrasicolus*), спаровые (сем. Sparidae) и ромбовые (сем. Bothidae). При этом процент вклада в состав ихтиопланктона европейской сардины (субтропический вид) уменьшался, а процент вклада круглой сардинеллы (тропический вид) увеличивался от Марокко к Мавритании.

Особенности ихтиофауны Северного Приморья (Японское море)

Асеева Н. Л.¹, Кравченко Д. Г.¹, Измятинская В. Н.², Измятинский Д. В.¹

¹Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), Владивосток, Россия

²Муниципальное общеобразовательное учреждение школа № 61, Владивосток, Россия

aseeva_n@hotmail.com

Одной из главных особенностей бореальных широт является резкая смена климата при переходе от лета к зиме и наоборот. Естественно, что данные природные явления влекут за собой изменения как в распределении конкретных гидробионтов, так и в структурах их сообществ в целом. В осенний период при похолодании большая группа сублиторальных и элиторальных рыб перемещается с относительно малых глубин в район кромки шельфа и верхних отделов континентального склона. К таким видам относятся практически все встречающиеся в Приморье камбалы Pleuronectidae, за исключением полосатой *Liopsetta pinnifasciata*, все морские тресковые Gadidae, определённые виды терпуговых Hexagrammidae, многие бычки Cottidae и др. В отличие от них, анадромные виды при наступлении холодов мигрируют в реки. Есть и группа видов, которые в холодное время года значительно не изменяют своего распределения, но их скопления, как правило, смещаются в более локальные зоны. Последнее касается многих мезобентальных рыб, определённого количества элиторальных и даже части сублиторальных, таких, например, как бурый терпуг *Hexagrammos octogrammus* и полосатая камбала.

На основании анализа сезонной изменчивости в распределении рыб можно предположить, что виды распространены в естественных местах своего обитания только в тёплое время года. Следовательно, в тёплое время года и надо рассматривать особенности батиметрического распределения рыб.

Между тем наиболее благоприятным временем для проведения донных учётных съёмок в Северном Приморье является весна, поскольку в другие сезоны значительная часть особей активно мигрирующих видов, в частности минтая *Theragra chalcogramma* и тихоокеанской сельди *Clupea pallasii*, уходит из зоны учёта. Однако в весенний период не удаётся точно установить состав промысловой ихтиофауны в конкретных диапазонах глубин, так как это время сезонных миграций рыб. Мы разработали собственную методику определения состава рыб в разных биотопах, характерного для тёплого времени года (июнь — сентябрь), по данным весенних съёмок. Прежде всего, мы проанализировали большой массив данных научных экспедиций, работавших в июне — сентябре 1978–2019 гг., и вывели среднемноголетнее соотношение биомассы разных видов в сублиторали, элиторали и мезобентали. Теперь, основываясь на том, что по данным весенней съёмки промысловая ихтиофауна учтена наиболее полно, берём из неё цифры биомассы конкретных видов и раскидываем их по процентам соответствующих диапазонов глубин в тёплое время года, согласно уравнению:

$$B_B = (F_B \times (УБ_0 \times 3) \div 100) \times S_B,$$

где B_B — абсолютная биомасса вида в конкретном биотопе Северного Приморья в тёплое время года;

F_B — среднемноголетняя доля вида в данном биотопе (%) от всей его биомассы в Северном Приморье в июне — сентябре;

$УБ_0$ — общая удельная биомасса рыб в Северном Приморье по данным весенней съёмки ($\text{кг} \cdot \text{км}^{-2}$ или $\text{т} \cdot \text{км}^{-2}$);

S_6 — площадь данного биотопа (км^2).

Изначально в эту формулу была заложена гипотетическая идея, что каждый из трёх биотопов (сублитораль, элитораль и мезобенталь) одинаков и представлен площадью в 1 км^2 . В связи с этим константа ($УБ_0 \times 3$) означает суммарную ихтиомассу во всех трёх биотопах (на 3 км^2). А часть уравнения ($F_B \times (УБ_0 \times 3) \div 100$) соответствует биомассе вида в конкретном биотопе на одном квадратном километре. Умножая данную часть уравнения на площадь биотопа, получаем биомассу вида во всём этом биотопе в акватории Северного Приморья.

Суммируя абсолютные биомассы всех отдельных видов в каждом из биотопов, получаем общую ихтиомассу каждого биотопа: сублиторали ($СБ_{0-1}$), элиторали ($ЭБ_{0-1}$) и мезобентали ($МБ_{0-1}$). Сложив три последние величины, мы можем обнаружить, что полученная сумма оказалась несколько меньше суммарной ихтиомассы по данным весенней съёмки. Если это произошло, то делим величину общей суммарной ихтиомассы по данным весенней съёмки ($Б_0$) на величину полученной нами суммарной ихтиомассы ($Б_{0-1}$), при условии, что $Б_{0-1} = СБ_{0-1} + ЭБ_{0-1} + МБ_{0-1}$. В итоге мы получим коэффициент (k), на который нужно умножить биомассу каждого вида в каждом биотопе. По завершении этой операции мы придём к равенству $Б_{0-1} \times k = Б_0$, согласно уравнению:

$$\sum СБ_B \times k + \sum ЭБ_B \times k + \sum МБ_B \times k = Б_0,$$

где $СБ_B$ — абсолютная биомасса отдельного вида в сублиторали;

$ЭБ_B$ — абсолютная биомасса отдельного вида в элиторали;

$МБ_B$ — абсолютная биомасса отдельного вида в мезобентали;

$Б_0$ — общая биомасса рыб в Северном Приморье по данным весенней съёмки.

По среднемноголетним данным, в июне — сентябре подавляющая часть ихтиомассы Северного Приморья сосредоточена в элиторали — 64 %, или 154,5 тыс. т. На долю мезобентали приходится 29 %, или 69,5 тыс. т, а сублиторали — только 7 %, или 16,0 тыс. т. Однако плотность ихтиомассы, зависящая от метража акватории, по данным биотопам распределяется несколько иначе. Максимальная величина удельной биомассы рыб отмечается в элиторали — $10,2 \text{ т} \cdot \text{км}^{-2}$. В сублиторали и мезобентали биомасса рыб на единицу площади меньше и примерно одинакова — 4,5 и 4,2 $\text{т} \cdot \text{км}^{-2}$ соответственно.

Поскольку в Северном Приморье у берега дно понижается быстро и зона сублиторали здесь узка, составы массовых видов в сублиторали и элиторали в целом различаются не сильно, с той разницей, что в сублиторали наибольшую долю ихтиомассы формирует многоиглый керчак *Myoxocephalus polyacanthocephalus* (17,2 %), а в элиторали — колючая камбала *Acanthopsetta nadeshnyi* (20,1 %). И только в сублиторали среди субдоминантных видов присутствуют желтополосая камбала *Pseudopleuronectes herzensteini*, зубастая корюшка *Osmerus mordax dentex*, снежный керчак *Myoxocephalus brandtii* и бычок-ворон *Hemitripterus villosus*. А в элиторали в состав массовых видов начинают входить палтусовидная камбала *Hippoglossoides dubius*, колючий ицел *Icelus cataphractus* и рыба-лягушка *Aptocyclus ventricosus*.

Существеннее состав рыб отличается в мезобентали. Как и на меньших глубинах, массовыми в мезобентали являются колючая и малоротая *Glyptocephalus stelleri* камбалы, щитоносный скат *Bathyraja parmifera*, охотский *Gymnocanthus detrisus* и дальневосточный *G. herzensteini* шлемоносцы, минтай и колючий ицел. Кроме них, в список массовых видов здесь добавляются сугубо мезобентальные виды: аллолепис голландский *Bothrocara hollandi*, мягкий бычок *Malacocottus zonurus*,

тупорылый карепрокт *Careproctus rastrinus*, длиннорылая люмпенелла *Lumpenella longirostris*, ликоды Яматои *Lycodes yamatoi* и Накамуры *L. nakamurae*; а также виды, встречающиеся и на меньших глубинах, но предпочитающие мезобенталь, — ликод Танаки *Lycodes tanakae* и кристаллиновый липарис *Crystallias matsushmae*.

Таким образом, по нашему мнению, состав ихтиофауны конкретных биотопов следует оценивать по распределению видов в тёплое время года, когда условия их обитания наиболее естественны. Мы разработали методику оценки биомассы видов в конкретных биотопах в тёплое время года по данным весенних съёмок. В сублиторали с июня по сентябрь первое место по биомассе обычно занимает многоиглый керчак, а в элиторали и мезобентали — колючая камбала. Поскольку прибрежная акватория до глубины 50 м в Северном Приморье невелика, в составах массовых видов сублиторали и элиторали прослеживается много общих элементов. А в мезобентали среди массовых рыб появляется ряд видов, характерных только для свала глубин.

Новые морфологические и молекулярно-генетические данные для трематод семейства *Vucephalidae* Roche, 1907 от костистых рыб Восточно-Азиатского региона

Атопкин Д. М.^{1,2}, Беспрозванных В. В.¹, Шедько М. Б.¹, Рожкован К. В.^{3,4}, Ха Н. Д.⁵,
Нгуйен В. Х.⁵

¹Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток,
Россия

²Дальневосточный федеральный университет, Школа Мирового океана

³Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Россия

⁴Санкт-Петербургский государственный университет, Клиника, Санкт-Петербург, Россия

⁵Институт экологии и биоразнообразия, Вьетнамская академия наук и технологий, Ханой, Вьетнам

pan2006_82@mail.ru

Получены морфометрические и молекулярные данные для четырёх видов трематод семейства *Vucephalidae* Roche, 1907 от морских и пресноводных видов рыб Восточно-Азиатского региона. Результаты морфологического и метрического анализов показали, что трематоды от калуги *Huso dauricus* из р. Амур представляют собой новый вид рода *Rhipidocotyle* — *Rhipidocotyle husi* sp. n.; трематоды от окуня *Siniperca chuatsi* (Basilewsky, 1855) принадлежат виду *Vucephalus skrjabini* Akhmerov, 1963; черви от саргана *Strongylura strongylura* (van Hasselt, 1823), залив Халонг, Вьетнам, являются представителями вида *Prosorhynchoides karvei* Bhalerao, 1937; трематоды от трёх видов бычков *Muxosephalus* идентифицированы как *Prosorhynchus squamatus* Odhner, 1905. Таксономический статус изучаемых трематод подтверждён результатами анализа генетических дистанций и филогенетических реконструкций, полученных на основании данных частичного секвенирования гена 28S рРНК.

Выполнен сравнительный анализ топологий филогенетических деревьев для представителей семейства *Vucephalidae*, реконструированных с использованием всех доступных данных секвенирования 28S рДНК с одной стороны и только морфологически подтвержденных видов — с другой. Анализ топологии дерева с полным набором молекулярных данных показал, что семейство *Vucephalidae* представляет собой высоко поддержанную монофилетичную группу, внутри которой роды *Rhipidocotyle*, *Vucephalus* и *Prosorhynchoides*, представители которых являются объектами данного исследования, парафилетичны. Результаты анализа филогенетического дерева с набором молекулярных данных только для морфологически валидных видов указали на монофилетичность всех трёх родов. На этом дереве, так же как и на общем, род *Prosorhynchus* сохранял парафилетичность, *P. squamatus* был более близок к видам рода *Dollfusotrema*, чем к другим видам рода *Prosorhynchus*. По этой причине, а также на основании высокого морфологического сходства *P. squamatus*, видов рода *Dollfusotrema* и *Prosorhynchus brayi* между собой, считаем целесообразным рассматривать представителей *Dollfusotrema* в составе рода *Prosorhynchus*.

Роль естественнонаучных коллекций Музея Мирового океана в экологическом просвещении

Байкова И. Б.

Музей Мирового океана, Калининград, Россия

irina.baykova@gmail.com

Среди многочисленных видов деятельности, способствующих сохранению биоразнообразия, особая роль отводится экологическому просвещению, работе по воспитанию ответственной и активной гражданской позиции, повышению биологической и экологической грамотности населения. Экологическое просвещение — это распространение экологических знаний, информации о состоянии окружающей среды и об использовании природных ресурсов в целях формирования экологической культуры. Большую работу по экологическому просвещению ведут природоохранные и общественные организации, средства массовой информации, образовательные учреждения, научно-исследовательские институты.

Среди учреждений культуры наиболее широкими возможностями обладают музеи естественнонаучного профиля. Музеи выступают в роли посредника между научным сообществом и посетителем. Разработка и внедрение научно-просветительных проектов и проведение мероприятий в естественнонаучных музеях дополняют формальное экологическое образование. Используются различные формы экологического просвещения: экскурсии, тематические занятия, мастер-классы, семинары.

Научно-фондовая деятельность в рамках музея даёт возможности для введения музейных предметов в научный оборот, осуществления исследовательской работы, где естественнонаучные музейные коллекции могут становиться специфической ресурсной базой для изучения биоразнообразия. С другой стороны, результатом изучения музейного фондового предмета становятся выставки и экспозиции, являющиеся также эффективной формой экологического просвещения, где музейные предметы и коллекции превращаются в объекты показа, экспонаты. Экспонаты приобретают коммуникативные свойства. Они не только могут иллюстрировать процесс или эпоху, демонстрировать принадлежность к памятным событиям, но и позволяют получить элементарные знания о существующих в природе видах живых существ, их взаимосвязях, организации и факторах, способствующих поддержанию равновесия экосистем.

Музей Мирового океана — комплексный морской музей. Благодаря наличию в фондах коллекций естественнонаучного направления, он имеет широкие возможности для экологического просвещения в рамках реализации экспозиционных и выставочных проектов. Самыми представительными по числу образцов являются палеонтологическая коллекция (более 11 тыс. единиц хранения) и конхиологическая — коллекция раковин моллюсков (10,5 тыс. единиц хранения). Коллекция кораллов состоит из 1200 образцов. Коллекция биологических предметов, включающая предметы разных групп хранения (таксидермические и остеологические образцы, влажные препараты, сухие образцы), насчитывает более 2000 единиц.

При формировании фондовой музейной коллекции поначалу использовался тематический принцип комплектования. Например, при создании экспозиционных комплексов, мемориальных лабораторий на НИС «Витязь» отбирались предметы, помогавшие воссоздать атмосферу лабораторий, рассказать о круге научных интересов учёных-«витязян». С течением времени комплектование стало осуществляться системно и приобрело комплексный характер. В настоящее время

наиболее актуальным направлением является сбор предметов, способствующих всестороннему представлению биоты Мирового океана в тематических блоках нового естественнонаучного экспозиционного корпуса «Планета Океан».

Одним из магистральных направлений в проектируемой экспозиции должен стать экспозиционный комплекс «Исполины океана», посвящённый морским млекопитающим. Наряду с историческими темами, касающимися китобойного промысла в середине XX в., будут подняты острые вопросы, затрагивающие современные взаимоотношения человека и китообразных: аспекты изучения и охраны, антропогенное воздействие, использование морских животных в индустрии развлечений. Раскрытию этой темы помогут как музейные предметы времен китобойного промысла на АКФ «Юрий Долгорукий» — череп косатки, скелет кашалота, переданные музею сотрудниками Атлантического научно-исследовательского института рыбного хозяйства («АтлантНИРО»), — так и образцы, приобретённые в 2015–2019 гг. — скелет серого кита, скелет белухи и др. Ярким акцентом может стать скелет стеллеровой коровы, собранный из остеологических образцов от двух особей и дополненный муляжными элементами недостающих костей. История этого вида сирен, исчезнувшего в 1768 г., всего лишь через 27 лет после открытия, преподносится как хрестоматийный пример варварского отношения к природе. Что нам известно о тех событиях, как ситуация рассматривается учёными в XXI в. — об этом можно будет узнать в проектируемой экспозиции. Экспозиционный комплекс «Исполины океана» в новом корпусе задуман как сложная инсталляция с элементами дополненной реальности, что, по мнению проектной группы, будет помогать восприятию информации и способствовать формированию целостного представления.

Ещё одним направлением комплектования является сотрудничество по передаче дериватов павших животных с Калининградским зоопарком. Это направление позволяет рационально использовать уникальный природный материал и формировать предметный ряд для выставочных проектов экологического и зоогеографического направлений. Среди полученных таким образом предметов — шкура амурского тигра, снежного барса, тигра, носорога. В настоящее время эти предметы задействованы в выставочном проекте «Сокровища контрабандистов», реализованном на площадке Музея Мирового океана совместно с Дарвиновским музеем (г. Москва). Выставка, на которой представлено более 200 предметов, посвящена теме незаконной торговли редкими и исчезающими видами животных. Этот проект позволяет не только познакомить посетителя с особенностями биологии и поведения некоторых представителей живой природы, становящихся объектами незаконного оборота, но и дать новые знания о мерах по охране природы и биоразнообразия (организациях, соглашениях, нормативных документах). Отзывы посетителей о выставке позволяют надеяться, что после знакомства с экспонатами и материалами эти люди уже никогда не станут вольно или невольно способствовать контрабанде редких животных.

Особое место в структуре музея занимает аквариальный комплекс с живой коллекцией гидробионтов. Создание и моделирование искусственных экосистем требует не только хорошего знания основных экологических принципов, но и хорошего эстетического восприятия, а также ответственного отношения к делу. Демонстрация живых объектов и объяснение основ ухода за гидробионтами, поддержания системы жизнеобеспечения — ещё один эффективный способ экологического просвещения и воспитания экологической культуры.

Музейная деятельность не исчерпывается статичными формами, она постоянно развивается, совершенствуется, открываясь по-новому вызовам времени. Введение в эксплуатацию нового главного корпуса «Планета Океан» позволит ввести в строй новые экспозиционные площади, увеличить аквариальный комплекс, придать импульс развитию музея и создать новые возможности для представления коллекций и экологического просвещения.

Выявление оптимальных условий для культивирования жгутиконосцев телонемид

Бородина А. С.^{1,2}, Беляев А. О.^{1,3}, Тихоненков Д. В.¹

¹Институт биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина РАН, Борок, Россия

²Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

³Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

atomintheuniverse@gmail.com

По результатам проведённых в 2018 г. транскриптомных исследований было установлено филогенетическое положение телонемид (Telonemia) — группы микроскопических одноклеточных хищных эукариот, найденных в Карском море [Strassert et al., 2019]. Оказалось, что телонемиды выступают в качестве сестринской линии к крупнейшей супергруппе эукариот SAR — Stramenopiles, Alveolata, Rhizaria. На основании полученных данных выделена новая мегагруппа в составе эукариот, названная TSAR (Telonemia + SAR). Ввиду ключевой позиции на филогенетическом древе, исследования телонемид могут помочь в реконструкции гипотетического предка SAR и в продвижении в понимании формирования разнообразия данной супергруппы и морфологии их клеток.

Результаты анализа природных сиквенсов, относящихся к телонемидам, показывают, что телонемиды могут обитать как в морских, так и в пресных водах различных географических зон. Для выявления температурных предпочтений и диапазона солёности нами были поставлены лабораторные эксперименты с клонами телонемид Pire-1 и Tel-1.

Для клона Pire-1 было установлено, что оптимальной температурой для роста клеток является +10 °C; на 14-й день эксперимента наблюдался пик численности — 86594 кл.·мл⁻¹ при внесённых в начале эксперимента 4232 кл.·мл⁻¹. При 0 °C наблюдалось снижение количества клеток Pire-1 в первые дни эксперимента, после чего численность начала возрастать. Это, вероятно, можно объяснить температурным шоком и последующей адаптацией клеток к низкой температуре.

Оптимальным значением солёности среды для клона Pire-1 является 20 ‰. Пик численности был установлен на 8-й день эксперимента: количество клеток на миллилитр составило 16605 (при изначальных 2813 кл.·мл⁻¹). Как в пресной (0 ‰), так и в гипергалинной среде (100 ‰) клетки погибают уже ко 2-му дню эксперимента.

Оптимальный режим температуры культивирования клеток клона Tel-1 — это +10 °C. В начале эксперимента было внесено 4168 кл.·мл⁻¹. Пик численности зафиксирован на 8-й день — 175405 кл.·мл⁻¹. При +25 и +30 °C клетки быстро погибали.

В эксперименте по выявлению оптимальной солёности среды для клона Tel-1 максимальное количество клеток зафиксировано при 30 ‰ на 4-й день эксперимента и составило 47309 кл.·мл⁻¹. При солёностях 0, 5, 10, 50 и 100 ‰ снижение численности обоих клонов было выявлено уже на 2-й день эксперимента.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 18-14-00239-П).

Разнообразие трематод рода *Diplostomum* рыб Западной Сибири по результатам ДНК-баркодирования

Власенко П. Г.¹, Изотова Г. В.², Кашинская Е. Н.¹, Соловьев М. М.¹

¹Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

vlasenkopg@gmail.com

Трематоды рода *Diplostomum* на стадии метацеркарии вызывают различные формы диплостомозов рыб. Видовое определение метацеркарий диплостомид затруднено по многим причинам, среди которых слабая выраженность диагностических признаков, ограниченный их набор и сложность самого процесса исследования морфологии метацеркарий. Как результат, к настоящему моменту таксономия рода окончательно не разработана, что затрудняет изучение его разнообразия. Использование молекулярных маркеров в ранее выполненных исследованиях [Locke et al., 2015 ; Kudlai et al., 2017 ; Hoogendoorn et al., 2020] дало хороший результат относительно учёта видового разнообразия, исключая разночтения в трактовке морфологических признаков.

В настоящей работе видовое разнообразие метацеркарий трематод рода *Diplostomum* устанавливалось на основании изучения изменчивости последовательности фрагмента митохондриального гена *cox1*. Тотальная ДНК выделялась из отдельных метацеркарий. Фрагмент длиной 587 амплифицирован с помощью классической ПЦР с использованием праймеров, разработанных Steenkiste et al. [2015]. Полученные последовательности сравнивались с имеющимися в GenBank гомологами при помощи сервиса BLAST. Материал для исследования собран из глаз рыб двух крупнейших водоёмов Западной Сибири — озёр Чаны и Телецкое. Это водоёмы с резко отличающимися условиями: Чаны — равнинное солоноватое эвтрофное озеро с глубинами до 10 м (средняя глубина — 2,2 м), Телецкое — олиготрофное горное озеро с максимальной глубиной 325 м (средняя глубина — 181 м). Оба озера лежат на пути миграции водоплавающих птиц, являющихся окончательными хозяевами диплостомид. Всего получены нуклеотидные последовательности 77 метацеркарий от десяти видов рыб из оз. Чаны (сазан, серебряный и золотой караси, плотва, елец, язь, лещ, окунь, судак, щука) и 30 метацеркарий от шести видов рыб (обыкновенный сиг, лещ, окунь, сибирский подкаменщик, налим и елец) из оз. Телецкое.

У рыб оз. Чаны зарегистрированы 3 вида трематод рода *Diplostomum*: *D. spathaceum*, *D. pseudospathaceum* и *D. baeri*. Первые 2 вида имеют широкий круг хозяев: *D. pseudospathaceum* зарегистрирован у всех исследованных видов рыб, *D. spathaceum* — у восьми видов (сазан, серебряный и золотой караси, плотва, елец, язь, окунь, судак). *D. baeri* оказался связан с определённым видом второго промежуточного хозяина: он был обнаружен только у окуня. У рыб оз. Телецкое, кроме указанных трёх видов метацеркарий, зарегистрированы *D. mergi* (у налима), *D. sp. 1* (у сибирского подкаменщика), для которого в базе GenBank не оказалось референсных последовательностей, и *D. sp. 2* (у обыкновенного сига), который имеет более 99 % сходства с последовательностями от не определённых до вида метацеркарий с севера Норвегии. Таким образом, у рыб двух крупнейших озёр Западной Сибири зарегистрировано 7 видов трематод рода *Diplostomum*.

Работа поддержана Российским научным фондом, проект № 19-74-10054.

Первые сведения о микроспоридиях (Opisthosporida, Microsporidia) морских рыб Вьетнама

Во Х. Т.¹, Бутаева Ф. Г.², Юрахно В. М.³

¹Совместный Российско-Вьетнамский тропический научно-исследовательский и технологический центр, Нячанг, Вьетнам

²Институт проблем экологии и эволюции имени А. Н. Северцова РАН, Москва, Россия

³ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

fbutaeva@yandex.ru

Впервые для фауны паразитов морских рыб Вьетнама описано заражение микроспоридиями (Opisthosporida, Microsporidia) 4 видов рыб-кораллобионтов [*Cheilinus chlorourus* (Labridae), *Abudefduf bengalensis* Bloch, 1787 (Pomacentridae), *Pomacentrus brachialis* Cuvier, 1830 (Pomacentridae), *Atule mate* Cuvier, 1833 (Carangidae)], добытых в заливе Нячанг Восточного моря, Южный Вьетнам, провинция Каньхоа в 2018 и 2019 гг. Цель работы — описание стадий выявленных паразитов, особенностей и экстенсивности инвазии. Отловленные рыбы были исследованы методом неполного паразитологического вскрытия. Из крови и тканей кишечника и печени были изготовлены сухие мазки, окрашенные по методу Гимза, и парафиновые срезы, окрашенные гематоксилином Бемера.

При микроскопировании препаратов тканей *C. chlorourus*, *A. bengalensis* и *P. brachialis* у 1 из 6 особей каждого из видов обнаружено интенсивное заражение микроспоридиями. Меронты, спорогонииальные плазмодии, споробласты выявлены у *C. chlorourus* в клетках всех слоёв стенки тонкой кишки (энтероцитах, миоцитах, мезотелиоцитах), поджелудочной железы, печени. По характеру распространения стадий паразита в организме можно предположить, что первичен алиментарный путь заражения с последующей пролиферацией в энтероцитах, аутоинвазией окружающих клеток, в том числе эндотелия и клеток крови, и генерализацией инвазии гематогенным путём; эмиссия спор из кишечника во внешнюю среду происходит постоянно.

У *A. bengalensis* выявлены меронты, спорогонииальные плазмодии и споры в энтероцитах слизистой оболочки тонкой кишки; в печени обнаружены споры. У *P. brachialis* в энтероцитах слизистой оболочки тонкой кишки выявлены меронты, спорогонииальные плазмодии и споробласты.

Паразиты развиваются в паразитофорных вакуолях. Плазмодии окружены дополнительной оболочкой, что позволяет считать выявленных микроспоридий ксеномообразующими.

У 1 из 31 экз. (3 %) *A. mate* (Carangidae) на жабрах обнаружено 30 ксеном микроспоридий белого цвета, округлой и овальной формы.

Таким образом, у микроспоридий *C. chlorourus*, *A. bengalensis* и *P. brachialis* есть сходные черты: локализация в пищеварительной системе, образование плотной оболочки вокруг плазмодия. При этом паразит *P. brachialis* отличается локализацией развивающихся меронтов в апикальной, а не базальной части энтероцитов. Найденные в *C. chlorourus*, *A. bengalensis* и *P. brachialis* микроспоридии предварительно отнесены нами к семейству Glugeidae из-за сочетания следующих признаков: хозяйинная принадлежность (рыбы); локализация в клетках различных тканей пищеварительной системы — энтероцитах, кишечных миоцитах, мезотелиоцитах, клетках поджелудочной железы; способность к образованию ксеном. От Pleistophoridae отличаются тем, что локализируются не только в мышцах кишки, но и в клетках других типов.

Работа осуществлена в рамках тем государственного задания ФИЦ ИнБЮМ № 121030100028-0 «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана» и Совместного Российско-Вьетнамского тропического научно-исследовательского и технологического центра (ЭКОЛАН Э-3) «Сохранение, восстановление и устойчивое использование морских прибрежных экосистем на основе изучения их структурно-функциональной организации» (задача 6 «Микро- и макропаразиты рыб и беспозвоночных кораллового рифа: разнообразие, структура ассоциаций и роль в симбиотических сообществах»; п/р 8 «Состав видов и структура сообществ паразитов кефалевых рыб залива Нячанг»).

Центрохелидные солнечники солоноватых водоёмов России и мира

Герасимова Е. А.

Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза УО РАН, Оренбург, Россия

ea-ermolenko@yandex.ru

Центрохелидные солнечники, или центрохелиды (*Centroplasthelida* Febvre-Chevalier et Febvre, 1984), — свободноживущие хищные гетеротрофные безжгутиковые протисты, относящиеся к хакробиям. У центрохелид шаровидное тело с радиально расходящимися аксоподиями, несущими экструсомы — стрекательные органеллы для захвата пищи. Солнечники характеризуются консерватизмом внутренней организации, в то время как строение наружных клеточных элементов — чешуек и спикул — имеет выраженное морфологическое и таксономическое разнообразие. Структура и размерные характеристики чешуек и спикул являются важными диагностическими признаками, служащими для идентификации и определения таксономического положения. Солнечники характеризуются всесветным распространением, присутствуют в бентосе, планктоне и перифитоне морских и пресноводных экосистем и являются неотъемлемым звеном пищевых цепей в водных экосистемах. Солнечники долгое время считались преимущественно пресноводными организмами в связи со слабой изученностью видового богатства в морях и солоноватых континентальных водоёмах. Однако исследования последних лет продемонстрировали, что низкое видовое богатство солнечников в морях и солоноватых континентальных водоёмах лишь отражает низкую степень изученности данных биотопов.

В солоноватых биотопах ($< 30 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$) России и мира, включая моря и континентальные водоёмы, описаны 29 видов центрохелидных солнечников: *Parasphaerastrum marina*^{*}, *Raphidocystis ambigua*^{*}, *Raphidocystis bruni*^{**}, *Raphidocystis marginata*^{*/**}, *Pterocystis foliacea*^{*/**}, *Pterocystis pontica*^{**}, *Raineriohrys erinaceoides*^{*/**}, *Raineriohrys fortesca*^{**}, *Raineriohrys raineri*^{*}, *Choanocystis aculeata*^{*/**}, *Choanocystis bicornioides*^{**}, *Choanocystis cordiformis* ssp. *parvula*^{**}, *Choanocystis ebelii*^{*}, *Choanocystis kareliensis*^{*}, *Choanocystis pelagica*^{*}, *Choanocystis perpusilla*^{*/**}, *Choanocystis rotoairense*^{**}, *Choanocystis rotundata*^{**}, *Acanthocystis astrakhanensis*^{*/**}, *Acanthocystis dentata*^{*}, *Acanthocystis clavata*^{**}, *Acanthocystis myriospina*^{*/**}, *Acanthocystis nicholli*^{*}, *Acanthocystis pectinata*^{*}, *Acanthocystis spinifera*^{**}, *Acanthocystis taurica*^{*}, *Acanthocystis turfacea*^{*/**}, *Pinjata ruminata*^{*}, *Heterophrys-like organisms*^{*/**}. Среди них в континентальных солоноватых водоёмах России описаны 20 видов солнечников (*), в солоноватых водах морей — 18 (**). Принимая во внимание то, что среди огромного разнообразия солоноватых водоёмов на нашей планете солнечники были изучены лишь в 14, говорить о видовом богатстве солнечников в солоноватых водах довольно рано.

Данные проведённого нами метабаркодинга солнечников из континентальных солоноватых и солёных водоёмов России с широким диапазоном солёности ($2\text{--}78 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$) продемонстрировали широкое разнообразие центрохелид, превышающее микроскопически охарактеризованное. Стоит отметить, что большинство ОТЕ заняли положение в «природных» кладах, не имеющих морфологического эквивалента, тем самым продемонстрировали огромный потенциал для поиска и характеристики истинного видового богатства солнечников, представленного в солоноватых водах.

Ихтиопланктон начала летнего сезона в акватории ГПЗ «Утриш» и прилегающей прибрежной акватории

Губанов В. В.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

gubanov76@mail.ru

Во время выполнения исследовательских работ 15–16 июня 2019 г. в акватории ГПЗ «Утриш» и прилегающей прибрежной акватории между устьем р. Сукко и мысом Большой Утриш выполнены исследования ихтиопланктона акватории, в ходе которых произведено 14 планктонных ловов, при них отобраны 388 икринок и 21 личинка рыб.

В результате анализа отобранных материалов выявлено присутствие в акватории заповедника и прилегающей прибрежной зоне икры и личинок 15 видов рыб, принадлежащих к 14 семействам.

Из 15 встреченных в ихтиопланктоне видов 8 ранее не были отмечены в ихтиопланктоне ни ГПЗ «Утриш», ни прилегающей прибрежной акватории. Основной причиной этого может быть срок выполнения работ, отличающийся от сроков выполнения ихтиопланктонных ловов в предшествующие годы.

При этом 7 из 8 видов, впервые встреченных в ихтиопланктоне при выполнении работ в июне 2019 г., в целом регистрировались ранее в акватории заповедника либо в прилегающей акватории во взрослом состоянии. Лишь один вид, гребенчатый губан *Ctenolabrus rupestris* (семейство Labridae), прежде не отмечался в регионе.

Нами не выявлены икра либо личинки рыб, принадлежащие видам-вселенцам.

Во время работ в июне 2019 г. обилие и разнообразие ихтиопланктона в акватории ГПЗ «Утриш» были значительно выше соответствующих характеристик прилегающей акватории между устьем р. Сукко и мысом Большой Утриш. Количество видов ихтиопланктона на одну пробу, отобранную в акватории заповедника, колебалось от 3 до 10, а в прилегающей прибрежной акватории — от 2 до 5. В среднем, в кубическом метре воды, в заповеднике икры было более чем в три раза больше, чем в прилегающей акватории, а личинок рыб — в девять раз.

Акватория ГПЗ «Утриш» и акватория между устьем р. Сукко и мысом Большой Утриш сориентированы в направлении северо-запад — юго-восток. Наибольшее количество икры рыб в единице объёма пробы ($8,09–8,75$ экз.·м⁻³) отмечено для трёх крайних юго-восточных планктонных станций акватории ГПЗ «Утриш», ближайших к мысу Малый Утриш, а минимальное количество икры ($0,27$ экз.·м⁻³) зарегистрировано на крайней северо-западной планктонной станции, мористой, напротив устья р. Сукко.

В июне 2019 г. доля живой, нормально развивающейся икры в акватории заповедника составила 43,8 %, а в прилегающей прибрежной акватории — 43,7% (при значительной разнице в общем числе и концентрации икры). Такое замечательное совпадение может говорить о том, что неравномерное распределение икры рыб, отмеченное нами, не связано с природными либо антропогенными факторами, влияющими на выживание икры, такими как, например, загрязнение вод, а с большей вероятностью вызвано гидрологическими факторами, например переносом икры водными массами.

Для различных видов, отмеченных в исследуемой акватории, живая, нормально развивающаяся икра на момент поимки могла быть как на ранних, I–III, так и на поздних, IV–VI, этапах развития. Погибшая и нежизнеспособная икра всех видов находилась преимущественно на ранних этапах.

В зависимости от вида, 80,5–100 % погибшей и нежизнеспособной икры находилось на I–III этапах развития. Такое распределение согласуется с литературными данными и отражает предопределённую естественными процессами высокую смертность икры на ранних этапах развития. Массовая гибель икры на поздних этапах развития указала бы на наличие природных либо антропогенных факторов, губительных для рыб на этапе эмбрионального развития, но подобного явления не наблюдалось.

Сравнение полученных в июне 2019 г. данных с данными начала осени 2016–2018 гг. позволяет утверждать, что обилие и разнообразие ихтиопланктонных организмов может быть значительно как в акватории ГПЗ «Утриш», так и в прилегающей прибрежной акватории между устьем р. Сукко и мысом Большой Утриш, по всей вероятности, в связи с меняющимися значениями природных факторов.

Изучение подземных и поверхностных вод Северного Кавказа и ландшафтные исследования

Гуня А. Н.^{1,4}, Керимов И. А.^{2,4}, Гайрабеков У. Т.^{3,4}, Гагаева З. Ш.⁴

¹Институт географии РАН, Москва, Россия

²ГГНТУ имени академика М. Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

³Академия наук Чеченской Республики, Грозный, Россия

⁴Чеченский государственный университет, Грозный, Россия

zsh_gagaeva@mail.ru

Изучение вопросов трансформации гидросферы горных территорий Юга России и Северного Кавказа, водных объектов, геотермальных источников, их антропогенного загрязнения, истории изучения минеральных источников и пр. нашло своё отражение в ряде исследований [Широкова и др., 2015 ; Усманов, Керимов, 2020 ; и др.]. В ходе исследований рассмотрены вопросы экологического состояния бассейнов горных рек, геотермальных источников и перспектив их развития, вопросы загрязнения нефтью и нефтепродуктами подземных вод, мониторинга загрязнения вод и др. В ходе ландшафтных комплексных экспедиций, проводимых на Северном Кавказе с 2014 г., были собраны полевые данные, положенные в основу создания базы данных о динамике и функционировании природных комплексов различных высотных зон: 1) гумидных высокогорных, с нивально-гляциальными и криогенными процессами, сложной и разновозрастной ландшафтной структурой; 2) семиаридных среднегорных (в основном межгорных котловин); 3) предгорно-низкогорных семиаридных и аридных с неустойчивым земледелием, нуждающимся в орошении, сопровождающимся резкими сезонными колебаниями гидрологических параметров.

Разработаны подходы к изучению: а) физико-географической дифференциации на основе крупномасштабного ландшафтного картографирования, сочетающего работы на трансектах и профилях, речных бассейнах разного порядка; б) хроноструктуры и хроноорганизации природных комплексов и геосистем в спектре высотных зон. Реализуются возможности применения различных подходов для решения экологических и социальных проблем, в том числе на горных территориях, возникающих в вопросах управления природными (в частности, земельными) ресурсами. Разработаны методологические подходы для выделения горных физико-географических провинций, учитывающие регионально-локальные аспекты высотно-зональной дифференциации горных ландшафтов. Построена карта ареалов современной институционализации природопользования для отдельных регионов Северного Кавказа. Результаты исследований опубликованы в российских и зарубежных высокорейтинговых журналах и апробированы на научных мероприятиях (2015–2019). В рамках изучения изменений состояния природных вод проведены исследования трансформации природных условий горных территорий (Северный Кавказ), которые позволили выявить периодичность их трансформации и получить новые доказательства развития земледелия в условиях горных регионов в позднем бронзовом веке и раннем железном веке.

На основе анализа проблем землепользования на Северном Кавказе, с учётом благоприятных предпосылок сбалансированного землепользования разработан алгоритм оптимизации землепользования в регионах Северо-Восточного Кавказа. На базе проведённых исследований объектов гидросферы Юга России выявлены закономерности в формировании грунтовых поверхностных вод горных территорий и определены основные экономические аспекты их использования. Результаты исследований отражены в научных публикациях.

В последние годы на Северном Кавказе, а именно в Чеченской Республике, проводились исследования по оценке влияния объектов нефтекомплекса на природно-антропогенные комплексы, в первую очередь на поверхностные и подземные воды [Керимов, 2019 ; Kerimov, 2020 ; и др.]. По результатам анализа составлены карты геоэкологического районирования, отражающие степень загрязнённости территорий тяжёлыми металлами.

Современное состояние запаса и перспективы промысла барабули (*Mullus barbatus ponticus* Essipov, 1927) в Абхазской акватории Чёрного моря

Дбар Р. С.^{1,2,3}, Вольтер Е. Р.^{1,2}, Маландзия В. И.^{1,2}, Литвинов А. И.¹, Топчян Ж. Л.^{1,2}

¹Институт экологии АН Абхазии, Сухум, Республика Абхазия

²Абхазский государственный университет, Сухум, Республика Абхазия

³Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, Ростов-на-Дону, Россия

ervolter@mail.ru

Черноморская барабуля (султанка) *Mullus barbatus ponticus* с древних времён вылавливается в Абхазии и в настоящее время имеет второе по значимости промысловое значение. Барабуля образует два сравнительно обособленных стада с заметными морфологическими отличиями — локальную и мигрирующую формы.

В 1940-х гг. Данилевским Н. Я. были изобретены донные ловушки, позволившие в разы увеличить результативность добычи мигрирующей формы, объём добычи которой до начала 1990-х гг. в Абхазии достигал более чем 1 тыс. тонн. Локальная форма совершает весной и осенью лишь местные миграции. Особи этой формы вылавливаются закидными неводами, жаберными сетями, траловым ловом (ограниченно) и рыбаками-любителями в количестве, не превышающем 150 тонн.

Две формы барабули различаются по возрастной структуре стада и уровню жирности. Так, если у местной формы барабули, старших возрастных групп (2+ и выше), в зависимости от места нагула сезонные изменения жирности происходят в пределах от 2 до 6 %, то у мигрирующей (возраст от 0+ до 2+), обладающей большей пищевой ценностью, — от 4 до 13 %.

В 1993–1994 гг. в акватории Абхазии мигрирующая форма не фиксировалась в уловах, причём этот процесс охватывал всё Чёрное море. Возможно, это был результат перелова 1989 г., когда в Чёрном море было добыто более 10 тыс. тонн барабули, а также следствие широкого распространения гребневика мнемнопсиса, уничтожившего ихтиопланктонные стадии. В последующие три десятилетия запас барабули в Чёрном море восстановился быстро. Запас других промысловых рыб, пострадавших от перелова и вселения мнемнопсиса в 1990-е гг., восстанавливается намного медленнее. На наш взгляд, этому можно найти объяснения с учётом миграционных стратегий барабули и наличия двух её форм.

В Абхазской акватории Чёрного моря известно два стада (единиц запаса) барабули — Новоафонско-Приморское локальное и Кавказское мигрирующее. Первое стадо держится на шельфе Очамчирского и Гальского районов, но нерестится на восточном участке Гудаутского шельфа у г. Новый Афон. Второе совершает зимовальную миграцию с западных акваторий Кавказского побережья и Керчи, при этом может доходить до Батуми. Зимующая барабуля в водах Абхазии занимает практически всю шельфовую зону Гудаутского и Очамчирского районов.

Локальное стадо имеет небольшое промысловое значение: оно малочисленное, а крупные особи обычно небольшого размера (7–12 см) с низкой жирностью. По завершении нереста особи совершают миграцию в восточном направлении вдоль границы шельфа у материкового склона, на глубинах 18–25 м, затем рассеиваются для нагула на шельфовых участках, а осенью, в ноябре, уходят от берега на глубины до 50–80 м на зимовку. Местное стадо охватывается промыслом береговыми бригадами во время постнерестовой миграции (по нашим оценкам, до 5–10 тонн в год).

Особи локальной и мигрирующей популяций барабули в большей степени зимуют на второй площадке Гудаутского шельфа, на глубинах от 30 до 80 м. При этом чем крупнее особи, тем на меньших глубинах они зимуют; оптимум для крупных особей составляет 30–35 м. Свидетельством массовости зимовки барабули в водах Абхазии является то, что количество султанки, выловленной в зимние месяцы в период с 1999 по 2004 г., достигало 150–200 тонн в год, после чего был введён запрет на траловую добычу барабули в акватории Абхазии, действующий до сих пор.

Весной, обычно по достижении температуры воды +12 °С, часть перезимовавшего стада мигрирующей барабули образует скопления у границ свала глубин первой площадки Гудаутского шельфа (18–30 м) и после достижения критического количества особей начинает миграцию дискретными косяками-струями в восточном направлении. При этом маршрут и глубина миграции совпадают с ходом осенних косяков. Мигрирующая весенняя барабуля не отлавливается ни в Пицундской бухте, ни в Гагрском заливе.

В этот же временной отрезок другая часть популяции, представленная особями 2+ и старше, выходит в быстро прогреваемую литоральную зону (5–20 м) и по ночам движется в западном направлении, где начинает активно питаться и готовиться к нересту. Обычно нерест начинается во второй половине мая и продолжается дискретно до новолуния в июле. В это время в литоральной зоне развиваются полихеты и мелкие ракообразные, что обеспечивает питанием как нерестящихся рыб, так и личинок.

В середине июня отнерестившиеся полихеты уходят в рыхлые грунты, богатые органикой, при этом молодые отнерестившиеся особи барабули скапливаются у границы шельфовой площадки (18–25 м). Очевидно, по достижении неких критических значений часть стада начинает продвижение в восточном направлении в поисках благоприятных для нагула площадок. Схожая миграция наблюдается в середине августа и иногда в сентябре. Крупные особи барабули кормятся ракообразными на твёрдых галечных грунтах и не испытывают недостатка в пище. Следует отметить, что на рыхлых грунтах они способны разрывать мягкие грунты, выедая полихет из агрегированных скоплений, образуя при этом овальные ямы диаметром до 1 м и глубиной до 7–10 см. Небольшое количество отнерестившейся барабули в последние годы, после широкого раскрытия гирла, заходит в лиманное озеро Скурча.

В отдельные годы летний возврат на запад барабули может сопровождаться и движением местной популяции, что объясняется урожайностью кормового ресурса.

Миграции барабули чувствительны ко многим факторам, включая антропогенные. Так, в 2013 г. ход миграции с запада на восток практически остановился в связи со строительством Сочинского порта и мола; в последующие годы миграция восстановилась.

Следует отметить, что основная доля добычи кавказского стада барабули (до 200–250 тонн) в Абхазии сопряжена с её зимовальной миграцией из Керченского предпроливья, где она массово нерестится и нагуливается.

Вместе с тем ежегодное увеличение ОДУ барабули неоправданно: это стимулирует береговые бригады выставлять большее число донных ловушек. Из-за слабой изученности экологии вида в условиях быстро меняющихся климатических и антропогенных факторов нетрудно предсказать резкое снижение запаса и выпадение его из рыбопромыслового оборота.

Одним из тревожных симптомов, косвенно свидетельствующих о проблеме, является замещение ниши, которая освобождается в связи с резким снижением численности крупной барабули: происходит массовое размножение нового вселенца — атлантического землероя. Эта рыба выступает конкурентом крупной барабули за сходный пищевой ресурс и донные субстраты.

Сравнительно сложная динамическая структура стада барабули и её миграции связаны со сравнительно молодой геологией Чёрного моря, а также адаптацией к ограниченным кормовым ресурсам Кавказского побережья и к выбору оптимальных температурных условий зимовки.

Благодаря данному механизму миграции у черноморской барабули *Mullus barbatus ponticus* ареал представляет собой сочетание локальных слабо мигрирующих популяций с далеко мигрирующими стадами, которые обеспечивают генетическое единство абхазского, грузинско-анатолийского и крымского стад.

Структура и состояние популяции европейского анчоуса (*Engraulis encrasicolus* L., 1758), зимующего у берегов Абхазии в 2020/2021 промысловый сезон

Дбар Р. С.^{1,2,3}, Гамахария П. Д.^{1,2}

¹Институт экологии АН Абхазии, Сухум, Абхазия

²Абхазский государственный университет, Сухум, Абхазия

³Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону, Россия

romandbar@mail.ru

Европейский анчоус, или хамса, *Engraulis encrasicolus* L. благодаря своей многочисленности играет важную роль в экосистеме моря, выступая промежуточным звеном между зоопланктоном и представителями высшего трофического уровня — крупными хищными рыбами, дельфинами и птицами.

Согласно результатам современных популяционно-генетических исследований, в Азово-Черноморском бассейне европейский анчоус представлен двумя популяциями [черноморской (the Black Sea anchovy) и азовской (the Azov Sea anchovy)], каждая из которых характеризуется наличием пространственно обособленных репродуктивных, нагульных и зимовальных областей и, соответственно, представляет самостоятельную единицу промыслового запаса. В акватории Абхазии рекомендуемый вылов составляет порядка 30–45 тыс. тонн ежегодно.

Материалом для исследований служила хамса, зимовавшая у черноморского побережья Абхазии в 2021 г. Район исследований охватывал шельфовую зону от Сухумского района вплоть до Галского района, диапазон глубин составлял 10–60 м. Материал получен из уловов промысловых судов. Лов производился с помощью кошелькового невода.

Динамика уловов хамсы по возрастам показывает, что в декабре доминировали рыбы возрастом 3+, составив почти половину рыб, выловленных промыслом, однако в марте их доля упала до 12 %, а доля рыб возрастом 2+ была заметно выше, чем в предыдущие месяцы. Рыбы возрастом 1+ доминировали в январе, биомасса их составила 36 % от общей биомассы вылова в этом месяце. Динамика биомассы показывает, что на нерест хамса пойдёт с доминирующей группой особей, возрастом 1+ и 2+; это говорит о том, что биомасса хамсы на 2021/2022 промысловый сезон может прогнозироваться как среднепродуктивная, в случае если не будет каких-либо иных факторов, которые могли бы значительно снизить величину запаса (пищевые конкуренты, хищники, недостаточно прогретая вода во время нереста).

Доминирующим месяцем в 2020/2021 промысловом сезоне по добыче хамсы является февраль: было поймано порядка 7500 тонн хамсы, что составляет 72 % от общего её вылова.

Возрастное распределение хамсы показало, что в зимующей популяции доминируют особи возрастом 1+ и 2+. Это является благоприятным состоянием популяции для нереста в текущем нерестовом сезоне.

Впервые с 2017 г. в территориальных водах появилась азовская хамса, хоть и не в значительных количествах — не более 1,3 %; во время весенней миграции её доля упала менее чем на 0,1 % от общей численности.

Половое соотношение хамсы является достаточно благоприятным; в среднем по возрастам преобладают самки, и их доля составляет чуть более 55 % от общей численности.

Порайонное распределение в этом году заметно отличается от распределения предыдущих лет высокой долей запаса в восточной части абхазских территориальных вод.

К вопросу определения местообитания раков альфеусов *Alpheus dentipes* (Alpheidae, Decapoda) методом акустической пеленгации

Дбар Р. С.¹, Нешенко И. П.¹, Бибииков Н. Г.², Есипов И. Б.³, Кенигсбергер Г. В.¹, Михеев В. И.¹,
Попов О. Е.⁴

¹Институт экологии АН Абхазии, Сухум, Республика Абхазия

²АО Акустический институт имени акад. Н. Н. Андреева, Москва, Россия

³Российский государственный университет нефти и газа имени И. М. Губкина, Москва, Россия

⁴Институт физики атмосферы имени А. М. Обухова РАН, Москва, Россия

neshenko.ivan@mail.ru

В морской биологии в последние годы снова появился интерес к изучению численности, поведенческих реакций колоний и места положения отдельных особей раков-щелкунов, относящихся к семейству креветок Alpheidae, в частности обитающего в Чёрном море *Alpheus dentipes* Guérin, 1832. Альфеусы ведут довольно скрытный образ жизни: они прячутся среди водорослей или камней либо в норах. Характерной особенностью альфеусов, привлекающей к ним внимание, являются издаваемые ими мощные сигналы-щелчки. Несмотря на сравнительно небольшие размеры этих ракообразных (около 3 см), их сигналы на расстояниях 10–15 м являются очень мощными, значения могут достигать 150 дБ. Сигналы извлекаются креветками при щелчке клешней с формированием кавитационного пузыря. Отличительной особенностью сигнала альфеусов является его характерная форма, позволяющая надёжно отличать эти импульсы от импульсов другого происхождения, в том числе от схожих с ними сигналов дельфинов. Сигнал состоит из трёх фаз:

- 1) фаза отрицательного давления, при выбросе струи воды при схлопывании клешни;
- 2) сравнительно продолжительная фаза положительного давления при образовании и росте кавитационной полости;
- 3) фаза мощного ударного импульса, вызванного схлопыванием кавитационной полости.

Возможность определения местоположения альфеусов позволит оценить число особей на определённой площади дна, проследить за их возможными перемещениями, а также выяснить особенности сезонных миграций. Кроме того, может быть проведена оценка помех для гидроакустических систем, создаваемых альфеусами.

С этой целью на базе морского гидрофизического полигона ИЭ АНА была создана система из двух разнесённых на расстояние 13,7 м пеленгаторов, установленных на глубине около 6 м на морской платформе при общей глубине 12 м. Пеленгаторы представляли группу из четырёх приёмников звука, размещённых в углах тетраэдра со стороной 1 м. Отношение сигнал/шум в диапазоне частот от 3 до 50 кГц составляло от 20 до 30 дБ, а в непосредственной близости от ракообразного могло достигать 150 дБ.

Верхняя частота приёма при записи сигналов была ограничена частотой 25 кГц для предотвращения наложения спектров при частоте квантования АЦП 100кГц. При этом, по некоторым исследованиям, спектр сигнала альфеуса простирается до частот выше 300 кГц.

В целях определения места локализации (координат) определялись направления прихода сигналов альфеусов для каждого пеленгатора. Измерялись разности времён приходов сигналов на пары приёмников, вычислялись их азимуты и углы скольжения. Координаты определялись

по пересечению найденных направлений на источник звука от каждого пеленгатора. При расстоянии между обтекателями 13,7 м была достигнута возможность определения координат источника звука на расстояниях до 100–150 м.

Особенностью поведения альфеусов является высокая стационарность: рачки не удаляются далеко от своих укрытий по причине опасности или угрозы сноса сильным течением (до $1,5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$), характерным для акватории гидрофизического полигона ИЭ АНА. Несмотря на то, что популяция альфеусов довольно многочисленна, при записи сигналов наблюдались высокая повторяемость и стабильность формы импульсов одного и того же рачка, что позволяет вычленивать щелчки, издаваемые отдельными особями, из хора голосов.

Регистрируя сигналы, издаваемые альфеусами, возможно решать актуальные задачи, в том числе определять параметры микрорельефа дна и находящихся на нём объектов в мелководной части шельфа, то есть вместо сигналов эхолота, отражённых от дна, для измерения глубины можно использовать сигналы альфеусов, излучаемые практически с поверхности дна. Кроме того, мониторинг звуковых сигналов различных видов биологических объектов может быть продуктивным с экологической точки зрения — как мониторинг индикаторных организмов для оценки динамики популяции и выявления шумового, химического и биологического загрязнений.

Распределение сообществ полихет в северо-восточной части Баренцева моря

Дикаева Д. Р.

Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, Россия

dinara.dikaeva@yandex.ru

В настоящее время зообентос в районе архипелага Новая Земля изучен достаточно подробно [Броцкая, Зенкевич, 1939 ; Денисенко и др., 1995 ; Фролова, 2000 ; Любина и др., 2008 ; Артюх, Любина, 2008 ; Дикаева, Фролова, 2011 ; Захаров и др., 2018]. Однако фаунистический состав и количественное распределение сообществ полихет в северо-восточной части Баренцева моря (между архипелагами Земля Франца-Иосифа и Новая Земля, северо-западное побережье арх. Новая Земля) исследованы недостаточно. В литературе мало сведений о донной фауне этого района. Распределение и жизнедеятельность морских организмов в той или иной мере предопределяются геоморфологией дна: глубиной, рельефом, донными отложениями. Станции, расположенные в районе исследования, пересекают Северо-Восточный жёлоб и жёлоб Святой Анны. Желоба являются районами аккумуляции осадочного вещества, что увеличивает кормовую базу для организмов, обитающих в грунте, в результате чего возрастает биомасса и плотность поселения. В последнее время отмечено увеличение численности краба-стригуна опилио на северо-востоке Баренцева моря и у юго-западной оконечности архипелага Новая Земля, что оказывает сильное влияние на донные биоценозы [Захаров и др., 2018]. Именно поэтому представляют интерес изучение современного распределения многощетинковых червей и выявление изменений, происходящих в распределении доминирующих видов.

Материалом послужили 35 количественных проб с 12 станций, собранных в экспедициях ММБИ РАН на НИС «Дальние Зеленцы» в 2019 г. Пробы зообентоса отбирали дночерпателем Ван Вина (с площадью захвата 0,1 м²) в трёхкратной повторности.

На склонах желобов северо-восточной части Баренцева моря на илисто-песчаных, илисто-глинистых грунтах отмечен комплекс полихет с доминированием детритофага *Spiochaetopterus typicus*, характеризующийся высокими значениями биомассы и плотности поселения. В глубоководных районах, на грунтах с преобладанием коричневого ила и раковин фораминифер, выявлено снижение количественных характеристик полихет и доли доминирования *S. typicus*. Глубоководные районы с преобладанием коричневых грунтов характеризуются неблагоприятным газовым режимом придонного слоя и низким содержанием органического вещества, что приводит к снижению биомассы и плотности поселения полихет. Сильное уменьшение биомассы бентоса в глубоководных районах, на мягких коричневых илах отмечено в Карском море [Филатова, Зенкевич, 1957].

На склонах северо-западного побережья арх. Новая Земля отмечен комплекс полихет с доминированием плотоядной полихеты *Nephtys ciliata*, отличающийся невысокими значениями биомассы и средней плотностью поселения. Здесь на склонах подводных возвышенностей, сильнее омываемых придонными течениями, преобладают грубые песчаные осадки, с низким содержанием питательных веществ, что приводит к уменьшению биомассы и к смене доминирующих видов. Сравнение современных данных с результатами прошлых исследований [Дикаева, 2011] показало снижение биомассы полихет и доли доминирования детритофага *S. typicus* в районе северо-западного побережья арх. Новая Земля.

Таким образом, в глубоководных районах северо-восточной части Баренцева моря основную роль в составе сообществ играет детритофаг *S. typicus* [Броцкая, Зенкевич, 1939 ; Кузнецов 1970 ; Захаров и др., 2018 ; Дикаева, Фролова, 2011 ; Захаров и др., 2018]. Изменение количественных характеристик и видового состава сообществ полихет в районе исследования обусловлено в первую очередь характером грунта, а также глубиной и придонной гидродинамикой. Несмотря на увеличение численности краба-стригуна опилию в северо-восточной части Баренцева моря, существенных изменений в составе доминирующих видов не выявлено. Однако снижение биомассы полихет и доли доминирования вида *Spiochaetopterus typicus* в районе северо-западного побережья арх. Новая Земля может быть следствием воздействия на донные биоценозы краба-стригуна опилию, увеличивающего своё влияние в данных районах [Захаров и др., 2018]. Полученные современные данные существенно дополняют сведения о видовом составе и количественных характеристиках полихет в северо-восточной части Баренцева моря и позволят проследить за дальнейшими изменениями в составе донных сообществ.

Характеристика паразитофауны кефалей (Mugilidae) из прибрежных вод Центрального Вьетнама

Дмитриева Е. В.¹, Юрахно В. М.¹, Во Тхи Ха², Нгуен Тхи Хай Тхань², Слынько Ю. В.¹,
Слынько Е. Е.¹, Челебиева Э. С.¹, Водясова Е. А.¹

¹ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

²Совместный Российско-Вьетнамский тропический научно-исследовательский и технологический центр

genijadmitrieva@gmail.com

У побережья Вьетнама обитает 22 вида рыб из 5 родов семейства Mugilidae Jarocki, 1822 [Thanh et al., 2015]. У 11 видов кефалей в этом регионе моря зарегистрировано 18 видов паразитов и 18, определённых только до рода как spp., относящихся к 5 высшим таксонам: Мухоспореа, Моногенея, Трематода, Акантоцефала и Соперода [Amin et al., 2011 ; Дмитриева и др., 2013 ; Казаченко и др., 2014 ; Atopkin et al., 2016, 2019a, b ; Besprozvannykh et al., 2016a, b, 2018 ; Асеева, Чин, 2018 ; Юрахно, Во, 2019 ; Nguyen et al., 2020]. Таким образом, около половины видов этого семейства рыб, обитающих в Восточном море у побережья Вьетнама, остаются не изученными на наличие паразитов. При этом подавляющее большинство сведений касается кефалей, обитающих в северной части моря и в Тонкинском заливе.

В период 2018–2019 гг. нами исследован 201 экз. рыб сем. Mugilidae, принадлежавших к 8 видам: *Osteomugil perusii* (Valenciennes, 1836), *O. cunnesius* (Valenciennes, 1836), *Planiliza* sp. D sensu [Durand, Borsa, 2015], *P. macrolepis* (Smith, 1846), *P. subviridis* (Valenciennes, 1836), *P. melinoptera* (Valenciennes, 1836), *Mugil cephalus* L., 1758 и *Crenimugil seheli* (Fabricius, 1775). Все исследованные рыбы выловлены в районе залива Нячанг (побережье Центрального Вьетнама). Их определение проведено с использованием последних таксономических ревизий кефалевых рыб [Durand et al., 2012 ; Durand, Borsa, 2015 ; Xia et al., 2016] на основе последовательностей митохондриальных генов *cytb* и COI. Полученные последовательности выложены в GenBank NCBI.

У обследованных рыб найдено 43 вида паразитов. В 6 из 8 обследованных видов кефалей найдено 20 видов микроспоридий 5 родов: *Muxobolus* Bütschli, 1882, *Kudoa* Meglitsch, 1947, *Ceratomyxa* Thélohan, 1892, *Muxidium* Bütschli, 1882 и *Henneguya* Thélohan, 1892, из которых 18 видов являются новыми для науки. Два вида (*Kudoa* (*Sphaerospora*) *dicentrarchi* Sitja-Bobadilla et Alvarez-Pellitero, 1992 и *Muxobolus spinacurvatura* Maeno et al., 1990) известны также в Средиземноморском бассейне, *S. dicentrarchi* — ещё и в Восточной Атлантике, а *M. spinacurvatura* — в различных регионах Тихого океана. При этом *S. dicentrarchi* не только является новым видом в фауне Восточного моря и Вьетнама, но и впервые найден у *Planiliza melinoptera*, *Osteomugil perusii* и *O. cunnesius*.

Второй по количеству найденных видов таксон — моногенеи. Они зарегистрированы у 7 исследованных кефалей и представлены 10 видами из 2 специфичных для рыб сем. Mugilidae родов — *Ligophorus* Euzet & Suriano, 1977 и *Metamicrocotyla* Yamaguti, 1953. На основе морфологических и молекулярно-генетических данных идентифицировано 9 видов *Ligophorus* (*L. fenestrum* Soo et Lim, 2012, *L. kedahensis* Soo & Lim, 2012, *L. bykhowskyi* Dmitrieva et al., 2012, *L. johorensis* Soo & Lim, 2012, *L. bipartitus* Dmitrieva et al., 2012, *L. liewi* Soo, Tan & Lim, 2015 и 3 новых вида этого рода), а также *Metamicrocotyla* sp., ранее зарегистрированный у *Osteomugil* sp. у побережья Китая [Zhou et al., 2020]. Все найденные виды *Ligophorus* обнаружены у побережья Вьетнама впервые.

Трематоды и ракообразные представлены 4 (Hemiuridae Looss, 1899, Haploporidae Nicoll, 1914, Bivesiculidae Yamaguti, 1934 и *Haploplanchus* Looss, 1902) и 5 (Isopoda Latreille, 1817, Gnathiidae,

Ergasilus, *Caligus* и *Hatschekia*) надвидовыми таксонами соответственно. Их видовая идентификация требует дальнейших исследований. Отмечены также по 1 виду скребня (*Neoechinorhynchus ascus* Amin, Na et Na, 2011) и рыбьих пиявок (Piscicolidae Johnston, 1865).

Наибольшее количество видов паразитов зарегистрировано у *Planiliza* sp. D — 23; представлено и наибольшее количество высших таксонов — 6. Наименьшее количество отмечено у *P. macrolepis* и *P. subviridis* — 2 вида моногеней, но эти виды рыб исследованы единично. С другой стороны, у массово исследованных кефалей рода *Osteomugil* отмечено в половину меньшее разнообразие паразитов, чем у *Planiliza* sp. D. Фауна космополитного вида *Mugil cephalus* в Восточном море, даже с учётом литературных данных по видам трематод, оказалась менее разнообразной (20 видов), чем в других районах его обитания, где она хорошо изучена; например, в Средиземноморском бассейне она насчитывает около 50 видов. Это связано, скорее всего, с ещё недостаточной изученностью паразитов кефалей у побережья Вьетнама. Следует учитывать и данные о том, что в этом районе *M. cephalus* может представлять комплекс из трёх криптических видов [Durand, Borsa, 2015 ; Durand et al., 2017].

Впервые исследованы паразиты 3 видов кефалей (*Osteomugil perusii*, *Planiliza* sp. D. и *P. melinoptera*), и 33 найденных вида, с учётом и новых для науки таксонов, ранее не регистрировались у кефалей в Восточном море.

Работа выполнена в рамках темы № 121030100028-0 «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана» ФИЦ ИНБЮМ и темы «ЭКОЛАН Э-3» Совместного Российско-Вьетнамского тропического научно-исследовательского и технологического центра с использованием материалов ЦКП «Коллекция гидробионтов Мирового океана» ФИЦ ИНБЮМ.

Геоэкологическое обоснование определения природоохранного потенциала территорий

Дрыгваль П. В., Станис Е. В., Карпухина Е. В.

Российский университет дружбы народов, Институт экологии, Москва, Россия

anu-poly@mail.ru

В статье представлен предлагаемый авторами геоэкологический подход к оценке природоохранного потенциала природной территории. Выявлены и обоснованы основные оценочные критерии. Оценка природоохранного потенциала проводится на основе оценочных критериев, которые характеризуют природную территорию с точки зрения той или иной степени сохранения её природного потенциала. Предложено в оценке потенциала использовать следующие основные факторы: георазнообразия, опасных природных явлений, биологического разнообразия и антропогенной нагрузки. Эти факторы применяются различными авторами для оценки отдельных видов природоохранного потенциала. Для каждого из факторов обосновано их использование в комплексном геоэкологическом подходе в оценке природоохранного потенциала территорий.

Под природоохранным потенциалом территории понимается совокупность условий окружающей среды, отражающих природное разнообразие территории, а также факторов, влияющих на её изменения, то есть это свойство территории определённого ранга (или геосистемы) сберегать или восстанавливать устойчивость природных систем посредством сохранения взаимосвязанных биологического разнообразия, генофонда и абиотической среды.

В целях проведения данной геоэкологической оценки природной территории предлагается использование следующих факторов, которые позволяют оценить текущее состояние основных компонентов природной среды, а также внешние факторы воздействия на природный комплекс:

- фактор георазнообразия;
- фактор биологического разнообразия;
- фактор антропогенной нагрузки;
- фактор негативных природных явлений.

Каждый из предложенных факторов является интегральным, их отдельные составляющие оцениваются своими показателями, которые будут отражать полную картину функционирования природной системы и внешних воздействий на неё.

Фактор георазнообразия. Георазнообразию характеризуется разнообразием геологического строения, рельефа, особенностей почвы и процессов, происходящих в геологической среде. Для характеристики данного фактора предлагается использовать индексы, относящиеся к характеристике отдельно рельефа территории и почвенного разнообразия (почва в полной мере отражает комплекс условий среды на территории, то есть геологической обстановки, гидрологического режима, рельефа, что отражается в процессе формирования почвенного покрова территории).

Фактор опасных природных явлений. Оценка проявления опасных природных явлений на территории изучения рассматривается с позиции устойчивости природных комплексов к адаптации к таким воздействиям. Данный фактор характеризует проявления на конкретной природной территории наиболее частых природных явлений и процессов.

Фактор биологического разнообразия. Данный фактор связан с тем, что природные территории характеризуются наличием биологических ресурсов, а также имеют функции поддержания этого биологического разнообразия.

Фактор антропогенной нагрузки. Данный фактор содержит оценку эколого-хозяйственного состояния территорий, смежных с оцениваемой природной территорией.

Среди всего перечня показателей предлагается использовать следующие: коэффициент уникальности биологического разнообразия (K_u), относительное видовое богатство флоры (F_1), относительное видовое богатство фауны (F_2), индекс расчленённости (D_1), индекс пересечённости (R_1), индекс сложности почвенного покрова (I_c), коэффициент абсолютной напряжённости (K_a), коэффициент относительной напряжённости (K_o), коэффициент естественной защищённости территории (K_{ez}), комплексный показатель опасных явлений (N_{ph}).

Результат оценки природоохранного потенциала территории представляется в виде розы-диаграммы, или лепестковой диаграммы. Достоинством такого графического представления результатов оценки природоохранного потенциала территории является возможность в одной форме показать разные типы данных, которые характеризуют различные факторы, обуславливающие природоохранный потенциал с различным итоговым ранжированием показателей.

Конечной целью подобной оценки должна стать разработка комплекса необходимых мер, направленных на оптимизацию взаимодействия деятельности самой природной территории, природопользования на смежной территории, а также других вопросов взаимодействия внутри системы человек — природа.

Работа поддержана Программой стратегического академического лидерства РУДН.

Основные итоги изучения изменчивости частот встречаемости лево- и правосторонней морф в популяциях речной камбалы Белого моря

Ершов П. Н.¹, Фукс Г. В.², Хайтов В. М.^{3,4}

¹Зоологический институт РАН, Беломорская биологическая станция, Санкт-Петербург, Россия

²Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» имени Н. М. Книповича), Архангельск, Россия

³Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

⁴Кандалакшский государственный природный заповедник, Кандалакша, Россия

petyershov@yandex.ru

Речная камбала, *Platichthys flesus*, является полиморфным видом, у которого в популяциях присутствуют лево- и правосторонние особи, а их соотношение варьирует в значительной степени. Для анализа пространственной изменчивости частот встречаемости двух морф большое значение имеют исследования популяций камбалы, обитающих в отдельных обширных участках ареала. Мы изучили частоты встречаемости левосторонних особей у камбалы из разных заливов Белого моря (Кандалакшский, Онежский, Двинский и Мезенский). Материалом для работы послужили сборы камбалы (12263 экз.), проведённые в ходе экспедиций в 2002–2019 гг.

Полученные результаты показали, что соотношение двух морф в популяциях камбалы Белого моря характеризуется высокой изменчивостью и региональными особенностями. Наибольшая доля левосторонних особей отмечена у камбал из северо-западной (Кандалакшский залив, губа Чупа) и юго-западной (Онежский залив) частей Белого моря (28,3 и 21,1 % соответственно). Различия камбал по сравниваемому признаку из этих заливов были статистически достоверны ($\chi^2 = 19,81$; $p < 0,05$). Значительно меньшие частоты встречаемости левосторонних особей наблюдались у камбал из юго-восточной (Двинский залив) и северо-восточной (Мезенский залив) частей Белого моря (5,2 и 3,3 % соответственно), причём между популяциями из этих заливов также отмечены достоверные различия ($\chi^2 = 11,70$; $p < 0,05$). Сравнение полученных результатов с данными более ранних исследований показало сходство частот встречаемости левосторонних рыб в изученных популяциях беломорской речной камбалы.

Размерно-частотные распределения лево- и правосторонних особей среди рыб одного пола в каждой из изученных популяций оказались в целом сходны: диапазоны изменчивости были близки, а медианы не демонстрировали значимых различий. Средние значения длин лево- и правосторонних камбал среди особей одного пола в каждом отдельно взятом заливе достоверно не отличались. Сравнение особенностей роста лево- и правосторонних особей среди самцов и самок было проведено только для выборки камбалы из Онежского залива, где численность исследованных реверсивных рыб была наиболее высокой по сравнению с таковой других популяций. Результаты показали, что среди рыб одного пола кривые линейного роста лево- и правосторонних особей не различались ($F = 0,54$ для самцов и $F = 1,29$ для самок; $p > 0,05$).

Межгодовая изменчивость доли левосторонних рыб в популяциях Онежского (2002–2019), Мезенского (2010–2016) и Двинского (2005–2019) заливов в целом была незначительной, статистически достоверных закономерных трендов в изменении признака не обнаружено. Частота встречаемости левосторонних особей в локальных популяциях и характер межпопуляционных отличий в разные годы наблюдений остаются относительно постоянными. Изучение многолетней

изменчивости признака показало сходство частот встречаемости левосторонних рыб в популяциях речной камбалы из Кандалакшского и Онежского заливов за прошедшие 40–60 лет. Полученные результаты свидетельствуют о том, что частота встречаемости левосторонней морфы является важным морфологическим признаком, свидетельствующим о популяционной дифференциации речной камбалы в бассейне Белого моря.

Средиземноморская мидия *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 (Bivalvia, Mytilidae) в Азовском море

Живоглядова Л. А., Елфимова Н. С., Афанасьев Д. Ф.

Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону, Россия

zhivoglyadova_l_a@azniirkh.ru

В донных биоценозах Азовского моря всё большую роль играют виды-вселенцы. Одним из таких видов является черноморский вселенец — двустворчатый моллюск *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819. Черноморская мидия (в англоязычной литературе —средиземноморская) одной из первых получила статус чужеродного вида в Азовском море и с 1950-х гг., с периода массового появления в море, стала привлекать внимание исследователей.

На сегодняшний день история освоения этим видом Азовского моря насчитывает более 70 лет. Материалы комплексных мониторинговых съёмок, проводимых АзНИИРХ ежегодно, позволяют обобщить многолетние наблюдения и проследить процесс формирования популяции черноморской мидии в Азовском море в динамике.

Материалом для настоящих исследований послужили архивные данные дночерпательных бентосных съёмок (начиная с 1970 г.) и собственные сведения последних лет, собранные в ходе мониторинговых работ.

В развитии популяции черноморской мидии в акватории Азовского моря можно выделить три основных периода. Первый, сравнительно благоприятный для развития популяции, приходился на 1970–1990-е гг. В этот период многочисленные поселения мидии отмечали по всему Азовскому морю, особо мощные скопления регистрировали в районе Железинской банки, а также в северных заливах моря. Биомасса моллюсков в популяции изменялась от 26 до 601 г·м⁻², в среднем составляя 210 г·м⁻². Примерно с конца 1990-х гг. в популяции мидии стали отмечать признаки деградации. В этот период резко сократилась область распространения моллюска, а затем, в начале 2000-х гг., снизилась его биомасса. Стабильно низкие значения, не превышавшие 50 г·м⁻², отмечались вплоть до 2015 г. Средняя биомасса *M. galloprovincialis* в этот период составляла 17 г·м⁻². С 2016 г. в популяции вновь регистрируются увеличение области распространения и рост биомассы. К 2020 г., по нашим данным, средняя биомасса в популяции черноморской мидии возросла до 249 г·м⁻². Фактически этот показатель может быть ещё выше, поскольку в последние годы оказался недоступен для исследования один из основных районов обитания черноморской мидии — северный. Этот недоучёт мог отразиться на полученных в последние годы результатах. Также важно отметить, что в последние два года значительно возросла частота встречаемости крупных моллюсков в уловах донного трала.

Таким образом, анализ многолетней динамики развития популяции *M. galloprovincialis* в Азовском море позволяет говорить о флуктуирующем ареале вселенца. В настоящее время мы наблюдаем вторую волну расселения мидии в Азовском море. По-видимому, дальнейшее её развитие и благополучие популяции в первую очередь будут связаны с изменением солёности Азовского моря.

Морфологические преобразования у морского вида *Myoxocephalus quadricornis*, происходящие при освоении последледниковых пресноводных озёр

Жидков З. В., Сиделева В. Г.

Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

zhidkovz@gmail.com

Ледовитоморская рогатка, *Myoxocephalus quadricornis* (Linnaeus, 1758), — одна из самых широко распространённых и массовых коттоидных рыб. Вид имеет циркумполярное распространение и отмечен в прибрежных зонах всех морей Арктики, а также в Балтийском море и в северной части Берингова моря. Для этой морской рыбы свойственна способность заселять пресноводные озёра. Для озёрных форм характерны значительные морфологические преобразования, связанные с освоением рогаткой глубоководных пресноводных биотопов, нехарактерных для вида. Цель данного исследования — выявить основные закономерности и степень морфологических преобразований, происходивших при независимом заселении *Myoxocephalus quadricornis* крупных послеледниковых водоёмов на разных континентах (озеро Мичиган и Онежское озеро).

Материалом для исследования послужили экземпляры рогатки, пойманные в Кандалакшском заливе Белого моря, в районе Аландских островов Балтийского моря, а также сборы из озера Мичиган (Северная Америка) и системы Онежского озера (Европа). Весь изученный материал (70 экз.) хранится в коллекции ЗИН РАН. При исследовании онежской рогатки проанализирован типовой экземпляр этой формы.

Выявлено, что рогатка из Онежского озера имеет ряд характерных морфологических отличий от предковой морской формы. Во-первых, для неё характерна полная редукция костных выростов на голове. Также уменьшены размеры шипов на предкрышке (длина верхнего шипа — 6–7 % длины головы против 9–10 % у морской формы). Этмоид, задневисочная и надключичная кости потеряли вооружение шипами; шипы на крышечной кости очень мелкие, сидят в коже. Для онежской формы также характерна почти полная редукция костных пластинок на теле (мелкие пластинки отмечены для единичных особей). По сравнению с морской формой особи из Онежского озера имеют больший размер глаз (27–28 % длины головы против 16–18 %) и меньший размер рта (верхняя челюсть не достигает вертикали заднего края орбиты). Онежская форма также имеет менее уплощённую голову. По счётным признакам осевого скелета различий между онежской и морской формами не выявлено.

По сравнению с морской формой рогатка из озера Мичиган демонстрирует ту же тенденцию на уменьшение вооружения головы и туловища: костные выросты на голове отсутствуют; шипы на предкрышке меньшего размера (длина верхнего шипа — 6–8 % длины головы); этмоид, задневисочная и надключичная кости не вооружены шипами, шипы на крышечной кости очень мелкие, сидят в коже; костные пластинки на теле мелкие и редко расположенные, часто отсутствуют полностью. Также для мичиганской рогатки характерен увеличенный размер глаз (25–27 % длины головы против 16–18 %) и меньшая длина челюстей. По сравнению с морской формой особи из озера Мичиган (как и онежские экземпляры) имеют менее уплощённую голову.

При сходных тенденциях морфологических преобразований американская озёрная рогатка имеет несколько уникальных признаков. Первой отличительной особенностью является строение пор в предкрышечном канале сейсмодатчика системы: поры мелкие и расположены на тонких

длинных трубочках. Терминальная пора туловищного сейсмодатчика также расположена на тонкой трубочке, направленной в каудальном направлении. Кроме того, половозрелые самцы мичиганской рогатки по сравнению с изученными самцами из Белого и Балтийского морей и Онежского озера имеют очень длинные (до середины хвостового плавника и даже далее) лучи во втором спинном плавнике. При этом концы самых длинных лучей не соединены перепонкой.

Установлено, что для рогатки из озера Мичиган характерно наибольшее количество морфологических преобразований относительно морской формы. Два признака (расположение пор сейсмодатчика на трубочках и чрезвычайное удлинение лучей второго спинного плавника у самцов) уникальны для мичиганской рогатки и не встречаются у онежской. Наличие нескольких стабильных и уникальных морфологических признаков поддерживает её видовой статус. С учётом послеледникового возраста озера (около 20 тысяч лет) попадание морского прибрежного вида в совершенно новые условия озера Мичиган привело к очень быстрым процессам видообразования. Онежская рогатка, населяющая более молодое послеледниковое озеро (возраст около 13 тысяч лет), имеет только один уникальный признак (полная редукция шипиков на плавниках). Однако с учётом высокого уровня морфологических отличий от морской формы она может рассматриваться в ранге подвида.

Для подкрепления морфологических данных была выполнена филогенетическая реконструкция (метод максимального правдоподобия) на основе последовательностей гена *cytb*, опубликованных в GenBank NCBI. Последовательности мичиганской формы рогатки сформировали обособленную кладу с bootstrap-поддержкой 98 %, что вполне согласуется с её выделением в отдельный вид *M. thompsonii*. Рогатки из Арктических морей, Балтики и Онежского озера сформировали единую кладу (bootstrap-поддержка 76 %) с низким уровнем дифференциации внутри неё. Последовательности всех изученных особей из Арктики, несмотря на большое удаление мест поимки, оказались очень сходными и образовали компактную, хорошо поддержанную субкладу, что говорит о генетической однородности вида. Таким образом, имеющиеся данные по *cytb* не поддерживают гипотезу о подвиговом статусе онежской рогатки, несмотря на значительные морфологические особенности этой формы.

Выводы:

1. Независимая колонизация ледовитоморской рогаткой разных послеледниковых озёр сопровождалась сходными морфологическими преобразованиями. Основные изменения затронули структуры, связанные с защитными функциями: костные выросты и шипы на голове, костные пластинки на туловище. Также наблюдалось увеличение размера глаз и уменьшение челюстей. Голова приобретает менее уплощённую форму. При этом значительных изменений в строении осевого скелета не выявлено.
2. Рогатка из озера Мичиган (*M. thompsonii*), освободившегося от ледника около 20 тыс. лет назад, накопила больше морфологических изменений по сравнению с формой из Онежского озера. В случае с американской озёрной формой морфологические изменения также затронули структуры сейсмодатчика (некоторые поры вынесены на тонкие трубочки) и плавники (значительное удлинение лучей во втором спинном плавнике у самцов). Наличие уникальных морфологических преобразований позволяет считать справедливым приращение видовой формы из озера Мичиган.
3. Имеющиеся генетические данные (*cytb*) поддерживают выводы о видовом статусе *M. thompsonii*. *M. q. onegensis* имеет низкий уровень генетических отличий от морской формы из Балтики и Белого моря.

Устьевые области равнинного водохранилища как рефугиумы для редких и чужеродных видов зоопланктона

Жихарев В. С., Гаврилко Д. Е., Золотарева Т. В., Шурганова Г. В.

Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени Н. И. Лобачевского,
Институт биологии и биомедицины, Нижний Новгород, Россия

slava.zhiharev@bk.ru

Исследования зоопланктона устьевых областей притоков равнинных водохранилищ как в России, так и в других странах мира носят крайне редкий и эпизодический характер. Зоопланктон испытывает значительные изменения в системах река — водохранилище. Это связано с резким преобразованием условий обитания гидробионтов. При этом устьевые области рек являются неким биофондом для бассейнов равнинных водохранилищ, а также рефугиумами благодаря формированию экотонов, в которых видовое разнообразие и количественное развитие зоопланктона существенно выше по сравнению с таковым граничащих акваторий.

Многолетние исследования устьевых областей более чем 30 рек — притоков водохранилищ Средней Волги (Горьковского, Чебоксарского и Куйбышевского) позволили выявить высокое биоразнообразие организмов зоопланктона. Среди широко распространённых видов нами были обнаружены редкие и чужеродные. В целом фауну чужеродных видов зоопланктона можно разделить на три группы: понто-каспийская, тропико-азиатская и трансконтинентальная.

Группа понто-каспийских видов в последние 50 лет активно расселяется в акватории Нижней Волги, а границей их распространения является Куйбышевское водохранилище. К таким видам относятся веслоногие рачки *Heterocope caspia* Sars G .O., 1897, *Eurytemora caspica* Sukhikh & Alekseev, 2013 и *Calanipeda aquaedulcis* (Kritsch., 1873). Нами эти виды были обнаружены в устьевой области р. Кама, а также впервые в устьевой области р. Казанка.

Группа тропико-азиатских видов начала активное расселение в Европейской России лишь в последний десяток лет. К таким видам относится, прежде всего, веслоногий рачок *Thermocyclops taihokuensis* Harada, 1931. Тропическая коловратка *Keratella tropica* (Arstein, 1907) ранее фиксировалась в зоопланктоне р. Волга на участке строительства Чебоксарского водохранилища, а также в первый год его существования, однако в последующие годы находки этого вида существенно сократились. *T. taihokuensis* ранее находили только в низовьях р. Волга и бассейн р. Ока. В 2018 г. мы обнаружили этот вид в устьевой области р. Сура. В следующие два года этот вид заселил соседнюю устьевую область р. Ветлуга и близлежащую акваторию Чебоксарского водохранилища, однако в число доминирующих видов не входил, а его численность варьировала от 70,1 до 866,1 экз.·м⁻³. Находки *K. tropica* носят крайне эпизодический характер и приурочены к устьевым областям рек Ока (4,4 экз.·м⁻³), Кудьма (19,6 экз.·м⁻³), Сура (826,8 экз.·м⁻³) и Ветлуга (95,7 экз.·м⁻³). Ранее считалось, что этот вид не заселяет территории за пределами 45° с. ш., однако исследования показывают, что ареал этого вида сегодня покрывает и умеренные широты.

К группе трансконтинентальных чужеродных видов можно отнести коловратку *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) и веслоногого рачка *Acanthocyclops americanus* (Marsh, 1892). Оба вида являются аборигенными для Северной Америки, и расселение за пределы своего материка они начали более 50 лет назад. В Европейской России *K. bostoniensis* обитает в более чем 100 водоёмах и водотоках, из которых более половины местообитаний сосредоточены в Нижегородской области. За период наших исследований этот вид был обнаружен в притоках Чебоксарского во-

дохранилища (реки Пыра, Черная, Везлома, Ока, Ватома, Керженец, Сундовик, Сура и Ветлуга) и притоках Куйбышевского водохранилища (реки Казанка и Кама). Исследования показывают, что *K. bostoniensis* обладает высокой экологической пластичностью и способна обитать в разнотипных водных объектах. Кроме того, установлено, что в ряде случаев чужеродная коловратка вошла в комплекс доминирующих видов. В ряде устьевых областей находки этого вида носят уже обычный характер, что говорит об успешной натурализации.

Первые упоминания об *A. americanus* за пределами его естественных местообитаний датируются 1926 г., когда вид обнаружили в Великобритании. Однако затем, ввиду споров о статусе вида, его названии и распространении, долгое время не было упоминаний о его находках в Европе. Позднее стало понятно, что этот вид обитает в Европе, Северной Африке, Западной и Центральной Сибири, а наибольшее количество находок располагаются на путях миграции птиц. До недавнего времени считалось, что северной границей были 60° с. ш., но в последнее десятилетие установлено, что ареал этого вида расширился до Арктики. Наши исследования показывают, что *A. americanus* часто встречается в планктоне Чебоксарского водохранилища, однако максимальное количественное развитие вида приурочено к устьевой области р. Кудьма (2019 г. — 19,61 тыс. экз.·м⁻³), р. Ока (2020 г. — 1,2 тыс. экз.·м⁻³) и р. Сура (2020 г. — 6,8–18,2 тыс. экз.·м⁻³). Кроме того, вид обнаружен в устьевой области р. Ветлуга, но его численность была невысокой. Из литературных данных известно, что *A. americanus* предпочитает эвтрофированные водные объекты. Скорее всего, именно поэтому численность *A. americanus* в мезотрофном Чебоксарском водохранилище и устьевой области р. Ветлуга ниже, чем в эвтрофных устьевых областях рек Ока, Кудьма и Сура.

Группа редких видов представлена ветвистоусым рачком *Pleuroxus denticulatus* Birge, 1879 и веслоногим рачком *Leptodiatomus angustilobus* (Sars G. O., 1898). Дискуссии о статусе этих видов являются актуальными. *P. denticulatus* относится к южному тропическому фаунистическому комплексу; по некоторым данным, он может быть американским видом, занесённым в Евразию, однако ряд исследователей полагает, что этот вид давно заселил Палеарктику. *P. denticulatus* был обнаружен в устьевой области р. Шача (приток Горьковского водохранилища) в 2020 г. Количественное развитие вида было крайне низким. Однако этого материала хватило для полного морфологического исследования с использованием электронной микроскопии. *L. angustilobus* был обнаружен в устьевой области р. Керженец (приток Чебоксарского водохранилища) в 2019 г. Этот вид обитает на востоке Евразии и северо-западе Северной Америки, а его находки на территории Нижегородской области являются крайне необычным и интересным фактом. В целом роль *L. angustilobus* в сообществе зоопланктона устьевой области р. Керженец была высокой. Речной планктон состоял преимущественно из коловраток, при этом 24,1 % биомассы в реке формировал *L. angustilobus*. Среди родственных видов его доля в биомассе была 84,2 %. Однако из-за массового развития коловраток доминирующую позицию по численности *L. angustilobus* занял только среди рачкового планктона (18,5 %) и веслоногих ракообразных (64,6 %).

Устьевые области рек, в особенности притоков равнинных водохранилищ, являются участками естественных рефугиумов и уникальными зонами с точки зрения гидрологии. Многообразие биотопов позволяет редким и чужеродным видам успешно занять здесь свою нишу. Таким образом, устьевые области являются зонами натурализации многих видов-вселенцев. Редкие и чужеродные виды, встраиваясь в экосистемы не свойственных им местообитаний, способны изменять структурную организацию сообществ зоопланктона. Степень их воздействия на гидробиоценозы определяется преимущественно перестройками в пищевых отношениях видов. Наши исследования показывают, что устьевые области водохранилищ Средней Волги являются благоприятными

местообитаниями для многих редких и чужеродных видов зоопланктона. Именно из устьевых областей происходит постепенное заселение акваторий водохранилищ. Успешная натурализация видов в той или иной степени может приводить к сокращению биоразнообразия, и именно поэтому биологические инвазии требуют постоянного внимания исследователей.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 19-34-90013 и 20-34-90097 и Русского географического общества в рамках грантовых экспедиций «Плавучий университет Волжского бассейна» № 06/2018-Р, 02/2019-Р и 07/202-р.

Почвообитающие раковинные амёбы побережья Азовского моря

Загумённая О. Н.¹, Коробушкин Д. И.²

¹Институт биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина РАН, Борок, Россия

²Институт проблем экологии и эволюции имени А. Н. Северцова РАН, Москва, Россия

zagumelga@gmail.com

Раковинные амёбы, или тестаии, — широко распространённая полифилетическая группа простистов, принадлежащая двум супергруппам — TSAR и Amoebozoa [Adl et al., 2019].

По типу клеточной организации тестаии представляют собой ползающую амёбу, заключённую в устойчивую к разложению раковинку, что позволяет их идентифицировать по морфологическим признакам напрямую, без необходимости прибегать к культивированию [Мазей, Цыганов, 2006].

Тестаии выполняют важные функции в поддержании биогеохимических циклов, регулируют круговорот углерода и азота, аккумулируют минеральные элементы, являются ключевым компонентом «микробной петли» в почвенных и водных экосистемах, разлагают лигнин и целлюлозу [Song et al., 2021 ; Tran et al., 2021].

Несмотря на то, что исследования почвенных тестаий на данный момент актуальны, изучение тестаий побережья Азовского моря до сих пор не проводилось.

Нами исследовались морфология, видовой состав и количественное обилие тестаий на 1 г абсолютно сухого вещества (а. с. в.) почвы трансект побережья Азовского моря (Азовский, Неклиновский районы Ростовской области, Ейский район Краснодарского края) по мере удаления от берега. Каждая трансекта состояла из 7 участков, находящихся на разном расстоянии от береговой линии: 0,5 м — соответствующая расстоянию 0,5 м от уровня максимального прилива; 5 м; 25 м; 50 м; 100 м; 250 м и 2000 м — контроль.

Исследования проводились с использованием световой микроскопии (фазовый контраст, дифференциально-интерференционный контраст). Нами было выявлено 87 видов тестаий из 17 семейств и 33 родов, из которых редким является 21 вид. Все они — новые виды для региона исследований.

В изученных трансектах побережья Азовского моря по мере удаления от берега наблюдались увеличение видового богатства тестаий и увеличение плотности тестаий на 1 г а. с. в. почвы.

В точках отбора проб «5», соответствующих расстоянию 5 м от уровня максимального прилива, во всех исследованных трансектах не было обнаружено тестаий.

Точки отбора проб «0,5» и «25», соответствующие расстоянию 0,5 и 25 м от максимального прилива, оказались примерно схожими по плотности тестаий на 1 г а. с. в. почвы (4774 и 4145 экз.·г⁻¹ а. с. в. соответственно), а также оказались схожими по количеству видов тестаий, но не по качественному видовому составу.

В точках отбора проб «2000», которые соответствуют расстоянию от максимального прилива, равному 2000 м и более, наблюдается резкое увеличение плотности тестаий на 1 г а. с. в. почвы, а также увеличение видового разнообразия.

Для побережья Азовского моря выявлены три доминирующих вида тестаий: *Centropyxis aerophila* Deflandre, 1929 (4809 экз.·г⁻¹ а. с. в.), *Centropyxis sylvatica* (Deflandre, 1929) Bonnet et Thomas, 1955 (4325 экз.·г⁻¹ а. с. в.) и *Cryptodiffugia oviformis* Penard, 1902 (4306 экз.·г⁻¹ а. с. в.), а также три вида редко встречающихся раковинных амёб: *Georpyxella sylvicola* Bonnet et Thomas,

1955 (37 экз.·г⁻¹ а. с. в.), *Plagioryxis bicamera* Coûteaux, 1978 (41 экз.·г⁻¹ а. с. в.), *Trachelocorythion pulchellum* (Penard, 1890) (33 экз.·г⁻¹ а. с. в.).

Авторы искренне признательны д. б. н., гл. н. с. Д. В. Тихоненкову (ИБВВ РАН) за научно-методическое руководство и внимание к работе.

Сбор материала осуществлен за счёт гранта Российского научного фонда № 19-74-10104. Анализ сообществ тестаций выполнен при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-04-00583А) и в рамках государственного задания (тема № АААА-А18-118012690098-5).

Видовое разнообразие и морфология центрохелидных солнечников из разнотипных пресных и морских биотопов Евразии

Загумённый Д. Г., Прокина К. И., Радайкина Л. В., Тихоненков Д. В.

Институт биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина РАН, Борок, Россия

zdmitryg@gmail.com

Центрохелидные солнечники (*Centroplasthelida* Febvre-Chevalier and Febvre, 1984) — голофилетическая группа водных свободноживущих протистов со сферической формой клетки и радиальными аксоподиями. Они являются сестринской группой гаптофитовых водорослей, с которыми объединены в супергруппу *Haptista*. Центрохелиды не имеют жгутиков или ресничек, являются хищными гетеротрофными организмами, поедая других протистов, а иногда и мелких многоклеточных. Это пассивные хищники, имеющие ловчий аппарат, который состоит из многочисленных экструсом (кинетостом), расположенных на радиально расставленных аксоподиях. Эти организмы являются убиквистами, наиболее часто встречаются в бентосе и перифитоне как морских, так и пресноводных биотопов. Покровы центрохелид могут быть представлены как одной только плазмолеммой, так и сложно устроенными кремнеземными чешуйками нескольких типов. Встречаются также органические покровы — мукополисахаридные капсулы и многочисленные иглоподобные спикулы.

Данная группа организмов, несмотря на распространённость, является слабо изученной. На светомикроскопическом уровне до внедрения электронной микроскопии было описано порядка 30 видов центрохелид. После изучения тонкого строения покровов с привлечением СЭМ и ТЭМ стало ясно, что разнообразие форм чешуек гораздо богаче, и строение их видоспецифично. Это привело к описанию большого количества новых видов и дополнению диагнозов старых. При внедрении молекулярно-генетических методов в исследованиях центрохелид была показана хорошая корреляция между морфологией покровных элементов и молекулярно-филогенетическими данными (сравнение по гену 18S рРНК). Данные о распространённости центрохелид очень фрагментарны, для многих регионов мира сведения отсутствуют вовсе.

Нами были изучены водные биотопы на территории России, Украины, Вьетнама, Южной Кореи, Канады, Монголии и других стран. В результате исследования с использованием световой и электронной микроскопии обнаружено 93 вида, из которых 31 оказался предположительно новым для науки. Наиболее часто встречающимися видами в нашем исследовании стали *Acanthocystis trifurca*, *Pterocystis tropica*, *Raineriophrys fortesca*, *Acanthocystis pectinata* и *Raineriophrys erinaceoides*. Также были получены 28 клональных культур центрохелид. Для каждого клона секвенирован ген 18S рРНК, а также построены филогенетические деревья, позволившие расширить наши представления о родственных отношениях внутри группы центрохелидных солнечныхников. По результатам проведённого молекулярно-филогенетического исследования впервые морфологически охарактеризованы 9 клад центрохелид, которые ранее были представлены исключительно природными сиквенсами.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 18-14-00239.

Состояние популяции ириса аировидного в Балашовском районе Саратовской области

Занина М. А.

Балашовский институт (филиал) Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского,
Балашов, Россия
zanmarina@yandex.ru

Главной специфической чертой флоры Саратовской области является её пограничный характер. Около половины видов флоры области находится на границе своего распространения. В последние десятилетия наблюдается обеднение видового состава растений природных комплексов и резко увеличивается число редких видов. Они обладают наименьшей толерантностью к изменениям природной среды. Эти изменения ведут к элиминации редких видов из состава сообществ. Главная причина — глобальное и локальное изменение условий существования, разрушение и засорение естественных мест произрастания растений. Большую опасность для растительного мира, особенно для отдельных видов растений, представляет их прямое искоренение из-за полезных свойств.

В Балашовском районе в окрестностях села Никольевка на заливном лугу, примыкающем к озеру-старице Перемытка, обнаружены заросли *Iris pseudacorus* L. Периметр озера равен 2 км, ширина зарослей *I. pseudacorus* — 2 м. В его зарослях насчитывается 30–40 экз.·м⁻². В околководном окружении нами встречены заросли *Bidens tripartita*, *Rubus caesius*. Они расположились по периметру озера на более или менее удалённом расстоянии от кромки воды.

Встречается ирис и по берегам протоки реки Хопёр с выходом корневищ на поверхность. На западинах «стоит» вода. Ирис образует заросли в виде правильного круга.

Ирис ложноаирный (*I. pseudacorus*) семейства Iridaceae — многолетний травянистый поликарпик, корневищный геофит. Растёт по мелководьям рек, озёр, болот от середины таёжной до субтропической зоны в Европе, на Кавказе, в Западной Сибири, Северной Африке и Малой Азии. Гигрофит. Встречается на сырых лугах с богатыми почвами; в крупноосоковых прибрежно-водных и болотных сообществах на торфяных почвах; в низинных заболоченных лесах и зарослях ивняков на торфянистой почве, а также их опушках. Хорошо переносит весенние затопления.

Ирис ложноаирный — редкое декоративное растение до 150 см высотой. Цветёт в мае-июне. Плодоносит в июле. Размножается семенами и вегетативно (ветвлением корневища) [Семенова и др., 2017]. Ирис ложноаирный занесён в Красную книгу Российской Федерации [2008]. Вид включён в Красную книгу Саратовской области с категорией и статусом 2 (V) — вид, сокращающийся в численности [2020].

Особенности онтогенеза, на которые мы опирались при установлении онтогенетических состояний, описаны Г. И. Родионенко [1961]. У *I. pseudocorus* в сложении структуры основная роль принадлежит генеративным особям: максимум численности приходится на взрослую часть возрастного спектра. Возрастной спектр ценопопуляции двувёршинный с максимумом зрелых генеративных особей (23,6 %). Значение индекса возобновляемости составляет 47. Индексы замещения низкие, что связано с длительностью генеративного периода и высокой степенью элиминации проростков. По классификации «дельта — омега» популяция относится к молодому типу ($\Delta = 0,23$; $\omega = 0,38$).

Таким образом, изученная популяция является жизнеспособной при достаточном количестве генеративных особей, обеспечивающих семенное размножение. Незначительные колебания наблюдаются только в количественном соотношении особей одних и тех же онтогенетических состояний. Возрастная структура популяции *I. pseudocorus* нормальная, полночленная. Вид способен успешно поддерживать свою численность в сложившихся условиях среды при определённых типах постоянного воздействия на его местообитания.

Особенности состава, структуры и продуктивности водной и прибрежно-водной растительности малых озёр лесной и таёжной зон юга Западной Сибири

Зарубина Е. Ю., Феттер Г. В.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия

zeur11@mail.ru

Территория юга Западной Сибири относится к числу озёрных районов России, здесь находится более 20 тыс. озёр, различных по происхождению, морфометрическим параметрам, гидрологическому и гидрохимическому режимам, характеру зарастания и продуктивности водных фитоценозов. Большинство озёр относятся к малым и мелководным. Особенности формирования растительного покрова этих озёр в значительной степени зависят от абиотических факторов, как внешних (соотношение элементов водного и теплового баланса), так и внутренних (гидрологический и гидрохимический режим).

Материалом для работы послужили результаты исследования состава, структуры и продукционных характеристик высшей водной и прибрежно-водной растительности 15 малых озёр, расположенных в таёжной и лесной зонах Томской, Омской и Новосибирской областей. Исследования проводили в конце июля — начале августа в 2016, 2017 и 2019 гг. с применением стандартных методов. При проведении исследований измеряли гидрологические и гидрохимические параметры.

Озёра южной тайги характеризуются слабым развитием макрофитов. Преобладающий тип зарастания — сплавинный. В зарастании озёр хорошо прослеживается зональность. Вдоль сплавин в воде до глубины 0,5–0,7 м — в зоне низкотравных гелофитов — доминируют *Carex acuta* L., *Equisetum fluviatile* L., *Sparganium angustifolium* Michx., последний образует довольно большие по площади монодоминантные сообщества с проективным покрытием до 60 %. Зона высокотравных гелофитов распространяется до глубины 1,2 м, она представлена, как правило, разреженными сообществами тростника южного (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.). Вдоль зоны гелофитов или непосредственно вдоль сплавин до глубины 2,0–2,2 м располагается зона плейстофитов, представленная *Nuphar lutea* (L.) Sm. и *Potamogeton natans* L. На озёрах хорошо развита зона придонной растительности, образованная представителями мохообразных. Площадь зарастания озёр составляет от 5 до 25 %. Годовая продукция низкотравных гелофитов — $(80,1 \pm 27,4) \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$, высокотравных — $(470,1 \pm 95,3) \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$, плейстофитов — $(420 \pm 99,4) \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$. Основными продуцентами органического вещества являются придонные водные мхи ($550\text{--}675 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$). Большая часть образованного мхами органического вещества захоранивается в донных грунтах, образуя торфы.

Лимитирующими факторами для развития и функционирования макрофитов в таёжных озёрах являются прозрачность воды, pH и низкая минерализация воды. Коэффициент корреляции между годовой продукцией тростника и pH — 0,9, между минерализацией воды — 0,94, при уровне достоверности $p < 0,05000$.

Территория лесной зоны является зоной оптимального увлажнения и теплообеспеченности. Озёра преимущественно «макрофитного» типа, степень зарастания — от 30 до 95 %. Преобладает массивно-зарослевый тип зарастания, наряду с которым на некоторых озёрах встречается сплавинный. Видовое разнообразие водной и прибрежно-водной растительности высокое, преобладают многоярусные сообщества. Вдоль берегов на глубине 0,5–1,5 м доминируют *Typha latifolia* L., *T. angustifolia* L., *Phragmites australis* и др. В качестве содоминантов в ярусе средне-

и низкотравных гелофитов выступают *Sparganium erectum* L., *Carex acuta* L., *C. pseudocyperus* L., *Calla palustris* L., *Alisma plantago-aquatica* L., *Equisetum fluviatile* L. и др. Среди стеблей гелофитов очень часто встречаются *Lemna minor* L. и *Spirodela polyrhiza* (L.) Schleid., а в толще воды — *Lemna trisulca* L. и *Ceratophyllum demersum* L. Обширные площади в акватории водоёма до глубины 2,5–3,5 м занимает плавающая растительность, представленная *Nymphaea candida* C. Presl и *Nuphar lutea* (L.) Sm. В ярусе погружённой доминируют *Potamogeton perfoliatus* L., *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle, *Ceratophyllum demersum* L. и *Chara* sp. На глубине до 5 м обширные заросли образуют *Stratiotes aloides* L. и *Potamogeton praelongus* Wulfen. Проективное покрытие в сообществах погружённой растительности — от 70 до 90 %, в сообществах плавающей — около 60 %. На отдельных участках встречаются харово-роголистниковые сообщества с очень высоким проективным покрытием (до 100 %).

Величина годовой продукции погружённой растительности высокая (в среднем $(1030 \pm 169) \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$), она значительно превышает продукцию плавающей $[(625 \pm 65) \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}]$ и полупогружённой растительности $[(610,3 \pm 126,6) \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}]$. Основными первичными продуцентами органического вещества в лесных озёрах являются телорез алоэвидный ($1420 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ в год), харовые водоросли и роголистник погружённый (до $2380 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ в год).

Популяционная структура европейского анчоуса *Engraulis encrasicolus* (L.) в Азово-Черноморском бассейне

Зуев Г. В.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

zuev-ger@yandex.ru

Европейский анчоус, или хамса, *Engraulis encrasicolus* L. — один из наиболее массовых видов рыб в Азово-Черноморском бассейне. *E. encrasicolus* — политипический вид; в Чёрном и Азовском морях он представлен двумя внутривидовыми формами — черноморским анчоусом (*E. encrasicolus ponticus* Alex.) и азовским анчоусом (*E. encrasicolus maeoticus* Pusanov), таксономический статус которых остаётся до настоящего времени неясным. Актуальной задачей является оценка современной популяционной структуры *E. encrasicolus* и её возможных изменений под воздействием климатических и антропогенных факторов в целях разработки необходимых мер по предотвращению негативных последствий и сохранения ресурсного потенциала вида. Данная работа посвящена изучению современной популяционной структуры европейского анчоуса в Чёрном и Азовском морях, исследованию геологических и палеоклиматических условий её формирования, а также оценке возможных изменений с учётом реальных природных и антропогенных факторов риска. В основу работы положены результаты изучения внутривидовой морфофизиологической, биохимической, генетической и экологической изменчивости *E. encrasicolus*, а также пространственных и репродуктивных взаимоотношений азовского и черноморского анчоуса. Представлена геологическая история формирования популяционной структуры *Engraulis encrasicolus*.

Современные азовский и черноморский анчоусы в прошлом были пространственно разобщены и вступили в контакт лишь вторично (после того как в процессе эволюции между ними возник ряд различий). Их изоляция произошла в миоцене (23,0–5,3 млн лет назад), в новообразованном, изолированном от океана Тетис Сарматском море. В результате возникли две географически обособленные и независимые группы анчоусов (западная и восточная), дальнейшее развитие которых происходило с разной скоростью. Более быстрые темпы эволюции западной группы привели к образованию более прогрессивных черноморского и средиземноморского анчоусов, а более низкие темпы эволюции восточной группы — к образованию более примитивного азовского анчоуса. Только в современную эпоху, после окончания последнего ледникового периода и восстановления связи Чёрного моря со Средиземным 7–5 тыс. лет назад произошёл контакт между ними, который впоследствии сопровождался гибридизацией, то есть образованием зоны вторичной интерградации. В условиях интрогрессивной гибридизации в последние десятилетия, связанной с осолонением Азовского моря в результате хозяйственной деятельности человека, существует реальная угроза разрушения генофонда азовской хамсы и её «генетического поглощения» черноморской. Тем не менее генетическая идентичность азовского анчоуса до настоящего времени сохраняется. Это происходит прежде всего благодаря экологическим механизмам сезонной (выбор времени) и биотопической (выбор места) изоляции в репродуктивный период.

Многолетняя динамика репродуктивного потенциала черноморского шпрота *Sprattus sprattus phalericus* (Risso) (Pisces: Clupeidae) в Крымском регионе

Зуев Г. В., Скуратовская Е. Н.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

Черноморский шпрот *Sprattus sprattus phalericus* (Risso) — один из наиболее массовых видов рыб в Азово-Черноморском бассейне. Благодаря своей многочисленности он играет исключительно важную роль в экосистеме моря, являясь промежуточным звеном между зоопланктоном и представителями высшего трофического уровня — крупными хищными рыбами, дельфинами и птицами. В то же время шпрот относится к числу важных промысловых объектов всех причерноморских стран, устойчиво занимая в последние десятилетия второе место по объёму вылова после хамсы. Основные добывающие страны — Турция и Украина, общий вылов достигает 100 тыс. тонн. Мониторинг и прогноз состояния популяции шпрота в условиях роста интенсивности промысла и изменения климата — актуальные задачи. Целью настоящего исследования был анализ долгосрочной (2000–2016) динамики качественных (биологических) и количественных (запаса) параметров, определяющих популяционную плодовитость (репродуктивный потенциал) черноморского шпрота в Крымском регионе, а также оценка современного состояния репродуктивного потенциала и условий его формирования. В числе параметров, определяющих популяционную плодовитость, были изучены размерно-возрастная структура нерестового (родительского) стада, абсолютная индивидуальная плодовитость и половая структура нерестового стада — численное соотношение самок и самцов.

В 2011–2016 гг. по сравнению с 2000–2004 гг. средняя длина нерестовых самок сократилась в 1,22 раза (с 7,36 до 6,03 см), что сопровождалось снижением абсолютной индивидуальной плодовитости в 2,39 раза (с 13625 до 5690 икринок); численное соотношение между самками и самцами уменьшилось в 1,23 раза (с 1,95 до 1,59). Одновременно величина запаса шпрота в северной половине Чёрного моря сократилась более чем в 2,5 раза (с > 500 до < 200 тыс. т). В результате популяционная плодовитость шпрота в Крымском регионе уменьшилась более чем в 7 раз ($2,39 \times 1,23 \times 2,5$). Изучение условий промысла шпрота в северной половине Чёрного моря (от устья р. Дунай до Керченского пролива) показало 2-кратное (с 251,9 тыс. т в 2000–2004 гг. до 129,1 тыс. т в 2011–2016 гг.) снижение общего вылова и более чем 2,3-кратное (с 50,4 до 21,4 тыс. т) сокращение среднегодового. На крымском шельфе, напротив, общий вылов в это время увеличился в 1,2 раза (с 76,9 до 92,2 тыс. т), а его среднегодовая величина осталась без изменения (15,39 тыс. т в 2000–2004 гг. и 13,37 тыс. т в 2011–2016 гг.). При сокращении запаса в 2,5 раза это означает, что величина промысловой нагрузки на крымскую популяцию возросла в 2,5 раза, что даёт основание рассматривать фактор промысла в качестве главной причины её деградации. Справедливость данной версии подтверждает установленный ранее факт сопряжённости межгодовых колебаний между выловом и размерно-возрастными показателями шпрота в Крымском регионе в 2003–2013 гг.: выловы свыше 15–16 тыс. т сопровождалось уменьшением средней длины и среднего возраста, смещёнными относительно года вылова на один год вперёд.

Таким образом, необходимым условием для предотвращения дальнейшей деградации, а также для восстановления и поддержания стабильного состояния популяции шпрота в Крымском регионе и её репродуктивного потенциала является регулирование промысла. Негативное воздействие природных (климатического и трофического) факторов на состояние популяции следует признать второстепенным. Локальный перелов шпрота в Крымском регионе в сочетании с последовательно возрастающей степенью деградации популяции даёт основание рассматривать его в качестве косвенного показателя подразделённости промыслового запаса на ряд пространственно-обособленных, самовозобновляемых образований (единиц запаса), что предполагает, соответственно, наличие внутривидовой дифференциации.

К истории изучения фауны рукокрылых субтропических районов Черноморского побережья (конец XVIII — начало XX в.)

Иваницкий А. Н.

Карадагская научная станция имени Т. И. Вяземского — природный заповедник РАН — филиал ФИЦ
ИнБЮМ, Феодосия, Россия
nathusii@mail.ru

Фауна субтропических районов Черноморского побережья богата и разнообразна, включает 34 вида из 4 семейств [Иваницкий, 2019]. История изучения хироптерофауны региона насчитывает около 250 лет и берёт своё начало задолго до научного описания большинства видов. К 1820 г. в работах К. Линнея, И. Шребера, Г. Куля и др. было описано 19 видов (55,9 %) из 34, ещё 12 видов было описано в последующие 50 лет. Таким образом, к 1870 г. были описаны 31 из 34 черноморских видов (91,2 %).

В данной работе мы рассматриваем первые 150 лет истории исследования, период первичной научной инвентаризации фауны субтропических районов Черноморского побережья с 1772 по 1920 г. Летучие мыши субтропиков Черноморья в этот период не являлись объектом целенаправленных исследований, сведения о них весьма отрывочны и очень разрозненны, собраны были по большей части попутно и случайно. Важнейшие исследователи этого периода — П. С. Паллас, А. Д. Нордман, К. Ф. Кесслер и К. А. Сатунин; география находок охватывала главным образом Южный берег Крыма (ЮБК) и Черноморское побережье Кавказа (ЧПК).

История изучения хироптерофауны региона началась в правление Екатерины II (1762–1796), которое ознаменовалось рядом свершений, таких как присоединение Крыма, Георгиевский тракт, организация науки (создание Академии наук и т. п.) и другие, сделавших возможным изучение рукокрылых Черноморского побережья.

Первое упоминание рукокрылых на Черноморском побережье имеется в описании природы присоединённой Тавриды первым крымским вице-губернатором К. И. Габлицем (1785). Он приводит для Крыма "*Vespertilio murinus*" (= *Myotis blythii*) как обитателя населённых пунктов.

Однако первенство в научном изучении фауны рукокрылых Черноморского побережья принадлежит академику Петру Симону Палласу. По поручению Г. А. Потёмкина П. С. Паллас в 1793–1810 гг. проводил исследования фауны Крыма, на первом этапе — при участии К. И. Габлиця. В своей *Zoographia Rosso-Asiatica* [Паллас, 1811] он приводит кавказские находки 1772 г. акад. И. А. Гюльденштедта *Rhinolophus ferrumequinum* из Уцеры (Рача) (первая находка рукокрылых в исследуемом регионе!), а также *Plecotus auritus* из Ксани, р. Кура, а кроме того, собственные для Крыма данные по 4 видам: *M. blythii*, *Nyctalus noctula*, *Eptesicus serotinus* и *Pipistrellus pipistrellus*.

Невозможно переоценить значимость экспедиций по Черноморскому побережью Крыма и Кавказа выдающегося исследователя черноморской фауны, члена-корреспондента Александра Давидовича Нордмана. В своей работе [Nordmann, 1840] для региона он приводит *R. hipposideros*, *R. ferrumequinum*, *M. blythii*, *Barbastella barbastellus*, *Pl. auritus*, *N. noctula*, *P. pipistrellus* и *E. serotinus*, для запобережья — *M. daubentonii*. В коллекции А. Д. Нордмана имеется также экземпляр *Miniopterus schreibersii* из Пицунды (колл. ЗИН).

В последующие годы вышел ряд обобщающих сводок, содержащих среди прочего сведения о рукокрылых Черноморского побережья Крыма и Кавказа [Симашко, 1851 ; Чернай, 1852–1853 ; Rathke, 1837 ; Kaleniczenko, 1839 ; Keyserling, Blasius, 1840 ; Brandt, 1855 ; Blasius, 1857].

В 1850-х гг. на ЮБК, а также в 1860-х и 1890-х гг. на ЧПК проходили экспедиции Г. И. Радде; среди его находок на крымском побережье — *M. nattereri* и *N. noctula*, на кавказском — *M. blythii*, *N. noctula*, *Vespertilio murinus* и *Min. schreibersii*.

Важное значение имеют исследования члена-корреспондента Карла Фёдоровича Кесслера. В Крыму он изучал рукокрылых с 1858 г., при этом основные результаты получены в 1870–1890-е гг. В 1875 г. он проехал также из Поти в Тифлис. Всего в Крыму им найдены 13 видов, в том числе *M. mystacinus*, *M. emarginatus*, *M. nattereri*, *M. dasycneme* (?), *P. nathusii* и *P. kuhlii*. К. Ф. Кесслеру принадлежит и первая специальная публикация, посвящённая рукокрылым Черноморья, — «Заметка о летучих мышах России» [Кесслер, 1872]. Результаты исследований К. Ф. Кесслера и предшественников были изложены в капитальной сводке по позвоночным Крыма А. М. Никольского [1891].

В 1900-е гг. на ЧПК и ЮБК исследования проводил А. А. Браунер, однако по рукокрылым он приводит данные [Браунер, 1912] только для ЮБК. Здесь он отмечает 6 видов; из интересных находок в запобережье в Крыму — *M. nattereri* и *Min. schreibersii*, на Кавказе — *N. lasiopterus*. Под влиянием А. А. Браунера возник интерес к зоологии у супругов В. Э. и Е. В. Мартино, которые нашли в Крыму 4 вида рукокрылых.

Из прочих находок конца XIX — начала XX в. на ЧПК наиболее интересны сборы В. И. Чернявского, А. А. Силантьева (впервые в регионе найдены *M. nattereri* и *P. nathusii*), А. М. Кобылина (впервые *N. leisleri*), Ю. Н. и О. П. Вороновых (впервые *R. euryale*), В. К. Константинова (впервые *N. lasiopterus*) и И. И. Пузанова (впервые *M. bechsteini*); на ЮБК — В. Н. Вучетича (впервые *Hypsugo savii*), а также первая находка *Tadarida teniotis*, опубликованная Ф. А. Йентинком [Jentink, 1888], и многие другие.

Наибольший вклад в изучение рукокрылых субтропических районов Черноморья внёс Константин Алексеевич Сатунин. Кроме сборов собственных экспедиций, для своих трудов он использовал коллекции своих многочисленных корреспондентов (многие из них упомянуты выше), а также неопубликованные и известные в литературе сведения предшественников. В своих важнейших публикациях по рукокрылым Черноморского побережья [Сатунин, 1911, 1913], не утративших научную ценность до сего дня, для ЮБК и ЧПК он приводит 10 видов, только для ЮБК — 4 вида, только для ЧПК — 5 видов, для Малоазиатского побережья Чёрного моря — 1 вид.

Крайне бедна данными история изучения рукокрылых Балканского Черноморского побережья (БЧП), которая началась после 1878 г., после Русско-турецкой войны и освобождения Болгарии от османского ига. Первые сведения о рукокрылых Болгарии находим у Г. К. Христовича [1892], но данные по БЧП появляются позже. В работах В. Т. Ковачева и И. И. Буреша для Бургаса приводятся *R. ferrumequinum*, а для Варны — *N. leisleri* и *Min. schreibersii*. Последними авторами приводятся также находки 12 видов для запобережной территории, примыкающей к БЧП.

Не менее скудна достоверными сведениями история изучения летучих мышей Малоазиатского Черноморского побережья (МЧП). Почти все находки здесь сделаны российскими исследователями в XX в. в Артвинском округе, в то время регионе России. В Артвине и окрестностях К. М. Дерюгиным и П. В. Нестеровым были найдены *P. pipistrellus*, Ю. Н. Вороновым — *Pl. "auritus"* (= *Pl. macbullaris*), А. А. Флоренским — *Min. schreibersii*. Часть из этих находок описана в работах К. А. Сатунина [Сатунин, 1913 ; Satunin, 1913]. Интересна также находка *P. nathusii* в Малой Азии, без уточнения локалитета [Doria, 1887], наиболее вероятно относившаяся к МЧП;

если это так, она является первой находкой этого вида в субтропическом Черноморье. В запо-
бережье Малой Азии приезжими исследователями найдены ещё 8 видов [Danford, Alston, 1877 ;
Doria, 1887 ; Jentink, 1888 ; Satunin, 1913].

После 1920 г. в субтропическом Черноморье зарегистрированы *R. blasii*, *R. mehelyi*,
M. daubentonii, *M. dasycneme*, *M. saraccinii* и *E. nilssonii*, хотя они были известны здесь из со-
предельного запобережья. В связи с ревизией видовой принадлежности хироцерофауны реги-
она «пополнили» также *M. brandtii*, *M. davidii*, *M. alcathoe*, *M. myotis*, *P. pygmaeus*, *Pl. austriacus*
и *Pl. macrobullaris*. Ревизия коллекций различных музеев выявила наличие экземпляров большин-
ства этих нововыделенных видов, собранных до 1920 г.

Работа выполнена в рамках темы госзадания № 121032300023-7.

Биологические особенности озёрного гольяна в Рязанской области

Иванчева Е. Ю., Иванчев В. П.

ФГБУ «Окский государственный природный биосферный заповедник», Брыкин Бор, Россия

eivancheva@mail.ru

Озёрный гольян *Phoxinus phoxinus* имеет фрагментированный ареал [Берг, 1949 ; Решетников, 2010], и Рязанская область входит в состав одной из островных его частей. Для Рязанской области известно несколько мест находок вида, где до 2012 г. его обнаруживали лишь в незначительных количествах [Бабушкин, 1990 ; Бабушкин, Бабушкина, 2004]. На территории Окского заповедника, несмотря на длительные ихтиологические исследования (с 1948 г.), он также не был выявлен до 2014 г. [Селезнев, 1963 ; Панченко, 1990, 1992 ; Иванчева, Иванчев, 2004, 2008 ; Иванчев, Иванчева, 2010]. Из-за своей малочисленности озёрный гольян был внесён в 2011 г. в региональную Красную книгу. В настоящее время на территории области вид обнаружен многочисленным в поймер. Мокша и в некоторых озёрах заповедника.

Цель и задачи работы — изучить распространение озёрного гольяна в Рязанской области и биологические особенности вида в этом фрагменте его ареала.

При проведении исследовательских отловов в 2012–2013 гг. в пойменных озёрах. Мокша Савского района Рязанской области в каждом из них были обнаружены озёрные гольяны, входящие в доминантный комплекс и составляющие основу населения озёр. Озёра представляли собой водоёмы, сильно заросшие телорезом *Stratiotes aloides*, урутью *Myriophyllum* sp. и рдестом волосовидным *Potamogeton trichoides* с «окнами» воды без макрофитов. Глубина озёр достигала 1,2–1,5 м.

Наибольшее число наблюдений за озёрным гольяном проведено на озере Ерус, расположенном в высокой пойме Оки на территории Окского заповедника. Первый единичный случай поимки озёрного гольяна зафиксирован 12.08.2014. Рыба была поймана в жаберную сеть с ячейей 12 мм [Иванчев, Иванчева, 2015]. Вероятно, озёрный гольян проник в озеро с весенним половодьем, уровень которого был достаточно высок в 2013 г.

В 2015 г. озёрный гольян резко увеличил свою численность: доля его в уловах составила более 70 %, тем самым он кардинально поменял структуру рыбного населения. Это явление характерно при натурализации вида на новой территории [Алимов и др., 2004]. При этом доля хищников (речной окунь, щука) была крайне низкой.

В 2016 г. некоторые виды: серебряный карась, головешка-ротан и синец — были поражены краснухой; относительная численность рыб уменьшилась в 4 раза. В озере были отмечены погибшие и погибающие особи. При этом озёрные гольяны не были обнаружены заражёнными, а доля их в уловах увеличилась до 77 %. Возможно, озёрный гольян был переносчиком краснухи, а болезнь была стимулирована общим увеличением численности рыб. При этом 2017 и 2018 гг. стали периодом восстановления численности рыбы, доминировали два инвазионных вида (головешка-ротан и озёрный гольян), когда краснуха постепенно пошла на убыль. В 2019–2020 гг. в озере осталось всего 3 вида, из них 2 инвазионных, а третий (серебряный карась), возможно, инвазионный. Головешка-ротан и озёрный гольян составляют доминантный комплекс, причём озёрный гольян — супердоминант. В течение последних 7 лет (с момента вселения озёрного гольяна) общая относительная численность рыбного населения в озере выросла более чем в 4 раза за счёт

этого вида. Увеличение как доли в населении, так и относительной численности на сеть/сутки отмечается лишь у озёрного гольяна. Резко упали доля и относительная численность серебряного карася; показатели численности ротана варьируют. Озёрному гольяну свойственно поедание икры рыб [Карантоис и др., 1956, цит. по: Новиков, 1966], подрывающее воспроизводство различных видов.

В 2019 г. единичная особь озёрного гольяна обнаружена нами в старице Оки, озере Алексеево, и отловлена жаберной сетью с ячейёй 11 мм. В 2020 г. озёрный гольян здесь отмечен не был. Озеро находится в низкой пойме и регулярно связано протоками с материнской рекой, вследствие чего имеет более сложную структуру рыбного населения, включая хищников, чем озёра высокой поймы.

В 2020 г. озёрный гольян был обнаружен ещё в одном озере на территории заповедника — Письмерки. Озеро относится к водораздельным водоёмам. Озёрный гольян проник в озеро после 2015 г.

Таким образом, в настоящее время озёрный гольян обнаружен нами во всех типах озёр — в озёрах высокой и низкой поймы и во внепойменном.

Такая вспышка инвазии, вероятно, произошла благодаря значительному изменению гидрологического режима. В последнем десятилетии высота максимального уровня разлива составила в среднем 525 см над ординаром, что на 1 м ниже уровня 1930-х гг. и на 60 см ниже среднего многолетнего значения [Онуфреня, 2001, 2012 ; Панкова, 2014]. В результате низких уровней разливов хищные рыбы не могут попасть в озёра высокой поймы и уничтожить озёрных гольянов, которые уцелели в них с момента проникновения. Короткоциклового вида приступает к размножению уже на 2-й год и при достаточно высокой плодовитости быстро размножается.

Морфометрия. Отметим, что линейная длина самок [(127,8 ± 14,95) мм] достоверно больше таковой самцов [(115,5 ± 11,85) мм] по коэффициенту Стьюдента при уровне значимости $p = 0,009$. Различия между самцами и самками выявлены ещё по 6 признакам:

1. Длина хвостового стебля у самцов [(26,5 ± 1,98) мм] значимо больше, чем у самок [(25,1 ± 1,63) мм], при $p = 0,0158$.
2. Наибольшая высота у самок [(30,8 ± 1,53) мм] значимо больше, чем у самцов [(28,7 ± 2,06) мм], при $p = 0,000752$.
3. Наименьшая высота тела у самцов [(11,6 ± 1,20) мм] значимо больше, чем у самок [(10,9 ± 0,65) мм], при $p = 0,012$.
4. Высота спинного плавника у самцов [(18,7 ± 2,49) мм] значимо больше, чем у самок [(17,0 ± 1,21) мм], при $p = 0,007$.
5. Длина грудного плавника у самцов [(17,1 ± 0,79) мм] значимо больше, чем у самок [(16,3 ± 1,14) мм], при $p = 0,018$.
6. Пектоцентрально-анальное расстояние у самок [(27,5 ± 2,53) мм] значимо больше, чем у самцов [(25,3 ± 2,13) мм].

Плодовитость. Абсолютная плодовитость озёрного гольяна, отловленного в водоёмах заповедника, изменяется в диапазоне от 6,1 тыс. икринок до 16,8 тыс. икринок, составляя в среднем (10574,2 ± 2690,19) икринок. Относительная плодовитость озёрного гольяна изменяется в диапазоне от 159 до 290, составляя в среднем (218,6 ± 39,63).

Зрелые, готовые к размножению особи имеют следующую линейную длину: самки — от 70 мм, самцы — от 64 мм. Соотношение самцов и самок — 1:1,7.

Первое обнаружение трематоды *Neodiplostomum seoulense* (Seo et al., 1964) Hong et Shoop, 1995 на территории России: морфология, жизненный цикл и молекулярные данные

Израильская А. В.^{1,2}

¹Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток, Россия

²Дальневосточный федеральный университет, Школа биомедицины, Владивосток, Россия

anna.kharitonova92@yandex.ru

Трематода *Neodiplostomum seoulense* (Seo et al., 1964) Hong et Shoop, 1995 известна как паразит человека [Chai, 2019]. Впервые этот червь был описан от естественно инфицированных крыс на территории Южной Кореи и обозначен как *Fibricola seoulensis* Seo et al., 1964 [Seo et al., 1964]. В дальнейшем Хонг и Шуп [Hong, Shoop, 1994, 1995], основываясь на морфологических признаках, отнесли его к роду *Neodiplostomum* Railliet, 1919. Ареал *N. seoulense* — территория Южной Кореи и северной части Китая. Для выявленных в перечисленных регионах червей имеются данные о морфологии стадий развития, жизненном цикле и молекулярные данные для митохондриального маркера *cox1* [Chai, 2019]. Установлено, что роль первых промежуточных хозяев выполняют лёгочные моллюски из семейств Planorbidae Rafinesque, 1815 (*Hippeutis cantori* Benson, 1850 и *Segmentina (Polypylis) hemisphaerula* Benson, 1842) и Lymnaeidae Rafinesque, 1815 (*Austropeplea ollula* Gould, 1859) [Seo et al., 1988 ; Chung et al., 1996 ; Chung et al., 2002], вторых хозяев — головастики; кроме того, имеются данные об обнаружении метацеркарий *N. seoulense* у змей [Chai, 2019]. В естественных условиях окончательные хозяева *N. seoulense* — крысы *R. norvegicus* и мыши *Apodemus agrarius* Pallas, 1771 [Seo et al., 1964, 1981, 1988 ; Chai et al., 2007].

Трематода, обнаруженная нами на юге Дальнего Востока России, на основании морфологии церкарий и полученных в эксперименте метацеркарий и марит была отнесена к *N. seoulense*. Циркуляция дальневосточного вида осуществляется с участием первых промежуточных хозяев — моллюсков *Helicorbis sujfunensis* Starobogatov, 1957 (Planorbidae), вторых промежуточных — головастиков *Rana dybowskii* Günther, 1876 и окончательных — крыс *Rattus norvegicus* Berkenhout, 1769.

Принадлежность трематоды виду *N. seoulense* подтверждают и молекулярные данные. Нуклеотидные последовательности для митохондриального маркера *cox1*, полученные нами от экспериментально выращенных половозрелых червей, идентичны последовательностям для корейских *N. seoulense* из базы данных NCBI.

Кроме того, для *N. seoulense* нами секвенированы нуклеотидные последовательности фрагмента гена 28S рРНК и участка ITS2 рДНК. На филогенетической реконструкции, построенной с использованием маркера 28S, дальневосточная *N. seoulense* кластеризуется с американским видом *Neodiplostomum americanum* Chandler et al., 1947, нуклеотидные последовательности этих видов идентичны. Однако сравнение морфометрических характеристик половозрелой стадии трематод *N. seoulense* и *N. americanum* показало наличие между ними существенных различий. При этом принадлежность червей разным видам подтверждается также паразитированием в окончательных хозяевах из разных классов животных. Все имеющиеся случаи регистрации *N. americanum* связаны с хищными птицами [Woodyard et al., 2017], трематода же в нашем материале развивается через млекопитающих. Наши попытки инфицировать птиц не дали положительного результата.

Также подтверждением того, что найденный нами червь не является видом *N. americanum*, служит филогенетическая реконструкция, построенная на основе данных по участку ITS2 рДНК. На реконструкции, полученной по этому маркеру, *N. seoulense* находится в разных с *N. americanum* кладах, а генетические дистанции между ними превышают диапазон дистанций между другими родами семейства Diplostomidae Poirier, 1886. Выделение *N. americanum* в отдельную кладу на реконструкции, построенной с применением ITS2, может, по нашему мнению, свидетельствовать о принадлежности этого образца к другому роду Diplostomidae, тогда как в пользу того, что наши образы являются представителями рода *Neodiplostomum*, говорит их кластеризация с типовым видом этого рода на реконструкции по маркеру *cox1*. Тем не менее к полученным данным по ITS2 следует относиться осторожно, поскольку большинство ветвей на полученном дереве имели неразрешённую топологию.

Что касается идентичности полученных нами нуклеотидных последовательностей гена 28S рРНК для *N. seoulense* и последовательностей *N. americanum* из базы данных NCBI, мы предполагаем, что это может быть связано с консервативностью маркера и более низкой скоростью накопления мутаций, по сравнению с другими участками ядерной и митохондриальной ДНК. Идентичность последовательностей гена 28S рРНК обычно выявляется в том случае, если изучаемые виды являются криптическими. Однако данные, полученные по ITS2, противоречат этому заключению. Разрешение вопроса о таксономическом статусе представителей *Neodiplostomum* с разных континентов требует получения дополнительных молекулярных данных для *N. americanum*, в частности по митохондриальному маркеру, которые желательно предоставить в комплексном исследовании, включающем морфологическое описание.

Заражённость моллюсков *Viviparus viviparus* трематодами рода *Leucochloridiomorpha* в водоёмах Санкт-Петербурга

Исакова Н. П., Виноградова А. А.

Российский государственный педагогический университет имени А. И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

i_np@mail.ru

Санкт-Петербург — мегаполис, находящийся в сложных климатических условиях. Водоёмы города испытывают высокую рекреационную нагрузку. В связи с этим встают вопросы оценки состояния водных экосистем. Особый интерес представляют изменения паразитофауны гидробионтов. В рамках изучения трематодофауны моллюсков *Viviparus viviparus* в 2016–2019 гг. были обследованы водоёмы в нескольких районах г. Санкт-Петербурга — Выборгском (Суздальские озёра), Калининском (пруд в сквере на ул. Ольги Форш и Муринский ручей), Петроградском (река Чухонка), Невском (пруд в парке Есенина), Фрунзенском (пруды парка Героев Пожарных).

В результате вскрытий были обнаружены неинцистированные метацеркарии двух видов рода *Leucochloridiomorpha* — *L. lutea* и *L. constantiae*. Интенсивность инвазии сильно различалась: от 2–10 особей в Верхнем Суздальском озере до 100 и более в прудах сквера на ул. Ольги Форш и в парке Есенина. Заражены были только самцы лужанок. Локализовались личинки под раковиной и в протоках мужской половой системы.

Экстенсивность инвазии нарастала в течение лета. Минимальное её значение зарегистрировано весной в Верхнем Суздальском озере: заражено было 16 % самцов. Максимальные значения экстенсивности инвазии зарегистрированы в середине лета и осенью в пруду парка Есенина: все самцы содержали метацеркарий *Leucochloridiomorpha*.

В большинстве водоёмов г. Санкт-Петербурга метацеркарии были определены как *L. lutea*. Только в реке Чухонка, в Верхнем Суздальском озере и в пруду парка Героев Пожарных нами были встречены личинки *L. constantiae*, причём во втором из указанных водоёмов отмечены оба вида.

Для уточнения определения был поставлен эксперимент по заражению дефинитивного хозяина. Для этого в инкубаторе были выращены утята, которым скармливали по 30 метацеркарий или фрагмент ткани моллюска с личинками. В 2018 г. из 1 птенца удалось получить 2 половозрелые мариты *L. lutea*. В 2019 г. заразилось 3 из 13 утят. Были также получены мариты *L. lutea*. Вырастить марит *L. constantiae* не удалось: утята не заразились метацеркариями этого вида.

В 2018–2019 гг. были найдены *V. viviparus*, эмитирующие церкарий *L. lutea*. Экстенсивность инвазии не превышала 4 % (максимальная заражённость наблюдалась в пруду парка Есенина). Заражены были как самцы, так самки лужанок. Первоначальное определение вида церкарий базировалось на видовой принадлежности метацеркарий: в данных водоёмах были зарегистрированы только *L. lutea*. С целью проверки произвели заражение молоди *V. viviparus*, выращенной в лаборатории, а также крупных лужанок, свободных от инвазии, которые были собраны за пределами г. Санкт-Петербурга. Удалось получить молодых метацеркарий, которые напоминали *L. lutea* и отличались от *L. constantiae*.

К истории изучения фауны паразитов рыб Баренцева моря

Карасев А. Б.

Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» имени Н. М. Книповича), Мурманск, Россия

paralab@pinro.ru

С точки зрения физико-географического районирования Баренцево море относят к шельфовым морям Северного Ледовитого океана, с чётко обозначенными границами в соответствии с официальным Пособием [Границы океанов..., 2020]. Для целостного восприятия экосистемы данного водного бассейна границы эти весьма условны, поскольку ареалы многих гидробионтов, в том числе основных промысловых видов рыб, в них не укладываются. Поэтому, определяя акваторию для обзора ихтиопаразитологических исследований, мы рассматриваем Баренцево море в границах Большой морской экосистемы [NOAA, <http://www.lme.noaa.gov>; Петров, 2009].

История изучения фауны паразитов рыб данной акватории берет своё начало с конца XIX в. и характеризуется несколькими этапами.

К наиболее ранним сообщениям следует отнести указание Р. Коллетта [Collett, 1880] на находки паразитических копепод у сайки и европейского липариса в прибрежных водах арх. Шпицберген, где работала Норвежская североатлантическая экспедиция 1876–1878 гг. Специальные паразитологические сборы от рыб полярной акватории были выполнены Шведской зоологической экспедицией в 1900 г. Описания паразитов даны в фундаментальной сводке Fauna Arctica. Также к наиболее ранним сведениям о паразитах рыб, преимущественно сёмги Кольского залива и прилегающих губ, следует отнести данные, содержащиеся в опубликованных отчётах Мурманской научно-промысловой экспедиции 1898–1908 гг. Российская и Шведская академии наук предприняли две совместных экспедиции на арх. Шпицберген в 1899–1902 гг. Сведения о паразитах рыб (в основном гельминтов) опубликованы в изданиях Императорской академии наук [Linstow, 1901, 1903].

В начале XX в. в работах С. В. Аверинцева [1908] и М. Ауэрбаха [Auerbach, 1912] появились первые заметки о паразитических простейших — микроспоридиях — баренцевоморских рыб (прибрежье Мурмана и Норвегии).

В 1920-х гг. паразиты рыб Баренцева моря изучались по материалам 6, 15 и 23-й Союзных гельминтологических экспедиций. Результаты обработки собранных материалов отражены в публикациях Э. М. Ляймана и М. М. Боровковой [1926а, б], Н. В. Савиной [1927], И. М. Исайчикова [1928, 1933].

В последующие годы исследования по паразитам баренцевоморских рыб носили эпизодический характер. В 1936 г. Институт зоологии и биологии Академии наук УССР организовал зоологическую экспедицию в Баренцево море (А. П. Маркевич). Норвежский исследователь А. Бринкманн провёл многолетние исследования фауны моногеней и трематод рыб в обширной акватории прибрежья Скандинавии. Материалы полевых сборов в районе Лофотенских островов 1940 г., а также результаты обработки коллекций из музеев г. Берген и г. Тромсё вошли в обобщающую монографию по трематодам норвежских вод [Brinkmann, 1952, 1957] и значительно расширили представления о паразитофауне рыб северо-западной акватории моря.

Особого внимания заслуживают паразитологические исследования рыб Баренцева моря, проведённые в 1949–1952 гг. Ю. И. Полянским. В основу его монографии [Полянский, 1955] легли результаты масштабных исследований паразитов рыб, выполнявшихся в прилегающей к восточ-

ному мурманскому берегу акватории, частично в центральных районах моря, а также у Лофотенских островов. В итоге проведённого критического анализа с учётом известных к тому времени литературных данных определён видовой состав фауны паразитов 46 видов рыб Баренцева моря — 164 вида. Дана экологическая характеристика паразитофауны и намечено четыре экологических комплекса, а также установлена принадлежность паразитов к шести зоогеографическим группировкам. Этот богатейший паразитологический материал позволил Ю. И. Полянскому в последующих работах [Полянский, 1957, 1958а, б] сформулировать основные положения экологии и зоогеографии морских паразитов, что во многом определило дальнейшее развитие морских паразитологических исследований.

Из фаунистических работ последующего периода следует отметить наиболее крупные исследования, посвящённые конкретным группам паразитов: паразитическим инфузориям — Г. А. Штейн [1961, 1964, 1973, 1981]; моногенейм — Б. Е. Быховский и Ю. И. Полянский [1953], Г. Мальмберг [Malmberg, 1970]; трематодам — А. Бринкманн [Brinkmann, 1952, 1957]; паразитическим нематодам — Б. Берланд [Berland, 1961]; паразитическим веслоногим — А. П. Маркевич [1956]; рыбьим пиявкам — В. М. Эпштейн [1961, 1967а, б ; 1968].

Планомерные эколого-паразитологические исследования ихтиофауны Северо-Европейского бассейна были начаты в 1970-е гг. в лаборатории паразитологии рыб ПИНРО, сотрудники которого до настоящего времени проводят основной сбор материала в промысловых районах по всей акватории моря. Полученные данные, наряду с публикациями других авторов, расширили представление о фауне и распространении паразитов баренцевоморских рыб. С учётом этих новых сведений опубликованный сотрудниками лаборатории аннотированный список паразитов 65 видов морских и проходных рыб Баренцева моря насчитывает 189 видов [Зубченко, Карасев, 1986 ; Митенев, Шульман, 1986].

Необходимо отметить ряд работ, привнёсших принципиально новые сведения о фауне и распространении паразитов в пределах изучаемой акватории. Это относится в первую очередь к изучению паразитов наваги и сайки, многие годы не попадавших в поле зрения исследователей-паразитологов. С. Ф. Тимофеева и Е. Ф. Марасаева [1987] впервые изучили паразитофауну наваги баренцевоморского стада. А. Б. Карасев [1988а, б] впервые обобщил данные о паразитах сайки в обширной акватории Полярного бассейна. Впервые изучена паразитофауна омуля, корюшки и чёшско-печорской сельди и дополнены сведения о паразитах наваги и сайки в Печорском море [Карасев, Митенев, 1993]. Серия публикаций Я. Вербицкой [Wierzbicka, 1990, 1991, 1992а, б] посвящена углублённому изучению паразитов синекорого палтуса в промысловых северо-западных районах моря. Проведены исследования паразитофауны трески и 4 видов камбаловых рыб в прибрежье северной Норвегии [Hemmingsen, Lombardo, MacKenzie, 1991 ; Hemmingsen, Lile, Halvorsen, 1992 ; Lile, Halvorsen, Hemmingsen, 1994 ; Hemmingsen, Halvorsen, MacKenzie, 2000]. Заслуживают внимания исследования паразитов трёх видов морских окуней рода *Sebastes*, проведённые Ю. И. Бакаем [2021]. В ходе комплексных экспедиций ПИНРО по изучению оз. Могильное в 1998–2000 гг. А. Б. Карасевым, С. В. Пономаревым и Б. С. Шульманом [2002, 2019] получены новые данные по паразитам кильдинской трески и впервые изучена трёхиглая колюшка реликтового водоёма.

Почти 20 лет назад опубликован «Каталог паразитов рыб Баренцева моря» [Карасев, 2003]. У 87 видов морских, солоноватоводных и проходных рыб учтены 254 вида паразитов, относящихся к 10 типам. Каталог содержит алфавитные указатели названий паразитов и их хозяев. В отдельном разделе дана библиография по вопросам паразитологии баренцевоморских рыб за более чем столетний период.

Как показывает время, научный интерес к данной категории организмов не ослабевает, поскольку паразиты рыб являются неотъемлемыми компонентами экосистемы и во многом чутко реагируют на происходящие изменения.

На традиционной ежегодной Российско-Норвежской встрече учёных, прошедшей в марте 2021 г., было решено инициировать совместные паразитологические исследования рыб Баренцева моря в пределах обозначенной Большой морской экосистемы.

Афелиды — паразитоиды или хищники?

Карпов С. А.^{1,2}

¹Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

sakarpov4@gmail.com

Афелиды обычно считаются паразитоидами водорослей, похожими внешне на паразитические хитридиомицеты. Микологи даже склонны относить их к грибам, игнорируя тот факт, что афелиды — фаготрофы, а не сапротрофы, как все грибы. По данным мультигенной филогении, афелиды образуют сестринскую кладу грибам, поэтому у этих двух групп общий предок. Кроме того, афелиды близкородственны розеллидам и микроспоридиям, поэтому по праву считаются ключевой группой в филогении Holomycota.

Несмотря на большой интерес к афелидам и немалые усилия нескольких лабораторий мира в изучении их разнообразия, наши знания о них всё ещё весьма ограничены: мы не знаем всех стадий жизненного цикла афелид; их биологические особенности во многом загадочны; трудно даже сказать, действительно они являются паразитоидами или это хищные амёбоидные протисты, питающиеся водорослями. С одной стороны, их жизненный цикл насчитывает до 6 стадий, показана их высокая специфичность к хозяину, с другой — жизненный цикл, по сути, сводится к тому, что амёба проникает внутрь клетки водоросли и выедает её содержимое. Их геном не является редуцированным, как это свойственно их близкородственным паразитоидам розеллидам и паразитам микроспоридиям, а обеспечивает в клетке те же метаболические пути, которые свойственны свободноживущим хитридиомицетам. Пристальное внимание к трофической стадии афелид выявляет интересные факты: после выедания цитоплазмы хозяина амёба становится плазмодием, который окружён снаружи ещё одной мембраной. Анализ электронограмм показал, что молодой трофонт довольно рано попадает внутрь клетки хозяина и находится в его внутренней вакуоли, а не между клеточной стенкой и поверхностной мембраной хозяина, как считалось ранее. Более того, уже на этой ранней стадии мембрана паразитофорной вакуоли хозяина и поверхностная мембрана паразита, судя по толщине, являются внутриклеточными, а не поверхностными мембранами. Другими словами, в процессе заражения клетки водоросли происходит трансформация поверхностной мембраны паразитоида и участка поверхностной мембраны хозяина, ставшей мембраной паразитофорной вакуоли после «заглатывания» афелиды. Эти сложные процессы похожи на те, что происходят при внедрении настоящих паразитов, например микроспоридий или кокцидий, в клетки многоклеточных животных. Как видно, взаимодействие афелиды и водоросли трудно свести к отношениям хищника и жертвы, при которых такие адаптации, очевидно, не происходят. Вероятно, дальнейшие исследования будут посвящены сравнению геномов афелид и нуклеарий, которые также питаются водорослями, но не считаются паразитоидами.

Исследование поддержано РФФ, грант № 21-74-20089.

Разнообразие аэрофитных микроводорослей Национального парка Кат Тьен (Южный Вьетнам)

**Кезля Е. М.¹, Гусев Е. С.¹, Мартыненко Н. А.¹, Подунай Ю. А.², Шкурина Н. А.¹,
Капустин Д. А.¹, Мальцев Е. И.¹, Куликовский М. С.¹**

¹Институт физиологии растений имени К. А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

²Карадагская научная станция имени Т. И. Вяземского — природный заповедник РАН —
филиал ФИЦ ИнБЮМ, Феодосия, Россия

melosira@mail.ru

Национальный парк Кат Тьен расположен на юге Вьетнама, в 150 км к северо-востоку от г. Хошимин. Парк был организован в 1978 г. и состоит из 3 участков общей площадью 73,878 га. Регион относится к биоклиматическому типу муссонного тропического климата с летними дождями. Относительная влажность воздуха обычно более 70 %, при среднегодовой температуре около +26 °С. С декабря по март осадков почти не бывает. Юго-западные муссоны длятся 8 месяцев, с апреля по ноябрь наблюдается выпадение большей части осадков. Пик влажного сезона приходится на август — сентябрь, в этот период выпадает до 400–450 мм осадков в месяц, что приводит к затоплению значительной части парка. Основную часть территории занимают леса, которые относятся к типу муссонных, полулистопадных и характеризуются высоким биологическим разнообразием и высокой продуктивностью, уступая в этом отношении только влажным тропическим лесам. Изучение аэрофитных водорослей на этой территории проводится впервые.

Экспедиции с целью изучения аэрофитных микроводорослей были проведены в рамках темы Эколан 1.2 Совместного Российско-Вьетнамского тропического научно-исследовательского и технологического центра в июне 2019 г. и апреле 2020 г. Материалом для исследования послужили соскобы с коры деревьев и искусственных субстратов и образцы поверхностного слоя почвы. Обработка собранных проб была проведена в лаборатории молекулярной систематики водных растений ИФР РАН. Для изучения аэрофитных водорослей часть природного материала переносили в чашки Петри, заливали питательной средой WC и выдерживали 2–4 недели в климатической камере при температуре +20... +22 °С и искусственном освещении с циклом 14 ч освещения и 10 ч темноты. Далее образцы просматривали под инвертированным микроскопом Zeiss Axio Vert.A1, обнаруженные клетки водорослей изолировали микропипеткой для получения альгологически чистых культур. Идентификацию таксонов проводили с применением молекулярно-генетических методов, при составлении таксономического списка использовали базу данных AlgaBase.

В результате обработки материала было выделено 542 альгологически чистых штамма. Молекулярные последовательности по маркерным регионам получены для 404 штаммов. На данном этапе исследований на основании молекулярных данных и изучения морфологии выявлен 81 таксон водорослей из 6 классов. Подавляющее большинство обнаруженных таксонов представляют коккоидные зелёные водоросли классов Trebouxiophyceae (36 видов) и Chlorophyceae (26); классы Ulvophyceae, Klebsormidiophyceae, Eustigmatophyceae и Xanthophyceae включают не более 5 видов.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда (проект № 20-14-00211).

Гидрологические исследования на Северном Кавказе (XVIII–XIX вв.)

Керимов И. А.¹, Гагаева З. Ш.²

¹Институт истории естествознания и техники имени С. И. Вавилова РАН, Москва, Россия

²Чеченский государственный университет, Грозный, Россия

ibragim_kerimov@mail.ru

История гидрологических исследований на Северном Кавказе связана в первую очередь с изучением минеральных источников. До XVIII в. Северный Кавказ представлял собой малоизвестную в природном и этнографическом отношении часть Кавказа. Предпосылками для изучения Кавказского региона стали усиление борьбы за Кавказ между Россией, Персией и Турцией и рост интереса иностранцев к природным богатствам и этнографии этого богатейшего региона. Отметим, что даже картографические материалы 1-ой половины XVIII в. давали очень скудные представления о регионе (Генеральные карты Российской империи, 1734, 1745). Стратегические идеи Петра I, связанные с расширением южных владений Российской империи и её влияния на западном побережье Каспийского моря для укрепления позиций в Астрахани и налаживания торговых отношений с Востоком через судоходство на Каспийском море, реформы Петра I, связанные с задачами всестороннего описания владений Империи, и создание Академии наук России Указом Петра Великого 24.01.1724 были одними из предпосылок для проведения исследований на Северном Кавказе, в том числе изучения минеральных источников. Особое внимание Петра Великого привлекали прикаспийские территории, которые обладали «...огромными и разнообразными природными богатствами, в основном достаточными для удовлетворения главнейших нужд промышленности в сырьевых материалах». Стратегическое значение этих территорий отмечалось ещё во времена Иоанна Грозного, когда в 1567 г. по левому берегу Терека, ниже устья р. Сунжа была построена крепость, защищавшая Северный Кавказ с юга [Бентковский, 1886, с. 5].

В исследовании природы и природных богатств Северного Кавказа большая роль принадлежит изучению минеральных источников в первой половине XVIII в. С этим периодом связаны имена таких известных исследователей, как Г. Шобер (1670–1739), И. Лерх (1703–1780) и др. Г. Шобер, ставший лейб-медиком Петра I, в 1717 г. был отправлен для обследования минеральных источников в принадлежавших России предкавказских территориях и собрал ценные сведения по естественным богатствам Северного Кавказа, а также по ботанике, этнографии, географии и отчасти истории [Лебедев, Есаков, 1971]. Им были обследованы горячие минеральные источники в уезде г. Терки (недалеко от нынешнего Горячеводска), получившие название «Теплицы Святого Петра». Активное участие Г. Шобера и И. Лерха в познании Пятигорья и его минеральных источников, а также прикаспийских областей Кавказа заложило основы для развития в дальнейшем исследований этих территорий в научных и бальнеологических целях [Полиевктов, 1935]. Несомненно, большой вклад в изучение вод Северного Кавказа был внесён участниками известных академических экспедиций второй половины XVIII в. (И. А. Гюльденштедт, П. С. Паллас, С. Г. Гмелин, И. П. Фальк). В ходе своих путешествий они занимались исследованием вод, почв, состояния земледелия и пр. Так, И. А. Гюльденштедт в ходе своих путешествий по Северному Кавказу собрал немало сведений о водах. Эти материалы легли в основу планов и карт (например, План минеральных вод, расположенных на берегах рек Терек и Сунджа, а также нефтяных источников) [СПбФ АРАН, ф. 3, оп. 33, д. 5].

Экспедиционная деятельность нашла свое продолжение в XIX в., хотя это были уже другие масштабы исследований. С вопросами гидрологии в той или иной степени связаны исследования К. М. Бэра — выдающегося учёного, изучавшего вопросы рыболовства в России. Он руководствовался идеей А. Гумбольдта, выражавшейся с тем, что в природе всё связано и взаимно обусловлено, ничто не исчезает и не уничтожается бесследно. Задачи рыбной промышленности он рассматривал в свете общебиологических проблем [Райков, 2008]. Каспийская экспедиция К. М. Бэра заложила основы комплексного подхода к изучению территории, когда исследование проводится не только с ихтиологических и экономических, но и с эколого-биологических позиций [Райков, 2008]. С изучением минеральных источников связано имя А. П. Нелюбина, профессора Медико-хирургической академии, который в 1823 г. посетил Железноводск, «...открыл до семи новых источников по направлению от запада к востоку, обозначил их... нумерами» [Богословский, 1881]. Особый интерес представляют исследования выдающегося русского естествоиспытателя, профессора Санкт-Петербургского университета А. А. Иностранцева, который изучал во второй половине XIX в. минеральные воды на Северном Кавказе. А. А. Иностранцев обследовал степи, прилегающие к западной части северного склона Главного Кавказского хребта, с точки зрения их водоснабжения, в частности бурения артезианских скважин. В связи с тем, что водоносные породы находились на достаточной глубине (1729 м), А. А. Иностранцевым было сделано заключение о нецелесообразности бурения артезианских скважин. Оно было признано нерентабельным, предстояло искать другие пути решения проблемы водоснабжения в исследуемом районе. Были найдены оптимальные возможности разрешения проблемы водоснабжения — путём создания системы водоканалов [Соколов, 1981].

В настоящем сообщении авторы осветили лишь некоторые страницы изучения вопросов, связанных с гидрологическими исследованиями Северного Кавказа.

Исторические находки липовой моли-пестрянки *Phyllonorycter issikii* (Lepidoptera: Gracillariidae) на островах и полуостровах в заливе Петра Великого Японского моря

Кириченко Н. И.^{1,2}

¹Институт леса имени В. Н. Сукачёва СО РАН — обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия

²Сибирский федеральный университет, Институт экологии и географии, Красноярск, Россия

nkirichenko@yahoo.com

Минирующая липовая моль-пестрянка *Phyllonorycter issikii* (Kumata) — восточноазиатский вид из семейства грацилляриид (Lepidoptera: Gracillariidae), представляющий любопытнейший случай инвазии, которая произошла стремительно и охватила обширную территорию Палеарктики [Kirichenko et al., 2017]. Вид вторгся в Сибирь, европейскую часть России и многие страны зарубежной Европы. Сегодня он встречается практически повсеместно, где произрастает его кормовое растение — липа, *Tilia* (Malvaceae). Гусеницы моли выедают хлорофиллоносную ткань листьев, образуя беловатые пятновидные мины, которые впоследствии темнеют; повреждённые листья опадают раньше срока. Насекомое способно к вспышкам массового размножения, вредит липам как в городах, так и в природных экосистемах в регионах вторжения.

Вид описан по образцам с острова Хоккайдо (Япония) в 1963 г.; несколькими годами позднее был точно выявлен на территории Дальнего Востока России (на юге Приморского края) и в Республике Корея; в 2015 г. впервые зарегистрирован нами в Китае. Все эти регионы и страны считаются первичным ареалом вида.

До недавнего времени оставалось неизвестным, насколько широко вредитель встречается в своём первичном ареале. Так, на территории российского Дальнего Востока редкие находки вида касались исключительно материковой части. Для уточнения истории инвазии вида в Палеарктике необходимы подробные знания о границах его первичного ареала, включая островные территории, а также представление о генетической вариативности разных географических популяций *Ph. issikii*.

Для получения данных о местонахождении липовой моли-пестрянки не только на материковой, но и на островных территориях, где могут сохраниться изолированные популяции вида со специфическим генетическим набором, мы обратились к архивным материалам, в частности историческим гербарным коллекциям. Несмотря на то, что в гербарные коллекции принято помещать целые образцы растений, следы жизнедеятельности минирующих насекомых — мины (полости в тканях листьев, которые зрительно не нарушают целостности листовой пластинки) — могут оставаться незамеченными при сборах образцов в гербарий. Вместе с тем такие образцы представляют большой интерес для уточнения географии минирующих видов. Особи таких насекомых могут быть обнаружены в минах на гербаризированных листьях по прошествии многих лет и служить основой для таксономических, филогенетических, филогеографических исследований, а также для решения вопросов инвазионной экологии.

В работу были вовлечены гербарные образцы липы, которые собирали на протяжении 155 лет на полуостровах и островах юга Приморского края, хранящиеся в гербарных депозитариях: Национальном музее естественной истории (г. Париж, Франция), Ботаническом институте имени В. Л. Комарова РАН (г. Санкт-Петербург), Королевских ботанических садах Кью (г. Лондон, Великобрита-

ния) — крупнейших гербариях мира, а также в Главном ботаническом саду имени Н. В. Цицина РАН (г. Москва), Ботаническом саду-институте Дальневосточного отделения РАН и Федеральном научном центре биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН (г. Владивосток). Исследования в депозитариях выполнялись в 2017–2019 гг. В работе под гербарным образцом понимается хранящийся на одном гербарном листе биологический материал (листья лип, как правило с веточкой).

Гербарные образцы осматривали на предмет наличия листовых мин, характерных для *Ph. issikii*. Данные с этикеток при гербарных листах вносили в базу данных: вид липы, локалитет, дату сбора гербарных образцов, имена сборщиков и т. п. По согласованию с кураторами гербарных коллекций мины на засушенных листьях лип вскрывали для сбора гусениц и куколок. Видовую принадлежность устанавливали по морфологии мины, при обнаружении куколки или её экзувия — по строению кремастера (последнего брюшного сегмента куколки), несущего видоспецифические признаки. Образцы насекомых этикетировали и помещали индивидуально в стерильные, герметично закрывающиеся пробирки (Ахуген, США) для дальнейших молекулярно-генетических исследований.

Среди более чем трёх тысяч исследованных гербарных образцов лип из Восточной Азии 25 гербарных образцов, собранных в период с 1860 по 2005 гг. на полуостровах и островах Приморского края — в заливе Петра Великого Японского моря, несли характерные листовые мины липовой моли-пестрянки (полученные результаты частично отражены в статье [Kirichenko et al., 2019]). Двенадцать гербарных образцов с минами моли были собраны на двух полуостровах: 11 образцов происходили с полуострова Муравьёва-Амурского (сборы в прибрежной зоне Владивостока, с наиболее ранними гербарными материалами с минами моли, датированными 1860 г.), а 1 гербарный образец с повреждениями гусениц моли был собран в 2003 г. на полуострове Краббе. Мины липовой моли-пестрянки были также обнаружены на гербарных образцах лип, собранных в 1973–1998 гг. на островах: Русский, Попова и Аскольд. Гербарные образцы были собраны с трёх восточноазиатских видов лип. В сборах преобладали образцы липы амурской (*Tilia amurensis*), широко встречающейся в природе на юге Приморского края; несколько образцов были получены с липы маньчжурской (*T. mandshurica*) и липы Таке (*T. taquetii*) (примечание: последний вид некоторые исследователи считают младшими синонимом *T. amurensis*).

На гербарных образцах с островов Попова и Аскольд (годы сборов гербария — 1973–1995) отмечена низкая встречаемость мин липовой моли-пестрянки — не более одной мины на гербарный образец (с учётом того, что в гербарных образцах насчитывалось от 16 до 28 листьев лип). На острове Русский отдельные гербарные образцы, собранные в 1997 и 1998 гг., несли до двух мин на лист липы, при этом одиночными минами в среднем было покрыто (37 ± 9) % листьев гербарных образцов (с учётом того, что в гербарном образце насчитывалось в среднем (17 ± 4) листьев). На полуострове Муравьёва-Амурского встречаемость мин в разные годы прошлого столетия была низкой и схожей с таковой, отмеченной для образцов с острова Русский. Вместе с тем в гербарном образце, собранном в пригороде Владивостока в 1992 г., все листья содержали мины (в ряде случаев — до 5 мин на лист), что могло свидетельствовать об отнюдь не редкой встречаемости *Ph. issikii* в указанном локалитете в данный год.

Полученные данные свидетельствуют об исторических находках липовой моли-пестрянки на островах и полуостровах в заливе Петра Великого Японского моря и не исключают присутствие вида в этих же локалитетах (и прочих близлежащих островах) и в современное время. Образцы гусениц и куколок, собранные из мин на листьях исторических гербариев, послужат важным материалом для проведения молекулярно-генетических исследований с целью выявления исто-

рических гаплотипов и уточнения истории инвазии вида на запад — работы, которая ведётся нами в настоящее время.

Исследования поддержаны грантом РФФИ (№ 19-04-01029 А) «Тайны вековых гербарных коллекций: ретроспективный молекулярно-генетический анализ истории инвазии и поиск агентов биоконтроля вредоносной липовой моли-пестрянки в Палеарктике».

Условия формирования видового разнообразия ихтиофауны в эстуариях Камчатки

Коваль М. В.¹, Горин С. Л.²

¹Камчатский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («КамчатНИРО»), Петропавловск-Камчатский, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), Москва,
Россия

koval.m.v@kamniro.ru

Ихтиологические сообщества — это важнейшие компоненты эстуарных экосистем, которые являются неотъемлемой частью их биологического разнообразия, трофических сетей и общей продуктивности, а рыбные запасы и рыболовство в эстуариях всегда имели ключевое значение для населения прибрежных районов как источник доступной пищи или важный экономический ресурс [Day et al., 2013].

На основании результатов изучения эстуарной ихтиофауны в различных регионах мира было показано, что её состав может включать рыб различных сообществ (пресноводных, проходных, морских, собственно эстуарных и т. п.), а его формирование определяется главным образом экологическими причинами: спецификой среды обитания в этих водных объектах, индивидуальными адаптациями каждого вида к этим условиям, а также их внутривидовыми жизненными стратегиями [Able, Fahay, 1998, 2010 ; Elliott, Hemingway, 2002 ; Potter et al., 2015 ; Whitfield, 1998, 2019 ; и др.]. Поскольку эстуарии — это очень динамичные и зачастую нестабильные природные системы, находящиеся под повышенной антропогенной нагрузкой, основная задача эстуарной экологии рыб заключается в оценке ключевых факторов, которые могут влиять на формирование и условия существования рыбных сообществ в этих водных объектах [Vasconcelos et al., 2011].

Материалом для настоящей работы послужили результаты многолетнего комплексного изучения эстуариев Камчатского края (п-ов Камчатка и Корьякия), которые мы проводим начиная с 2002 г. [Горин, Коваль, 2015]. За 20-летний период полевыми работами были охвачены более 15 водных объектов различных гидролого-морфологических типов, расположенных на разных участках побережья региона [Коваль, Горин, 2016, 2020]. В качестве дополнительного источника информации использованы все имеющиеся сейчас литературные и архивные данные о видовом составе ихтиофауны в различных эстуариях Камчатки (всего 32 водных объекта). Основная цель, которую мы поставили в рамках настоящего исследования, — оценка видового разнообразия ихтиофауны и выяснение условий её формирования в эстуариях Камчатки.

В результате было установлено, что к эстуарной ихтиофауне Камчатки можно отнести 1 вид круглоротых и 52 вида рыб из 40 родов и 20 семейств. Все эти виды являются в той или иной степени эвригалинными и поэтому могут использовать отдельные камчатские эстуарии в качестве местообитаний на различных этапах жизненного цикла. Основу биологического разнообразия ихтиофауны эстуариев Камчатки формируют представители морского комплекса (не менее 25 видов). Значительную роль в составе рыбных сообществ играют также проходные виды (1 вид круглоротых и 14 видов рыб). Минимальный вклад в ихтиофауну вносят пресноводные жилые рыбы (12 видов), которые встречаются только в некоторых эстуариях Камчатки.

Сравнительный анализ степени сходства видового состава ихтиофауны в отдельных эстуариях показал, что на Западной Камчатке (побережье Охотского моря) наиболее близки по этому показателю макроприливные воронкообразные (реки Утхолок и Хайрюзова — Белоголовая), а так-

же мезоприливные лагунно-русловые (реки Ича, Крутогорова и Коль) эстуарии. Высокая степень сходства рыбного населения в этих эстуариях определяется главным образом большим числом одних и тех же видов проходных рыб. Несколько отличается от ихтиофауны других водных объектов ихтиофауна в небольших лагунно-лиманных эстуариях (реки Ковран и Озёрная), а также в крупном лагунно-русовом эстуарии, расположенном в устье реки Большая. В первом случае такие различия обусловлены отсутствием в составе ихтиофауны мелководных лагунных эстуариев некоторых прибрежморских рыб, а во втором — значительно большим видовым разнообразием рыбного населения в крупном лагунно-русовом эстуарии реки Большая. Максимальным своеобразием ихтиофауны на Западной Камчатке характеризуется крупнейший гиперприливной эстуарий Камчатки, расположенный в устьях рек Пенжина и Таловка, главным образом за счёт пресноводных жилых рыб, которые обитают в бассейне этих рек [Коваль и др., 2015, 2018].

Для мезоприливных эстуариев Восточной Камчатки (побережье Тихого океана и Берингова моря) характерен существенно больший разброс значений этого показателя. В данном районе высокое сходство состава ихтиофауны среди изученных к настоящему моменту эстуариев отмечено между небольшими водными объектами — фьордовым эстуарием бухты Вилучинская и лагунно-русовым эстуарием реки Семлячик, а также между крупнейшим морским эстуарием региона — Авачинской губой — и группой эстуариев (главным образом лагунного типа), расположенных в устьях рек Северо-Восточной Камчатки (23 эстуария на побережье и 3 на острове Карагинский). В первом случае высокое сходство связано с низким видовым разнообразием ихтиофауны в указанных эстуариях, а во втором — с большим количеством прибрежных рыб, которые встречаются в этих водных объектах. Состав сообщества рыб в лагунно-русовом эстуарии крупнейшей реки региона — реки Камчатка — в целом более близок к таковому для бухты Вилучинская и реки Семлячик.

В целом установлено, что видовое богатство ихтиофауны эстуариев, расположенных на восточном побережье Камчатки, значительно выше, чем на западном. Например, в эстуариях этого района (с учётом всех видов морских рыб, указанных для Авачинской губы) всего было зарегистрировано 83 вида, тогда как на Западной Камчатке состав ихтиофауны включал лишь 45 видов, причём минимум 10 из них были представлены редкими для Камчатского края пресноводными жилыми рыбами, которые обитают только в реках, расположенных на крайнем северо-западе этого района. Данный факт связан, очевидно, с тем, что побережье Восточной Камчатки характеризуется большим разнообразием физико-географических условий прибрежной зоны, и, соответственно, типологическим разнообразием эстуариев. Это создаёт большое количество местообитаний и экологических ниш, которые могут быть успешно освоены рыбами различных сообществ (прежде всего морского и прибрежного ихтиокомплексов).

Полученные данные позволили сделать вывод, что наибольшее видовое разнообразие ихтиофауны наблюдается в крупных эстуариях Камчатки, которые в значительной степени открыты со стороны моря и где происходит свободный водообмен с прибрежными морскими участками (например, некоторые морские или русловые эстуарии). Именно поэтому в таких водных объектах создаются благоприятные условия для проникновения и обитания морских видов рыб. С другой стороны, все проходные или некоторые пресноводные эвригаллинные виды, которые воспроизводятся в бассейнах тех же рек, также могут использовать эти же эстуарии в качестве местообитаний на отдельных этапах своего жизненного цикла. В наибольшей степени этот эффект проявляется в эстуариях крупнейших рек региона, которые в значительно большей мере подвержены влиянию пресноводного стока (реки Пенжина, Таловка, Камчатка, Большая). В результате общее количество представителей ихтиофауны, которые встречаются в крупных эстуариях Камчатки, обычно

выше такового небольших объектов, водообмен которых с прибрежной зоной более ограничен (например, эстуарии лагунного типа).

Следует подчеркнуть, что сходные закономерности формирования эстуарной ихтиофауны были отмечены ранее в других регионах мира [Able, Fahay, 1998, 2010 ; Blaber, 2000 ; Elliott, Hemingway, 2002 ; Elliott et al., 2007 ; Nicolas et al., 2010 ; Vasconcelos et al., 2011 ; Whitfield, 1998, 2019 ; и др.].

Гельминты насекомоядных млекопитающих полуострова Крым

Корниенко С. А.

Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, Россия

swetlanak66@mail.ru

Животный мир Крыма хорошо изучен. Он представляет собой уникальный сложный комплекс видов равнинно-степных и горно-лесных ареалов с высоким уровнем изоляции от других географически смежных фаун Кавказа, Балкан и материковой части Восточно-Европейской равнины. Несмотря на длительную историю исследования крымской териофауны, землеройки Крыма остаются одной из наименее изученных групп, особенно в гельминтологическом плане.

На территории полуострова зарегистрировано 5 видов насекомоядных млекопитающих: ёж белогрудый *Erinaceus concolor* Martin, 1838, малая белозубка *Crocidura suaveolens* (Pallas, 1811), белобрюхая белозубка *C. leucodon* (Hermann, 1780), малая бурозубка *Sorex minutus* Linnaeus, 1766 и малая кутора *Neomys anomalus* Cabrera, 1907. В гельминтологическом плане нами было исследовано 2 экз. малой бурозубки, 52 экз. малой и 4 экз. белобрюхой белозубок. У землероек зарегистрировано 7 видов цестод семейства Hymenolepididae и 1 вид семейства Mesocestoididae Fuhrmann, 1907.

У малой бурозубки обнаружены виды:

- 1) *Ditestolepis diaphana* (Cholodkowsky, 1906) Soltys, 1954;
- 2) *Neoskrjabinolepis merkushevae* Kornienko et Binkienė, 2008;
- 3) *Mesocestoides* sp. Vaillant, 1863 (larva);
- 4) *Staphylocystis furcata* (Stieda, 1862) Spassky, 1950;
- 5) *Staphylocystoides stefanskii* (Zarnowsky, 1954) Gulyaev et Kornienko, 1998;

у малой белозубки зарегистрированы:

- 6) *Staphylocystis uncinata* (Stieda, 1862) Spassky, 1950;
- 7) *S. brusatae* Vaucher, 1971;
- 8) *S. tiara* (Dujardin, 1845) Spassky, 1950.

Обе отловленные *S. minutus* были заражены цестодами. Одна из четырёх белобрюхих белозубок и 65 % малых белозубок оказались заражены представителями рода *Staphylocystis*.

Ранее было показано, что фауна мелких млекопитающих Степного Крыма, прежде всего Керченского полуострова, имеет большее сходство с таковой Таманского полуострова [Стахеев и др., 2017], где зарегистрировано пять видов насекомоядных: *C. suaveolens*, *C. leucodon*, *Crocidura gūldenstaedti*, *Sorex satunini* Ognev, 1922 и *S. volnuchini* Ognev, 1922. Общими видами мелких млекопитающих являются лишь два — *C. suaveolens* и *C. leucodon*. На территории Восточно-Европейской равнины зарегистрировано 9 видов землеройковых: *C. suaveolens*, *C. leucodon*, *N. anomalus*, *Neomys fodiens* Pennant, 1771, *S. minutus*, *Sorex araneus* Linnaeus, 1758, *Sorex caecutiens* Laxmann, 1788 и *Sorex alpinus* Schinz, 1837. В остепнённых районах Восточно-Европейской равнины, прилегающих к Крымскому полуострову (Херсонская область), нами была отловлена только малая белозубка.

Изоляция полуострова Крым от материковой части Восточно-Европейской равнины и Таманского полуострова сказалась, скорее всего, и на его териофауне, о чём свидетельствует меньшее количество обнаруженных видов землеройковых в Крыму. Видовое разнообразие цестод крымских землероек значительно ниже, чем таковое для прилегающих территорий. В белозубках Крыма обнаружены 3 вида цестод рода *Staphylocystis*, которые регистрируются на всей территории Восточно-Европейской равнины. В то же время в бурозубках рода *Sorex* отмечено только пять видов цестод, что составляет меньше трети видового разнообразия цестод европейских сорицид, которое насчитывает в настоящее время 18 видов [Binkienė et al., 2011 ; Binkienė, Kontrimavičius, 2012].

Исследование разнообразия гидробионтов прибрежной зоны озера Байкал в условиях изменяющегося климата и антропогенного воздействия

Кравцова Л. С.¹, Перетолчина Т. Е.¹, Потемкина Т. Г.¹, Ханаев И. В.¹, Небесных И. А.¹,
Купчинский А. Б.², Тупикин А. Е.³, Кабилов М. Р.³

¹Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

²Байкальский музей ИНЦ СО РАН, Листвянка, Россия

³Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, Новосибирск, Россия

lk@lin.irk.ru

В результате глобального изменения климата температура воздуха в Байкальском регионе увеличилась на 1,2 °С, а в поверхностном слое воды озера Байкал — на 1 °С [Шимараев и др., 2002]; период ледового покрова сократился на 17 дней за 150 лет наблюдений [Shimaraev, Domysheva, 2013]. В 2015 г. в регионе зарегистрированы аномально низкие осадки — 52 % от нормы [Potemkina et al., 2018]. За последние 10 лет возросла антропогенная нагрузка на прибрежную зону Байкала в связи с развитием туризма: в 2008 г. Иркутскую область посетили 539 тыс. чел., а в 2019 г. — более 1,7 млн чел. [Brown et al., 2020]. Несмотря на динамику туристического роста, инфраструктура на берегах Байкала остаётся слаборазвитой.

Цель исследования — оценить современное состояние биоты прибрежной зоны озера Байкал в условиях изменяющегося климата и антропогенного воздействия.

Установлено, что в настоящее время на каменистых грунтах открытых побережий Байкала наблюдается увеличение разнообразия донной флоры. Кроме того, в её составе стали часто встречаться нитчатые водоросли родов *Spirogyra* и *Oedogonium*. В районах активной человеческой деятельности из-за повышенного содержания биогенов отмечено нарушение исторически сформированной вертикальной зональности в пространственном распределении бентосных водорослей, замещение доминирующих по биомассе эндемичных видов на нитчаток с широким ареалом. Водорослевые маты из нитчатых водорослей, найденные на глубинах свыше 3 м в открытом глубоководном заливе Лиственничный, способствовали сокращению численности колоний эндемичных губок [Khanaev et al., 2018], а также моллюсков. Однако водорослевые маты из нитчаток не обнаружены в Посольском соре (полузакрытом песчаной косой заливе), вероятно из-за нехватки биогенов, потребляемых высшей водной растительностью, которая в массе развивается летом. При этом обилие беспозвоночных животных здесь также снизилось по сравнению с таковым начала прошлого века, что связано с изменением гидрологического режима Байкала, колебанием уровня. В Посольском соре в начале маловодных 2000-х гг. отмечено снижение биомассы беспозвоночных животных за счёт сокращения в 2 раза доли моллюсков и олигохет по сравнению с периодом естественного хода уровня Байкала в 30-е гг. Состав фауны исследованных заливов существенно не изменился. Доминирующие виды беспозвоночных животных, зарегистрированные в настоящее время, обитали в заливах и раньше. Современное разнообразие донного населения, определённое с использованием NGS-технологии и ДНК-метабаркодинга, высоко и составляет по показателю Шеннона 3,2 бит в Лиственничном заливе и 2,0 бит в Посольском соре.

Обилие гидробионтов, населяющих донные отложения в заливах, зависит от интенсивности водообмена с открытым Байкалом, колебания уровня, вызывающего переформирование биотопов.

Работа выполнена по проекту Российского фонда фундаментальных исследований № 19-05-00398_а; секвенирование образцов проведено в ЦКП «Геномика» СО РАН (ИХБФМ СО РАН).

Типологическое разнообразие и эколого-географическая характеристика лесного покрова Южной Эвенкии

Кривобоков Л. В., Мухортова Л. В.

Институт леса имени В. Н. Сукачева СО РАН — обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН,
Красноярск, Россия
leo_kr@mail.ru

Выявление биоразнообразия, изучение строения, закономерностей функционирования и динамики растительного покрова имеют решающее значение для разработки стратегии и программ рационального природопользования и охраны природы. Для таёжных территорий Сибири эти задачи особенно актуальны. Основой для их решения может служить классификация растительных сообществ. Синтаксономическое положение таёжных лесов Средней Сибири практически не изучено. Нами рассматривается синтаксономия лесов подзоны средней тайги региона. Цель предлагаемого исследования — выявить фитоценотическое, географическое и экологическое разнообразие лесной растительности Южной Эвенкии, в пределах бассейна реки Подкаменная Тунгуска.

Регион исследований расположен в южной части Среднесибирского плоскогорья, которое представляет собой трапповое плато (базальты), прорезанное в долинах крупных рек выходами карбонатных пород. Рельеф исследуемой территории средне- и низкогорный. Территория исследований находится в границах прерывистой криолитозоны. Климат резко континентальный, умеренно влажный [Средняя Сибирь, 1964]. Классификация лесной растительности района построена с использованием эколого-флористического подхода [Westhoff, Maarel, 1978].

Основные факторы, формирующие экологическое и географическое разнообразие лесной растительности региона, следующие: 1) общее зональное положение; 2) континентальность климата, которая нарастает с запада на восток; 3) высотно-поясное положение фитоценозов; 4) особенности почвообразующих пород; 5) сложная пирологическая ситуация. Антропогенное влияние на растительный покров региона в настоящее время ещё незначительное. Однако всё может быстро измениться в связи с развитием сырьевого добывающего сектора экономики (в основном добыча нефти и газа), а также созданием соответствующей инфраструктуры.

В результате проведённой классификации и сравнительного синтаксономического анализа удалось установить, что все леса относятся к классу *Vaccinio-Piceetea Br.-Bl. in Br.-Bl. et al. 1939* и представлены порядками: 1) *Ledo palustris – Laricetalia gmelinii* Ermakov in Ermakov et Alsynbayev 2004 — северо-среднетаёжные хвойные (преимущественно лиственничные) леса Северной Евразии на почвах мерзлотного ряда, характеризующихся застойным увлажнением и низкой теплообеспеченностью [Ермаков, 2012]; 2) *Piceo obovatae – Pinetalia sibiricae* Ermakov 2013 — темнохвойные бореальные леса Сибири, древостой которых формируют ель, кедр и пихта [Ермаков, Лапшина, 2013]; 3) *Lathyro humilis – Laricetalia gmelinii* Ermakov et al. 2002 — лиственничные, кедрово-лиственничные и сосново-лиственничные таёжные леса с участием ксеро-мезофильных умеренно теплолюбивых видов, распространённые в резко континентальном климате [Ермаков, 2012].

В зависимости от общих географических и макроэкологических факторов меняются соотношения участия макротипов лесных сообществ в сложении лесного покрова на западе и востоке региона. В западной части, в связи с меньшей континентальностью климата и большими относительными высотами, основное участие в сложении растительного покрова принимают темнохвой-

ные леса порядка *Piceo obovatae – Pinetalia sibiricae* и лиственничные леса порядка *Ledo palustris – Laricetalia gmelinii*, примерно в равных пропорциях. Ксеро-мезофильные сосново-лиственничные леса порядка *Lathyro humilis – Laricetalia gmelinii* встречаются небольшими площадями только в особых почвенно-геоморфологических условиях — на крутых южных склонах с выходами карбонатных пород. В восточной части, с более континентальным климатом и меньшими относительными высотами, темнохвойные леса порядка *Piceo obovatae – Pinetalia sibiricae* занимают незначительные площади, локализуясь лишь в поймах рек и очень редко на плакорах с суглинистыми почвами. Основные площади в лесном покрове занимают сосновые и сосново-лиственничные леса порядка *Lathyro humilis – Laricetalia gmelinii* на инсолируемых и положительных (выпуклые склоны и плакоры) формах мезорельефа и лиственничные леса порядка *Ledo palustris – Laricetalia gmelinii* на теневых и отрицательных (мезопонижения) формах мезорельефа.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ (проект РФФ-МАФФ/AFFRCS № 21-46-07002).

Метабаркодинг и штрихкодирование: что в реальности мы знаем о разнообразии водорослей в водоёмах России

**Куликовский М. С., Глуценко А. М., Мальцев Е. И., Мартыненко Н. А., Гусев Е. С.,
Кезля Е. М., Кузнецова И. В.**

Институт физиологии растений имени К. А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

max-kulikovsky@yandex.ru

Метабаркодинг, или секвенирование нового поколения, представляет собой метод изучения разнообразия организмов, в нашем случае водорослей из водоёмов, с помощью получения генетических последовательностей организмов из определённой пробы и водоёма. Этот метод приходит на смену традиционным морфологическим методам идентификации водорослей и считается более информативным. Между тем ему ещё далеко до широкоформатного использования, причём не столько из-за финансовых затрат, сколько из-за необходимости привязки генетических последовательностей к определённым видам. В этом плане штрихкодирование отдельных таксонов представляется важным для создания более информативных баз данных. Создание молекулярных библиотек — ключевой шаг, который необходимо осуществить с помощью систематиков, специалистов по отдельным группам. Данные работы проводятся в России, но мы пока имеем мало информации о молекулярном разнообразии водорослей. В докладе обсуждены собственные работы по исследованию разнообразия микроводорослей в водоёмах России методом секвенирования следующего поколения, или метабаркодингом, показаны результаты и освещены основные проблемы. Наши работы охватывают водоёмы из разных регионов России и мира. В процессе изучения микроводорослей была создана одна из крупнейших коллекций культур и молекулярных последовательностей.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (19-14-00320), Российского фонда фундаментальных исследований (19-04-00280-а) и гранта Президента Российской Федерации (МД-1446.2020.4).

Структура фитопланктона солоноватоводной Липовской протоки (Финский залив, Балтийское море)

Ланге Е. К.

Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

evlange@gmail.com

В Балтийском море виды-вселенцы понто-каспийского и североамериканского происхождения закономерно расселяются из его южной части в северные районы, в частности в восточную часть Финского залива (далее — ВчФЗ). Среди цианобактерий к потенциальным вселенцам относятся сравнительно теплолюбивые и галофильные виды рода *Anabaenopsis*, инвазия которых начинается, вероятнее всего, с мелководных пресноводно-олигогалинных акваторий залива [Экосистема..., 2008].

Ледникового происхождения Липовское озеро (площадь 0,53 км²) с одноимённой протокой (ранее р. Силеме, длина 2 км, ширина 0,1 км), впадающей в Финский залив, единственные солоноватоводные объекты на его водосборной территории, расположены на южном побережье залива в северной части Кургальского полуострова. Сведений о состоянии фитопланктона указанных водоёмов в литературе не встречено. Целью данной работы были исследование структуры летнего фитопланктона Липовской протоки и поиск новых видов-вселенцев микроводорослей.

В 2019 г. в Липовской протоке (1,6 км от устья) с конца мая до середины июня температура воды поверхностного слоя составляла +13,3...+14,8 °С; в остальные сроки, вплоть до середины августа, она достигла летних значений (+16,4...+19,2 °С) с максимумом в последней декаде июля. По солёности воды протоки относились к олигогалинным — 3,49–3,99 ‰.

Всего за период наблюдений в мае — августе в фитопланктонном сообществе Липовской протоки обнаружено 72 таксона микроводорослей рангом ниже рода из 9 систематических групп. Встреченные представители альгофлоры были характерными для осолонённых районов ВчФЗ. Наряду с пресноводными и индифферентными видами вегетировали солоноватоводные и морские формы: цианобактерия *Nodularia spumigena* Mertens ex Bornet & Flahault; криптофитовые *Teleaulax amphioxeia* (W. Conrad) D. R. A. Hill, *Plagioselmis prolunga* Butcher ex Novarino, Lucas & Morrall; динофитовые *Amphidinium crassum* Lohmann, *Dinophysis acuminata* Claparède & Lachmann, *Oblea rotunda* (Lebour) Balech ex Sournia, *Heterocapsa rotundata* (Lohmann) Gert Hansen, *Peridiniella catenata* (Levander) Balech, *Protoperidinium brevipes* (Paulsen) Balech; золотистая *Pseudopedinella* spp.; диатомовые *Actinocyclus octonarius* Ehrenberg, *Chaetoceros minimus* (Levander) D. Marino, G. Giuffre, M. Montresor & A. Zingone, *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann & Lewin, *Pauliella taeniata* (Grunow) Round & Basson, *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve; эвгленовая *Eutreptiella* spp.; зелёная прازیнофитовая *Pyramimonas* spp.

В целом биомассу фитопланктона Липовской протоки в разные сроки определяли диатомовые и эвгленовые (май), динофитовые (середина июня, июль — август) и цианобактерии (конец июня — начало июля, середина августа). Её величина варьировала по месяцам с пиком вегетации в июле (4,1 г·м⁻³), в среднем за май — август — (2,0 ± 0,6) г·м⁻³. Структура и уровень вегетации фитопланктона были сравнимы с таковыми в Копорской губе в те же сроки 2019 г.

В протоке комплекс доминантов составляли те же сезонные виды альгофлоры, что и в ВчФЗ. Так, в последней декаде мая в фитопланктоне по биомассе доминировали виды *Diatoma tenuis* C. Agardh, *Thalassiosira* spp., *Eutreptiella* spp., встречающиеся среди доминантов в разных рай-

онах залива [Макарова, 1997]. В середине июня в планктоне преобладала гетеротрофная морская динофлагеллята — *Oblea rotunda* (весенний доминант в Копорской губе и Нарвском заливе в 2018–2019 гг.). С повышением температуры в конце июня появлялись летние доминанты — потенциально токсичные азотфиксирующие нитчатые цианобактерии *Aphanizomenon flosaquae* и *Dolichospermum flosaquae*, вызывающие цветение воды в Балтике в позднелетний период [Копonen, 1992]. В августе доминировали цианобактерии порядка Oscillatoriales, включая потенциально токсичную *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek, летнего доминанта фитопланктона районов залива с солёностью ниже 4 ‰ [Терешенкова, 2006 ; Никулина, 2008 ; Ланге и др., 2016].

Особенностью сезонной динамики фитопланктона в Липовской протоке стало доминирование в июле — августе потенциально токсичной динофлагелляты *Karlodinium veneficum* (D. Ballantine) J. Larsen с максимумом вегетации в июле (3 млн кл.·л⁻¹, 3,5 г·м⁻³). Вид способен продуцировать карлотоксины, приводящие к гибели рыб, моллюсков и зоопланктона. В Балтике гибель рыбы от них впервые зафиксирована в 2016 г. в Финском заливе у берегов Финляндии. До недавнего времени ни в восточной части Финского залива, ни на её водосборной территории *Karlodinium veneficum* не регистрировался.

Кроме того, в августе в фитопланктоне были обнаружены новые для восточной части Финского залива, теплолюбивые виды-вселенцы рода *Anabaenopsis* — *A. cf. circularis* и *A. cf. cunningtonii* с низкой биомассой, не более 0,05 г·м⁻³. Оба вида планктонные, обитают в озёрах и водохранилищах, в основном в тропических регионах, Каспийском море, летом — в тёплых ареалах Европы.

Исходя из полученных результатов, можно заключить, что в условиях изменения климата солонатоводные объекты побережья Финского залива, находящиеся под влиянием морских вод, становятся местом начала вселения чужеродных видов альгофлоры.

В рамках исследования отбор и обработка проб фитопланктона финансировались Программой приграничного сотрудничества Эстония — Россия, проектом *Adrienne*; анализ полученных данных проведён по теме госзадания ИО РАН № 0128-2021-0007.

Сравнение двух локальных популяций чужеродных полихет рода *Laonome* из Вислинского и Финского заливов Балтийского моря

Лятун М. В.¹, Ежова Е. Е.², Орлова М. И.¹

¹Санкт-Петербургский научный центр РАН, Санкт-Петербург, Россия

²Институт океанологии имени П. П. Ширшова, Москва, Россия

marinalyatun@gmail.com

Вислинский залив — мелкая замкнутая солоноватоводная лагуна, соединяющаяся с Балтийским морем узким проливом. Средняя глубина залива составляет около 3 м. Финский залив — один из крупнейших заливов Балтийского моря. В восточной его части находятся мелководные заливы — Копорская и Лужская губы. Эти акватории характеризуются относительно невысоким видовым разнообразием и высокой продуктивностью. Все три района имеют развитую портовую инфраструктуру, интенсивное судоходство и подвергаются дреджингу. Кроме того, на побережье Копорской губы расположена ЛАЭС с комплексом водоёмов-охладителей; соответственно, здесь периодически происходит сброс подогретых вод в залив. Совокупность этих факторов создаёт благоприятные условия для ненамеренной интродукции чужеродных гидробионтов в указанные акватории. В бассейне ЮВБ, к которому относится Вислинский залив, зарегистрирована интродукция 48 видов. Для российской части Финского залива документирована интродукция 38 видов гидробионтов [Ежова, 2016].

С 2012 г. в Балтике регистрируются чужеродные полихеты рода *Laonome*. Полихета *Laonome calida* Сара, 2007 описана для прибрежных и открытых вод субтропической и тропической Австралии. В европейских водах этот вид впервые был найден в пресных и солоноватых каналах, эстуарных участках рек и заливов Голландии, Северное море [Сара et al., 2014].

В российских водах Балтийского моря лаонома впервые обнаружена в Вислинском заливе в 2014 г. Полихеты были идентифицированы как *L. calida* Сара [Кочешкова, Ежова, 2018]. В 2018 г. полихеты рода *Laonome* были обнаружены в Лужской губе [Тамулёнис, 2020], в 2019 г. — в Выборгском заливе [Тамулёнис, 2020] и в каналах ЛАЭС, впадающих в Копорскую губу Финского залива [Орлова, 2019 ; собственные данные].

Актуальным представляется оценить современное состояние локальных популяций чужеродной полихеты *Laonome cf. calida* в трёх солоноватоводных мелководных бассейнах российской Балтики.

Материалом для исследования послужили количественные пробы макрозообентоса. В Калининградском морском канале пробы отбирали в январе 2020 г., в нижнем течении р. Преголя (Вислинский залив) в августе 2019 г. и октябре 2020 г. дночерпателем Ван-Вина $1/40$ м²) в 3 повторностях, промывали на сите с размером ячеек 0,4 мм и фиксировали 4%-ным формалином. В Финском заливе пробы макрозообентоса и обрастания собирали в июле и сентябре 2019 г. и в августе и сентябре 2020 г. с использованием легководолазного метода и подводного фотодокументирования. Пробы обрабатывали стандартными методами, в лаборатории. Определяли видовой состав организмов в пробах, их численность и биомассу.

Для анализа динамики популяции лаономы в Вислинском заливе, а также в р. Преголя были привлечены фондовые данные по бентосу за 2014–2018 гг. лаборатории морской экологии АО ИО РАН, в Лужской губе Финского залива — литературные сведения [Тамулёнис, 2020].

В Вислинском заливе *Laonome cf. calida* отмечена с 2014 г. в северо-восточной части акватории. Средняя численность этих полихет здесь составляет $48 \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-2}$, средняя биомасса — $0,04 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$. Полихета встречается локально и в небольших количествах — от 1 до 5 экземпляров в пробе. Средняя масса особи — $0,0016 \text{ г}$, максимальная длина тела со щупальцами не превышает 18 мм.

С 2016 г. *Laonome cf. calida* встречается в пробах макрозообентоса, собранных на устьевых станциях р. Преголи, впадающей в Вислинский залив. Средняя численность полихет в этом районе составляет $143 \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-2}$, средняя биомасса — $0,24 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$.

В июне 2019 г. лаонома впервые встречена в составе бентоса, населяющего рукава р. Преголи (ст. 280 — 12 км от устья) [Полунина, 2019]. Для этого участка реки характерны сгонно-нагонные явления, когда солёные воды из залива забрасываются вверх по реке на расстояние до 15 км от устья. В результате солёность придонных вод может достигать 4 PSU [Чубаренко, 2011]. В пробах, собранных в августе 2019 г. в этом же районе в прибрежном биотопе, средняя численность полихет составила $1072 \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-2}$, биомасса — $3,91 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$. При этом средняя масса особи в некоторых пробах достигала $0,01 \text{ г}$. Максимальный размер взрослой особи составил 30 мм.

В Финском заливе полихеты рода *Laonome* впервые обнаружены в сентябре 2018 г. при проведении гидробиологических исследований в Лужской губе. Впоследствии они были отнесены к виду *Laonome хероваля* Bick & Bastrop, 2018 [Тамулёнис, 2020]. Средняя численность и биомасса лаономы в исследованном районе составили $458 \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-2}$ и $0,98 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ соответственно. Максимальная длина взрослой особи — 10 мм, средняя масса особи — $0,0022 \text{ г}$ [Тамулёнис, 2020].

В сентябре 2019 г. лаономы были обнаружены в каналах ЛАЭС, впадающих в Копорскую губу Финского залива [Орлова, 2019]. Средняя численность и биомасса полихет составили $297 \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-2}$ и $0,76 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ соответственно. Максимальный размер встреченных особей — 12 мм, средняя масса особи — $0,0033 \text{ г}$.

Анализ представленных количественных данных позволяет заключить, что полихеты рода *Laonome* успешно натурализовались и образовали самовоспроизводящиеся популяции как в Вислинском, так и в Финском заливе Балтийского моря.

В Вислинском заливе популяция полихет более 5 лет развивается локально. Она немногочисленна, но стабильна. Об этом свидетельствуют сборы макрозообентоса 2020 г. Обращает на себя внимание тот факт, что в Вислинском заливе отдельные особи полихет достигают значительных размеров, при том что их средняя численность и биомасса сравнительно невелики. Возможно, невысокие значения численности и биомассы *Laonome* обусловлены активной гидродинамикой, возникающей вследствие ветро-волнового взмучивания поверхностного слоя донных осадков [Чечко, 2002, 2006]. Именно эти факторы могли также способствовать забросу особей полихет из залива вверх по течению р. Преголя, где лаономы образовали псевдопопуляцию, лишённую способности к регулярному воспроизводству [Хлебович, 1985]. Организмы в таких популяциях не могут размножаться при отсутствии регулярного притока солёных вод и поэтому достигают значительного возраста и размеров, что мы и наблюдаем в реке.

В Лужской губе Финского залива средняя численность лаоном почти в 10 раз превышает показатели для Вислинского залива, а средняя биомасса — в 9 раз. Для Копорской губы также характерны более высокие значения численности и биомассы. Вероятно, солёностные и трофические условия в этих акваториях более благоприятны, чем в Вислинском заливе.

Сбор, анализ и интерпретация многолетних данных проведены по госзаданию № 0128-2021-0007 и по проекту *Estonia–Russia CBC Programme 2014–2020, project ER 55*.

Гельминты грызунов Таманского полуострова

Макариков А. А.¹, Стахеев В. В.²

¹Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, Россия

²Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, Россия

makarikov@mail.ru

Фауна мелких млекопитающих Таманского полуострова довольно специфична; её основу составляют ксерофильные и эвритопные виды. Согласно опубликованным данным, фаунистический комплекс грызунов, обитающих на этой территории, заметно отличается от такового сопредельных районов Краснодарского края и представляет собой изолят [Стахеев и др., 2017]. По структуре фауны и населения он имеет сходство как со степными территориями Крыма, прежде всего Керченским полуостровом, так и с Северо-Западным Прикаспием. Своеобразие фауны грызунов Таманского полуострова делает актуальным изучение видового состава их гельминтов, который до настоящего времени оставался неизвестным.

Нами изучен 61 экз. мышевидных грызунов, пяти видов: обыкновенная полёвка *Microtus arvalis* (s. l.) (Pallas, 1778) — 12 экз., общественная полёвка *Microtus socialis* (Pallas, 1773) — 5 экз., домовая мышь *Mus musculus* Linnaeus, 1758 — 15 экз., малая лесная мышь *Sylvaemus uralensis* (Pallas, 1811) — 7 экз., желтобрюхая мышь *S. witherbyi* (Thomas, 1902) — 22 экз. Среди отловленных грызунов доминировали желтобрюхая и домовая мыши. Общественная полёвка не была многочисленна в отловах, однако на степных участках плотность её колоний была довольно высокой.

Всего у грызунов зарегистрировано 11 видов паразитических червей двух классов — пять видов цестод и шесть видов нематод. Это следующие гельминты: Cestoda — *Paranoplocephala omphalodes* (Hermann, 1783), *Spasskijela lobata* (Baer, 1925), *Rodentolepis microstoma* (Dujardin, 1845), *Paruterina candelabraria* (Goeze, 1782) (larva) и *Hydatigera taeniaeformis* (Batsch, 1786) (larva); Nematoda — *Heligmosomoides polygyrus* (Dujardin, 1845), *Syphacia nigeriana* Baylis, 1928, *S. obvelata* (Rudolphi, 1802), *S. stroma* (Linstow, 1884), *Ganguleterakis spumosa* (Schneider, 1866) и *Trichocephalus muris* Schrank, 1788.

Общая экстенсивность инвазии (ЭИ) грызунов гельминтами составила 57,3 %. Чаще грызуны были заражены нематодами, чем цестодами (49,2 и 26,2 % соответственно). Самцы и самки заражены на 63,9 и 48 % соответственно. Частота встречаемости паразитических червей у молодых зверьков несколько выше, чем у половозрелых (68 и 50 % соответственно). Обычно грызуны инвазировались одним (31,1 %) или двумя видами гельминтов (21,3 %). Максимальное количество видов гельминтов в одной особи хозяина равнялось трём.

Наибольшее видовое разнообразие паразитических червей отмечено у домашней мыши (6). Чаще *M. musculus* заражался нематодой *S. obvelata* (26,6 %). Остальные гельминты (*R. microstoma*, *Hyd. taeniaeformis* (larva), *Hel. polygyrus*, *G. spumosa* и *T. muris*) встречались значительно реже или единично.

У малой лесной и желтобрюхой мыши обнаружено три и четыре вида гельминтов соответственно. Эти грызуны в целом имели схожую фауну паразитических червей. Малые лесные мыши чаще всего были заражены нематодой *S. stroma* (*S. witherbyi* — 68,2 %; *S. uralensis* — 5 из 7). Субдоминантом была цестода *S. lobata* (*S. witherbyi* — 31,8 %; *S. uralensis* — 3 из 7). Нематода *H. polygyrus* встречалась относительно реже, а личиночная стадия *H. taeniaeformis* обнаружена единично и только у желтобрюхой мыши.

У общественной полёвки найдено три вида паразитических червей (*Paranoplocephala omphalodes*, *Paruterina candelabraria* (larva), *S. nigeriana*). Все они встречены единично.

У обыкновенной полёвки паразиты не обнаружены.

Таким образом, в фауне гельминтов грызунов Таманского полуострова можно выделить следующие особенности: общая экстенсивность инвазии хозяев является относительно низкой; частота встречаемости паразитических червей у самцов несколько выше, чем у самок; молодые зверьки заражены интенсивнее, чем половозрелые; в гельминтоценозах преобладают нематоды-геогельминты, а среди цестод наиболее часто встречается сем. *Catenotaeniidae*. Также стоит отметить, что видовое разнообразие паразитических червей в данном регионе значительно уступает таковому соседних предгорных районов Северо-Западного Кавказа (11 против 25) и может быть охарактеризовано как относительно скудное [Макариков и др., 2017]. По всей вероятности, пониженная увлажнённость на большей части Таманского полуострова неблагоприятна для циркуляции широкого круга гельминтов. Доминирование нематод и катенотениидных цестод, скорее всего, связано с относительно лучшей приспособленностью этих гельминтов к засушливым условиям. Также не исключено, что низкое видовое разнообразие паразитических червей Таманского полуострова может быть следствием длительной изолированности популяций хозяев.

Поддержано грантом РФФИ № 19-54-18015.

Таксоцен Gastropoda на рыхлых грунтах и в эпифитоне макрофитов залива Донузлав (Чёрное море, Крым)

Макаров М. В.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

mihaliksevast@inbox.ru

Донузлав — техногенный залив (до 1961 г. — озеро лиманного типа тектонического происхождения), находящийся в Западном Крыму и вдающийся в сушу с юго-запада на северо-восток на 30 км. Наибольшая его глубина — 27 м, в устье ширина достигает до 8,5 км. От моря Донузлав отделён пересыпью длиной около 12 км, шириной 0,3–1 км; с морем соединён проливом [Оліферов, 2008]. Фауну Донузлава на рыхлых грунтах ранее изучали [Михайлова, 1992 ; Чухчин, 1992 ; Болтачева и др., 2002 ; Терентьев и др., 2018 ; Алёмов и др., 2020].

Цель настоящей работы — получить новые данные по таксоцену Gastropoda в этой акватории в различных биотопах.

Пробы отбирали в сентябре 2015 г. и августе 2020 г. на рыхлых субстратах и в зарослях макрофитов 4 различных родов. Всего взято 74 пробы — 62 пробы на песчаных грунтах (8 проб в 2015 г.; 54 пробы в 2020 г.) и 12 проб на макрофитах (5 проб в 2015 г.; 7 проб в 2020 г.). Глубины составили от 0,1 до 7 м. В 2015 г. исследования проводили в юго-восточной части Донузлава, в 2020 г. — в западной. На рыхлых субстратах пробы отбирали ручным дночерпателем площадью 0,04 м², в эпифитоне макрофитов — мешком из мельничного газа и фиксировали нейтрализованным 4%-ным формалином. Промывали через сито с ячейкой 0,5 мм. Определяли Gastropoda, рассчитывали их численность и биомассу на м² для проб с рыхлых поверхностей и на кг сырого веса для проб с макрофитов.

Всего отмечено 14 видов брюхоногих моллюсков. По 10 видов обнаружено на рыхлых грунтах и макрофитах. Максимальное количество видов Gastropoda найдено в эпифитоне *Cystoseira crinita* Duby, 1830 — 8; в зарослях морской травы рода *Zostera* зарегистрировано 7 видов, в эпифитоне *Chara* — 6, на водоросли рода *Cladophora* — 3. Большинство видов являются эвритопными, в том числе характерными для зарослевых биоценозов — *Bittium reticulatum* (Da Costa, 1778), *Rissoa membranacea* J. Adams, 1800, *R. splendida* Eichwald, 1830, *R. parva* (Da Costa, 1778) и *Tricolia pullus* (Linnaeus, 1758) [Маккавеева, 1979]. Виды *Caecum trachea* (Montagu, 1803), *Cythereella costulata* (Dunker, 1860), *Hydrobia acuta* (Draparnaud, 1805) и представители рода *Tritia* типичны для рыхлых грунтов [Чухчин, 1984]. Впервые в Донузлаве в песчаном биотопе встречена *Parthenina interstricta* (J. Adams, 1797), хотя данный вид более характерен для твёрдых субстратов [Макаров, Ковалева, 2017 ; Макаров, 2018].

Средняя численность Gastropoda на рыхлых грунтах составила 121 экз.·м⁻² в 2015 г. и 171 экз.·м⁻² в 2020 г. Преобладал *B. reticulatum* (89 и 117 экз.·м⁻² в 2015 и 2020 гг. соответственно). Этот вид размножается летом [Чухчин, 1984]. Немало отмечено и *R. parva* (21 и 36 экз.·м⁻²). Среди макрофитов наибольшая численность наблюдалась в эпифитоне цистозир — 8269 экз.·кг⁻¹, доминировал *B. reticulatum* (2547 экз.·кг⁻¹). На кладофоре численность была значительно меньше — 786 экз.·кг⁻¹, на zostере — 606 экз.·кг⁻¹, в зарослях хары — 529 экз.·кг⁻¹.

Средняя биомасса Gastropoda на рыхлых субстратах составила 0,55 г·м⁻² в 2015 г. и 2,7 г·м⁻² в 2020 г. В 2015 г. преобладал *B. reticulatum*, в 2020 г. — крупный моллюск *T. reticulata*. Среди зарослей макрофитов максимальная численность отмечена в эпифитоне *Zostera* sp. (68,8 г·кг⁻¹), пре-

обладал *R. parva* (44,9 г·кг⁻¹); численность на *S. crinita* составила 29,9 г·кг⁻¹, на *Cladophora* sp. — 6,4 г·кг⁻¹, на *Chara* sp. — всего 3,6 г·кг⁻¹.

Таким образом, в прибрежной акватории Донузлава на рыхлых грунтах и макрофитах в сентябре 2015 г. и августе 2020 г. обнаружено 14 видов Gastropoda. Средняя численность составила 121–171 экз·м⁻² на рыхлых субстратах и 529–8269 экз·кг⁻¹ в зарослях макрофитов различных родов. Средняя биомасса — 0,55–2,7 г·м⁻² в песчаных биотопах и 3,6–68,8 г·кг⁻¹ в эпифитоне макрофитов.

Автор выражает благодарность сотрудникам отдела экологии бентоса ФИЦ ИнБЮМ к. б. н., н. с. Надольному А. А., к. б. н., н. с. Тимофееву В. А., к. б. н., м. н. с. Ковалевой М. А., вед. инж. Литвину Ю. И. и вед. инж. Трофимову С. А. за помощь в сборе материала.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана» (№ 121030100028-0).

Оценка таксономического разнообразия водных макрофитов рек севера Мурманской области

Малуша А. П., Орлова Е. Р., Зуева Н. В.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

maluuusha@ya.ru

Для формирования целостного представления о функционировании водных экосистем Субарктики необходима полная инвентаризация их биотических компонентов. Крупные водные растения можно отнести к недостаточно изученному звену в реках севера Мурманской области. Именно поэтому целью данной работы стала оценка таксономического разнообразия ряда водотоков этого региона.

Полевые гидробиологические работы проводились в августе и сентябре 2020 г. на реках Мениккайоки (6 станций), Наутсийоки (5 ст.), Шуонийоки (3 ст.) и Воръема (15 ст.).

Река Мениккайоки. В ходе исследования водных и прибрежно-водных сообществ на реке Мениккайоки было встречено 46 видов макрофитов, среди которых преобладают цветковые растения Magnoliophyta (29 видов) и мохообразные Bryophyta (9 видов). Реже встречаются представители отделов Equisetophyta (хвощёвые), Lycopodiophyta (плауновидные), Charophyta (харовые водоросли) и Marchantiophyta (печёночники). Флора макрофитов р. Мениккайоки имеет достаточно выраженный водный характер, доля гидрофитов составляет 69 %. Это свидетельствует о стабильности водного режима в исследуемом объекте. Гигрогелофиты занимают 19 % от общего количества встреченных видов, гелофиты — 9 %, а гигрофиты — 3 %.

Для оценки таксономического разнообразия сообществ р. Мениккайоки был проведён расчёт индекса Шеннона. На двух станциях он превышает 3,5 бита/ед. обилия, что является показателем весьма высокого разнообразия. На остальных станциях он ниже и варьирует в пределах от 2 до 3 бит/ед. обилия.

Река Наутсийоки. На данной реке было встречено 26 видов макрофитов. Здесь также преобладают цветковые растения Magnoliophyta (18 видов) и мохообразные Bryophyta (3 вида). Представители отделов Equisetophyta, Lycopodiophyta и Charophyta встречаются редко. Во флористическом списке представлены все 4 группы экотипов, но их доли довольно сильно различаются, что является следствием гидрологических и геоморфологических особенностей обследованных участков. Соотношение групп экотипов в структуре водной флоры р. Наутсийоки выглядит следующим образом: гидрофиты — 67 %, гелофиты — 8 %, гигрогелофиты — 21 % и гигрофиты — 4 %.

В результате оценки таксономического разнообразия макрофитов на р. Наутсийоки было установлено, что на большинстве станций индекс Шеннона имеет относительно низкие значения. В целом они изменяются в диапазоне от 1,0 до 3,3 бита/ед. обилия.

Река Шуонийоки. Здесь встречено 22 вида макрофитов, среди которых доминируют цветковые растения (17 видов). Единично отмечены представители отделов Bryophyta, Equisetophyta и Charophyta. Встречены растения экотипов, максимально связанных с водной средой: гидрофиты — 78 %, гелофиты — 5 %, гигрогелофиты — 17 %.

Значение индекса Шеннона позволяет говорить о средней оценке видового разнообразия, лишь на одной станции оно превышает 3,5 бита/ед. обилия. На остальных станциях значение ниже и варьирует от 1,9 до 3,2.

Река Ворьема. На исследованных участках реки отмечено 36 видов макрофитов. Преобладают Magnoliophyta (19 видов) и Bryophyta (10 видов). Представители отделов Equisetophyta, Lycopodiophyta, Charophyta и Marchantiophyta встречаются редко.

Представлены все 4 группы экотипов, но их доли сильно различаются, что обусловлено гидрологическими и геоморфологическими особенностями изученных участков. Соотношение групп экотипов в структуре водной флоры р. Ворьема выглядит следующим образом: гидрофиты — 57 %, гелофиты — 12 %, гигрогелофиты — 27 % и гигрофиты — 4 %.

На четырёх станциях индекс Шеннона высок: он превышает 3,5 бита/ед. обилия. На остальных станциях он несколько ниже и находится в пределах от 2,5 до 3,0 бита/ед. обилия.

Таким образом, самое высокое таксономическое разнообразие водных макрофитов отмечено на реках Мениккайоки и Ворьема. Это является следствием гидрологических и геоморфологических особенностей обследованных водных объектов.

Распределение фитопланктона в Юго-Восточной Балтике в период цианобактериального цветения летом 2020 г.

Мельник А. С., Ежова Е. Е.

Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

anastassizahabar@mail.ru

Балтийское море — крупнейший в мире солоноватоводный водоём, характеризующийся частыми и обширными по площади летними цветениями, которые, развиваясь ежегодно, охватывают значительные части морского пространства. В середине лета 2020 г. в Южной части Балтийского моря гидрометеорологические условия характеризовались высокими значениями температуры верхних слоёв водной толщи (+22...+23 °С), а также снижением интенсивности ветрового перемешивания; это привело к формированию благоприятных условий для вегетации фитопланктона на уровне цветения. Преимущество среди систематических групп получили нитчатые и мелкоклеточные формы цианобактерий.

Материал собран 29.06.2020–15.07.2020 в 55-м рейсе НИС «Академик Йоффе» в пределах ИЭЗ России Южной Балтики. Пробы отбирали из поверхностного горизонта (0–1 м) и интегральным методом, облавливая фотический слой 3-литровым батометром Нискина, объединяя 1-литровые подпробы с поверхности и горизонта одной, удвоенной и утроенной величины прозрачности, измеренной по диску Секки. Пробы фиксировали модифицированным раствором Люголя. Обработку фитопланктонной пробы проводили по общепринятым методикам [Радченко, 2010; Руководство..., 1992; HELCOM, 1988]. Подсчёт организмов вели в камере Нажотта объёмом 0,05 мл под световым микроскопом «Биолаб 6Т» при рабочем увеличении $\times 400$, $\times 1000$. В качестве счётной единицы принимали клетку. Расчёт биомассы проводили счётно-объёмным методом. К доминантным относили группы и виды, составившие более 10 % биомассы фитопланктона в пробе.

В прибрежной зоне северного побережья Самбийского полуострова и российской части Куршской косы фитопланктон был представлен 50 таксонами из 9 систематических групп: цианобактерий (Cyanophyta) — 15 таксонов; динофитовых (Dinophyta) — 8; зелёных (Chlorophyta) — 11; диатомовых (Diatomophyceae) — 8; криптофитовых (Cryptophyta) и эвгленофитовых (Euglenophyta) — по 3 таксона; гаптофитовых (Haptophyta), золотистых (Chrysophyta) и простейших (Protozoa) — по 1 таксону.

В исследованной акватории по показателям развития фитопланктона (биомасса, численность, структура фитопланктоценоза) выделяются два разнокачественных района — прибрежная мелководная зона северного побережья Самбийского полуострова и российской части Куршской косы (глубины 11–20 м) и относительно глубоководная зона (глубины 20–44 м).

В прибрежной зоне северного побережья Самбийского полуострова и российской части Куршской косы в поверхностном горизонте численность варьировала от 41,1 до 378 млн кл.·л⁻¹, а биомасса — от 0,8 до 1,04 мг·л⁻¹, что соответствует вегетации фитопланктона, на верхней границе слабого и нижней границе умеренного уровня цветения [Дедю, 1989]. Отмечено доминирование цианобактерий, в частности нитчатых: *Aphanizomenon flosaquae* — с 0,2 до 0,4 мг·л⁻¹; *Nodularia spumigena* — с 0,1 до 0,34 мг·л⁻¹. Доминанты численности — мелкоклеточные формы цианобактерий *Aphanothece paralleliformis*, *Cyanodictyon planctonicum* и *Cyanodictyon imperfectum*. В мелководной прибрежной зоне в направлении от м. Таран к государственной границе с Литвой отмечено

снижение биомассы для нитчатой токсичной цианобактерии *N. sputigena*. Для доминантов численности *A. paralleliformis* и *C. imperfectum* обнаружена сходная тенденция снижения численности в том же направлении.

В относительно глубоководной зоне на глубинах от 21 до 44 м численность варьировала от 108 до 463 млн кл. · л⁻¹, а биомасса — от 0,7 до 2,4 мг · л⁻¹, что соответствует вегетации фитопланктона, на верхней границе слабого и нижней границе умеренного уровня цветения [Дедю, 1989]. Доминантами по численности и биомассе были нитчатые и мелкоклеточные формы цианобактерий — *Aph. flosaquae*, *A. paralleliformis*, *C. planctonicum*, *C. imperfectum* и *Chrysochromulina* spp. В относительно глубоководной зоне биомасса *Aph. flosaquae* в поверхностном горизонте (0–1 м) менялась незначительно и составляла в среднем 0,26 мг · л⁻¹. В поверхностном горизонте глубже 20 м отмечено увеличение биомассы мелкоклеточных цианобактерий (*A. paralleliformis* — с 0,075 до 0,45 мг · л⁻¹; *C. imperfectum* — с 0,052 до 0,15 мг · л⁻¹) и нитчатой токсичной цианобактерии *N. sputigena* (с 0,05 до 0,14 мг · л⁻¹).

В середине лета 2020 г. в мелководной прибрежной зоне северного побережья Самбийского полуострова и Куршской косы, а также в относительно глубоководной зоне вблизи государственной границы с Литвой было установлено поверхностное цветение слабого и умеренного уровня [Дедю, 1989]. Основными его доминантами были нитчатые цианобактерии в мелководной прибрежной зоне и мелкоклеточные цианобактерии в глубоководной зоне. Обнаружена тенденция уменьшения биомассы для нитчатой токсичной цианобактерии *N. sputigena* в направлении от м. Таран к государственной границе с Литвой и увеличения её биомассы в поверхностном горизонте с глубиной. Для *Aph. flosaquae* данная тенденция не зарегистрирована, биомасса в поверхностном горизонте с удалением от берега не менялась. Для доминантов мелководной прибрежной зоны *A. paralleliformis* и *C. imperfectum* выявлено увеличение показателей биомассы с глубиной.

Развитие и оптимизация природоохранной сети г. Севастополя

Мильчакова Н. А., Александров В. В., Бондарева Л. В.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

milchakova@gmail.com

Природоохранная сеть г. Севастополя характеризуется одним из самых высоких показателей заповедности для субъектов Российской Федерации, который более чем вдвое превышает среднее значение для государства [Государственный доклад..., 2019]. Однако среди 14 действующих особо охраняемых природных территорий преобладают объекты низкой категории и незначительной площади, в них представлены не все природные зоны и крупные ландшафтные единицы региона Севастополя, поэтому природоохранная сеть региона не является репрезентативной и оптимальной, не выполняет в полной мере функции эффективного сохранения биологического и ландшафтного разнообразия [Тарасюк, 2001 ; Позаченюк, Панкеева, 2008 ; Мильчакова и др., 2009 ; Мильчакова и др., 2015 ; Бондарева и др., 2020 ; Позаченюк и др., 2020]. На основании проведённых исследований, анализа архивных и опубликованных данных, нами предложено создание 34 новых заповедных объектов, для которых описаны границы и обоснована площадь, 13 из них уже отнесены к перспективным ООПТ регионального значения [Закон Севастополя от 09.09.2019 № 544-ЗС]. Для ряда действующих ООПТ рекомендовано изменение границ и увеличение площади; в их числе природный парк «Максимова дача», государственный природный заказник «Ласпи», памятники природы «ПАК у м. Лукулл», «ПАК у м. Сарыч» и «ПАК у м. Фиолент».

Реализация этих предложений даст возможность поднять уровень заповедности с 23,2 до 37,1 % и существенно повысить репрезентативность природоохранной сети в четырёх из пяти ландшафтных зон региона. Использование ГИС QGIS-3.10.10 позволило установить, что доля ООПТ в предгорной зоне разнотравных степей, шибляковых зарослей, лесостепи и дубовых лесов возрастет с 0,9 до 19 % её площади, превысив минимальное значение (16,4 %), необходимое для поддержания ландшафтно-экологического равновесия региона [Позаченюк, Панкеева, 2008]. В зоне широколиственных и сосновых лесов северного макросклона гор и зоне полусубтропических лесов Южного берега Крыма заповедные объекты будут занимать 82,9 и 91,5 % их площади соответственно, по сравнению с 68,9 и 83 % в настоящее время. Для зоны аквальных ландшафтов предложено увеличение площади действующих ООПТ в 2,5 раза, в результате чего их доля в морской акватории города возрастет с 3,3 до 11,2 %. Создание новых заповедных объектов в зоне горных лугов и горной лесостепи яйлы не предусмотрено, так как она полностью входит в состав государственного природного заказника «Байдарский».

Таким образом, научно обоснованные мероприятия по оптимизации и расширению природоохранной сети г. Севастополя обеспечат повышение её репрезентативности, степени заповедности большинства ландшафтных зон, позволят сохранить раритетные, типичные и ключевые природные комплексы в соответствии с целями проекта Стратегии развития системы ООПТ РФ на период до 2030 г.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», тема № 121030100028-0.

Бентосные диатомовые у побережья Крыма (Чёрное море): иерархические аспекты разнообразия и структуры таксоценов в акваториях с различной степенью техногенного загрязнения

Неврова Е. Л., Петров А. Н.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

el_nevrova@mail.ru

Таксономическое разнообразие и структура таксоценов бентосных диатомовых водорослей (Bacillariophyta) исследованы в прибрежных акваториях вдоль побережья Крыма, подверженных антропогенному влиянию различной интенсивности. Материал для исследования отобран в период с 1984 по 2016 г. на 16 полигонах с различным уровнем техногенного загрязнения рыхлых субстратов, в диапазоне глубины 0,5–50 м. В результате исследований всего зарегистрировано 793 вида и внутривидовых таксона бентосных диатомовых, относящихся к 736 видам, 130 родам, 53 семействам, 27 отрядам и 3 классам отдела Bacillariophyta. Для оценки структуры иерархического древа таксоценов диатомовых на каждом из исследованных полигонов использован индекс таксономической отличительности (TaxDI: среднее значение AvTD и его вариабельность VarTD) [Warwick, Clarke, 1998]. Значения TaxDI рассчитаны для экологически ненарушенных, умеренно загрязнённых и сильно загрязнённых акваторий прибрежной зоны Крыма и сопоставлены со среднеожидаемым значением для флоры черноморских Bacillariophyta. Последнее значение рассчитано на основе базы данных, к настоящему времени объединяющей 1094 вида и внутривидовых таксона бентосных диатомовых Чёрного моря, которые принадлежат к 953 видам, 149 родам, 61 семейству, 32 порядкам и 3 классам отдела Bacillariophyta [Неврова, 2015]. Иерархическая структура таксоценов диатомовых в сильно загрязнённых местообитаниях характеризуется низким видовым богатством и большой долей моно- и олиговидовых ветвей, замыкающихся на иерархическом древе на уровне семейств и отрядов. В акваториях с умеренным уровнем антропогенного загрязнения иерархическая структура описывается относительно высоким видовым богатством и равным соотношением олиго- и поливидовых ветвей, замыкающихся на уровне родов, с наличием моновидовых ветвей, сходящихся на уровне семейства или порядка. Таксоцены в чистых и малонарушенных акваториях отличаются преобладанием многовидовых таксонов, наибольшим видовым богатством и таксономическими ветвями, сходящимися на разных иерархических уровнях древа Bacillariophyta. На основании расчета индексов AvTD и VarTD показано, что появление либо исчезновение большого количества близкородственных видов донных диатомовых оказывает менее значительное влияние на иерархическую структуру таксономического древа, чем обнаружение или элиминация единичных видов с далёким филогенетическим родством. Показано также, что высокое видовое богатство таксоценов диатомовых из чистых акваторий, сформированное многовидовыми ветвями из филогенетически родственных видов, описывается низким значением AvTD, которое на графике расположено ниже среднеожидаемого значения для флоры диатомовых Чёрного моря. Невысокое видовое богатство таксоценов диатомовых из умеренно либо сильно загрязнённых местообитаний, основанное на олиго- или моновидовых ветвях с отдалённым филогенетическим родством, характеризуется более высоким значением AvTD. Данное значение расположено на графике вблизи либо существенно выше среднеожидаемого значения для диатомовой флоры Чёрного моря.

Работа выполнена по теме государственного задания ФИЦ ИнБЮМ № 121030100028-0.

Разнообразие гидр (Cnidaria: Hydridae) в Байкальском регионе

Перетолчина Т. Е., Ханаев И. В., Кравцова Л. С.

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

tatiana.peretolchina@gmail.com

Род *Hydra* входит в состав отряда Cnidaria, класса Hydrozoa, порядка Hydroida, семейства Hydridae. Представители *Hydra* населяют практически все зоогеографические области, за исключением островов Тихого океана и Антарктиды, обитают в стоячих и текучих водах: прудах, озёрах, реках — и предпочитают мезо- и эвтрофные условия. В целом описано около 80 видов в роде *Hydra*, из них валидных — около 15 [Jankowski et al., 2008]. В Европе обитает пять видов: *H. viridissima* Pallas, 1766, *H. circumcincta* Schulze, 1914, *H. oligactis* Pallas, 1766, *H. vulgaris* Pallas, 1766 и *H. oxycnida* Schulze, 1914.

Детальных исследований фауны книдарий в Байкальском регионе не проводилось. По имеющимся литературным данным, в озере Байкал были отмечены четыре вида пресноводных гидридов из рода *Hydra*: *H. baikalensis*, *H. oligactis*, реже *H. circumcincta* и *H. oxycnida* (= *H. oxycnidoides sensu Shultze*, 1927) [Кожов, 1962; Степанянц и др., 2003; Степанянц и др., 2006]. Гаевская предполагала существование *H. vulgaris* в озере Байкал [Гаевская, 1933], однако последующие исследователи так и не обнаружили *H. vulgaris*, а также *H. oxycnida* и подвергли сомнению их присутствие в озере. В «Аннотированном списке фауны оз. Байкал и его водосборного бассейна» упоминаются только два вида — *H. oligactis* и *H. baikalensis* [Степанянц, Анохин, 2001].

Цель исследования — изучить фауну книдарий в водоёмах Байкальского региона с использованием морфологических и молекулярно-генетических методов.

По внешним морфологическим признакам строения полипа и по микроскопическому исследованию нематоцист определено четыре вида, принадлежащих трём генетическим группам [«группа *oligactis*» (*Hydra oligactis*, *H. oxycnida*); «группа *braueri*» (*H. circumcincta*); «группа *vulgaris*» (*H. vulgaris*)], распространённых в Байкальском регионе. Молекулярно-филогенетический анализ подтвердил видовой статус исследованных гидр. Внутривидовые генетические дистанции между прибайкальскими и европейскими гидрами составили 1,5–4,2 и 0,4–2,7 % замен по маркерам COI и ITS1–5,8S–ITS2 соответственно. При этом межвидовые дистанции для разных видов значительно превышали внутривидовые и составили 9,8–16,1 и 6,4–32,1 % замен по маркерам COI и ITS1–5,8S–ITS2 соответственно.

Низкое генетическое разнообразие и наличие общих гаплотипов не позволяет разделить *Hydra oligactis* Pallas, 1766 и *Hydra baikalensis* Swarczewsky, 1923 на самостоятельные генетические линии. Кроме того, размеры и пропорции их голотрих изориз варьируют в зависимости от локальных местообитаний и условий окружающей среды и не могут служить диагностическими признаками для разделения видов. Таким образом, описанный ранее таксон *H. baikalensis* на основе молекулярно-генетических и морфологических данных сведён в синоним *H. oligactis*.

Места обитания выявленных видов *Hydra* определяются температурным режимом вод и наличием пищевых ресурсов, играющих ключевую роль в размножении гидр. В результате проведённых исследований региональная фауна пополнилась видами, находки которых ранее считались предположительными или сомнительными. Первое обнаружение *H. vulgaris* в Прибайкалье (Иркутское водохранилище, Кузьмихинское озеро) свидетельствует о более широком распространении этого вида.

Работа выполнена по проекту РФФИ № 19-05-00398_а.

Роль океанских экспедиций Института биологии южных морей в становлении классических концепций морской экологии

Пионтковский С. А.¹, Юнев О. А.², Чесалин М. В.², Царин С. А.²

¹Севастопольский государственный университет, Севастополь, РФ

²ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

spiontkovski@mail.ru

Конец 1970-х гг. знаменателен приходом новых фундаментальных концепций, сыгравших важную роль в развитии морской экологии. Концепция многомасштабной пространственно-временной изменчивости планктонных сообществ, их пространственно-временной сукцессии в океанах, концепция размерного спектра пелагических сообществ, концепция ключевой роли пятнистости распределения планктона в питании личинок и последующей динамике численности пелагических видов рыб, концепция биогеохимических провинций океана и больших морских экосистем вызвали оживлённые дискуссии в мировой литературе и на международных конференциях 1980-х гг., но испытывали недостаток полевых материалов для их более фундаментального обоснования.

В значительной мере этот недостаток был восполнен 20 экспедициями НИС «Профессор Водяницкий» и работой специалистов ИнБЮМ в комплексных экспедициях НИС «Академик Вернадский» и «Михаил Ломоносов» в Атлантический и Индийский океаны (1980–1990). Дан обзор методологических особенностей этих экспедиций; отмечены публикации сотрудников ИнБЮМ в международных журналах и результаты, внёсшие значительный вклад в становление вышеперечисленных концепций морской экологии.

Редкие и охраняемые раннецветущие растения степей запада Саратовской области

Покручина О. А.

Балашовский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского», Балашов, Россия

pokrucinao@gmail.com

В ходе хозяйственного освоения степные экосистемы Саратовской области подверглись значительной трансформации. Особенно этот процесс затронул западные районы Саратовской области, где степные сообщества практически полностью замещены агроценозами. Сохранившие видовое разнообразие растений участки степей приурочены преимущественно к склонам балок; на пастбищах и сенокосах видовой состав растений значительно беднее из-за высокой антропогенной нагрузки.

Многие раннецветущие растения степей включены в Красную книгу Саратовской области, состояние их популяций является преимущественно нестабильным, или они сокращаются в численности. Видовой состав и распространение раннецветущих растений западных районов области до сих пор недостаточно изучены. Продолжает оставаться актуальной работа по исследованию распространения и биотопической приуроченности, численности и состояния популяций раннецветущих растений.

Гиацинтик светло-голубой (*Hyacinthella leucophaea* (C. Koch) Schur). В области встречается только на юго-западе, основные местообитания известны из Балашовского района, также найден в Самойловском и Романовском районах. В Балашовском районе основные местообитания связаны с овражно-балочной системой рек Тростянка, Ветлянка. Вид встречается на степных склонах обычно скоплениями по несколько тысяч экземпляров; состояние популяций стабильное.

Пролеска сибирская (*Scilla siberica* Haw.). Вид более характерен для лесных и опушечных сообществ, однако в Балашовском районе найден в глубоких балках, в которых занимал основания склонов северной экспозиции. Численность популяций — до 300–400 особей; состояние популяций стабильное.

Ирис карликовый (*Iris pumila* L.). Находки известны из юго-западных районов. Встречается спорадично на вершинах склонов балок и степных рек. Преобладают формы с жёлтой и фиолетовой окраской цветов, некоторые популяции обладают значительной полиморфностью окраски цветов. Численность популяций невелика, до 15–30 растений; состояние популяций нестабильное или сокращающееся.

Рябчик русский (*Fritillaria ruthenica* Wikstr.). Находки известны из всех районов запада области, но в основном вид обитает в дубравах. В степях редок, произрастает в зарослях степных кустарников, преимущественно совместно с ракитником русским. Предпочитает склоны с северной или северо-восточной экспозицией. В найденных популяциях малочислен; состояние популяций оценивается как нестабильное.

Рябчик шахматовидный (*Fritillaria meleagroides* Patr. ex Schult. et Schult. fil.). Широко распространён в западных районах области, но в степях отмечается нечасто. В найденных популяциях малочислен; состояние популяций оценивается как нестабильное.

Тюльпан Гесснера (*Tulipa gesneriana* L.). В западных районах области редок, известен из немногих местообитаний в Балашовском и Самойловском районах. Встречается на крутых слабо задер-

нованных склонах, предпочитает склоны с южной, юго-восточной и юго-западной экспозицией. Преобладают особи с жёлтой окраской венчика, красные оттенки в окраске цветков встречаются очень редко. Численность популяций составляет от нескольких десятков до 500–600 особей; состояние оценивается как стабильное.

Брандушка разноцветная (*Bulbocodium versicolor* (Ker-Gawl.) Spreng.). Редкий вид, на западе области известен лишь в Балашовском районе. В степных экосистемах обнаружена только одна популяция на склоне западной экспозиции. Численность популяции составляет около 2000 особей; состояние стабильное. Распространение брандушки может быть более широким, но в связи с ранним временем вегетации вида он обычно не регистрируется исследователями.

Пион тонколистный (*Paeonia tenuifolia* L.). На западе области известны единичные популяции из Балашовского и Самойловского районов. Встречается по каменистым и глинистым склонам балок. Численность популяций невелика, имеется тенденция к сокращению численности из-за антропогенного воздействия.

Адонис весенний (*Adonis vernalis* L.). Широко распространён по Правобережью области, встречается во всех районах. Вид заселяет склоны и водораздельные степи, отмечается на сенокосах, местах с рекреационной нагрузкой. Численность популяций в отдельных местообитаниях меняется от единичных особей до нескольких сотен. В настоящее время наблюдаются рост численности и увеличение распространения.

Адонис волжский (*Adonis volgensis* Stev.). Широко распространён в районе исследования. Обитает в склоновых и водораздельных степях. Встречается реже, чем предыдущий вид, но также увеличивает свою численность.

Прострел раскрытый (*Pulsatilla patens* (L.) Mill.). В западных районах известен по единичным находкам. Зарегистрирован в Балашовском и Самойловском районах. Обитает на степных склонах. Популяции представлены единичными экземплярами; состояние популяций стабильное, но из-за низкой численности вид крайне уязвим для нарушений условий обитания.

Мытник вздуточашечный (*Pedicularis physocalyx* Bunge). На западе области известен только из одного местообитания. Отмечен в зарослях раkitника русского на склоне западной экспозиции. Популяция представлена 150–200 особями, численность стабильная.

Основными угрозами существованию редких видов в настоящее время следует считать весенние палы травы, которые приходятся на период вегетации раннецветущих растений. На некоторых местообитаниях наблюдается снижение численности популяций из-за выпаса скота. Большинство видов крайне уязвимы для нарушения местообитаний, поэтому сохранились в местах, не посещаемых и не используемых человеком.

В состав растительности некоторых местообитаний входит ряд редких видов. Такие места являются перспективными для выделения в качестве особо охраняемых природных территорий.

Видовой состав и распределение эпифитных диатомовых водорослей в пологе *Zostera noltii* Hornemann (Чёрное море)

Празукин А. В., Ли Р. И., Фирсов Ю. К.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

prazukin@mail.ru

Лука из морских трав широко распространены в хорошо защищённых неглубоких прибрежных участках моря и создают там высокопродуктивные экосистемы [McRoy and McMillan, 1977 ; Charpy-Roubaud and Sournia, 1990 ; Duarte and Chiscano, 1999 ; Hemminga and Duarte, 2000]. Одним из элементов этих экосистем являются эпифитные водоросли, которые вносят большой вклад в общую первичную продукцию сообщества [Marshall, 1970 ; Penhale, 1977].

Исследования проводили 15 августа 2019 г. в кутовой части западного «рукава» Казачьей бухты (г. Севастополь, Чёрное море). Полог *Zostera noltii* Hornemann высотой ($39,2 \pm 0,91$) см, при средней биомассе растений ($0,2397 \pm 0,091$) кг сух. массы·м⁻², был разделён на 8 горизонтальных слоёв с шагом 5 см. На зостере в каждом слое полога определяли видовой состав диатомовых водорослей, а также численность и биомассу каждого вида водорослей. На листьях, стеблях и корневищах *Z. noltii* обнаружено 34 вида диатомовых водорослей (*Achnanthes adnata*, *Achnanthes longipes*, *Actinocyclus octonarius*, *Amphora marina*, *Ardissonea crystallina*, *Berkeleya rutilans*, *Berkeleya scopulorum*, *Caloneis liber*, *Campylodiscus thuretii*, *Cocconeis scutellum* var. *scutellum*, *Cyclotella caspia*, *Diploneis chersonensis*, *Halamphora coffeiformis*, *Halamphora hyalina*, *Licmophora abbreviata*, *Mastogloia braunii*, *Melosira moniliformis*, *Navicula cancellata*, *Navicula ramosissima*, *Navicula* sp., *Tryblionella acuminata*, *Nitzschia hybrida* var. *hyalina*, *Nitzschia sigma*, *Nitzschia spathulata*, *Nitzschia tenuirostris*, *Parlibellus delognei*, *Pleurosigma elongatum*, *Pseudo-nitzschia* sp., *Striatella unipunctata*, *Tabularia fasciculata*, *Tabularia tabulata*, *Thalassionema nitzschioides*, *Thalassiosira eccentrica*, *Thalassiosira parva*). По численности и биомассе доминировал *C. scutellum* var. *scutellum* — ($43 \pm 15,6$) % и ($57,5 \pm 15,2$) % соответственно. В разных слоях полога общая численность диатомовых водорослей и их биомасса на единицу сухой массы зостеры варьировали широко — от $0,88 \cdot 10^5$ до $2,95 \cdot 10^5$ кл.·г⁻¹ и от 0,24 до 2,10 мг·г⁻¹ соответственно. Общая численность диатомовых водорослей и их биомасса на листьях зостеры на единицу поверхности дна всего полога в среднем достигали ($54,879 \cdot 10^6 \pm 20,675 \cdot 10^6$) кл.·м⁻² и ($0,332 \pm 0,126$) г·м⁻² соответственно. Общая масса диатомовых водорослей в среднем составляла ($0,139 \pm 0,002$) % от сухой массы надземной части зостеры.

Настоящее исследование показало, что в распределении диатомовых водорослей в вертикальных слоях полога *Z. noltii* заметную роль играют два фактора: (i) количество доступной поверхности для заселения; (ii) её морфологические свойства, которые определяются сочетанием свойств множества разновозрастных листьев, характерных для каждого слоя полога. Первый фактор отражается в распределении общей численности клеток и их общей массы в слоях полога зостеры. Второй фактор в сочетании с другими факторами среды определяет плотность распределения численности и массы клеток диатомовых водорослей на поверхности листьев.

Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта РФФИ р_а № 18-45-920044 и частично в рамках госзаданий ФИЦ ИнБЮМ № 121041500203-3 и 121041400077-1.

Видовое разнообразие элатерид (Insecta: Elateridae) в горно-лесных экосистемах Крыма

Пышкин В. Б.^{1,2}, Прыгунова И. Л.²

¹Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, Симферополь, Россия

²Филиал Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова в Севастополе,

Севастополь, Россия

vpbiscriim@mail.ru

В мировой фауне семейство Elateridae Leach, 1815 представлено 12 тыс. видов [Tarnawski, 2000]. На территории России встречается 335 видов [Медведев, 2002], на её европейской части — 150. В Крыму это семейство остаётся одним из наименее изученных; есть большое количество литературных источников о нахождении тех или иных видов жуков на полуострове, но нет обобщающих работ по их видовому разнообразию.

Изучение видового и таксономического богатства элатерид Крыма проводилось в рамках программы CrimInsecta. Её основа — информационная система, предназначенная для сбора, хранения и объединения авторских разработок по видовому составу, биологии, экологии и хорологии насекомых Крыма. Организационной основой базы данных Elateridae являются материалы фондовой коллекций КФУ имени В. И. Вернадского и многих частных коллекций, а также немногочисленные литературные источники.

В создаваемую базу данных Elateridae включены сведения о 81 виде, объединяемом в 27 родов, 12 триб и 6 подсемейств. Ядром таксономического разнообразия элатеридофауны полуострова являются подсемейства Elaterinae Leach, 1815 (29 видов из 7 родов) и Denticollinae Stein et J. Weise, 1877 (20 видов из 8 родов). Менее разнообразны на полуострове подсемейства Agrypninae Candèze, 1857 (12 видов из 8 родов) и Cardiophorinae Candèze, 1860 (9 видов из рода *Cardiophorus* Eschscholtz, 1829). Подсемейства Negastrinae Nakane et Kishii, 1956 и Melanotinae Candèze, 1859 представлены тремя родами (*Melanotus* Eschscholtz, 1829, *Negastrius* C. G. Thomson, 1859 и *Zoroachros* C. G. Thomson, 1859), которые объединяют 15 видов.

Большой вклад в видовое богатство элатерид Крыма вносят зооценозы горно-лугово-лесных экосистем северного склона Главной гряды, где формируется большое разнообразие элювиальных и трансэлювиальных мезогигроортофных дубово-грабниковых, дубово-кизиловых, дубово-грабовых, буковых, буково-грабовых и сосновых экосистем. В них обитают 35 видов элатерид: *Ampedus (Ampedus) ochrinulus* (Reitter, 1887), *A. (A) pomonae* (Stephens, 1830), *A. pulcher* (Baudi, 1871), *A. (A) sanguineus* (Linnaeus, 1758), *A. (A) sanguinolentus sanguinolentus* (Schrank, 1776), *Haterumelater tauricola* (Gurjeva, 1957), *Melanotus (M) fusciceps* (Gyllenhal, 1817), *M. tauricola* Dolin, 1980, *Athous tauricus* Candèze, 1860, *A. pliginskyi* Reitter, 1910, *A. (Haplathous) dilaticornis* Reitter, 1905, *A. (H) subfuscus* (O. F. Müller, 1764) и др.

Столько же видов элатерид отмечено и на южном склоне Главной гряды в зооценозах горно-лесных трансэлювиальных ксероолиготрофных и мезоксероортофных дубово-фисташковых и дубово-можжевеловых экосистем: *Hemicrepidius (H) niger* (Linnaeus, 1758), *Elathous candezei* Reitter, 1980, *Selatosomus gravidus tauricus* Dolin, 1975, *Selatosomus jailensis* Dolin, 1971, *Negastrius pulchellus* (Linnaeus, 1761), *Zoroachros (Z) dermestoides* (Herbst, 1806), *Cardiophorus tenelloides* Dolin, 1960, *C. rufipes* Goeze, 1777, *C. (C) erichsoni* Buysson, 1901, *Athous (H) subfuscus* (O. F. Müller, 1764), *A. tauricola* Reitter, 1905 и др.

Наибольшего разнообразия фауна элатерид достигает в Предгорье, которое мы рассматриваем как экотон между горно-лесными и степными экосистемами. Лесостепные экосистемы занимают Внутреннюю и Внешнюю гряды Предгорья и межрядовые понижения между ними. На их водораздельных плато формируются в основном элювиальные ксероолиготрофные кустарниково-степные и степные ковыльно-типчачово-разнотравные экосистемы, а по днищам многочисленных балок и оврагов — элювиально-аккумулятивные мезоксероортофные дубово-кизиловые и можжевело-грабинниковые экосистемы. В их зооценозах отмечено 45 видов элатерид, которые встречаются как в лесных, так и степных экосистемах: *Dicronychus cinereus* (Herbst, 1784), *Agriotes (A) gurgistanus* (Faldermann, 1835), *Ampedus (Ampedus) ochrinulus* (Reitter, 1887), *A. (A) pomonae* (Stephens, 1830), *Melanotus (M) fusciceps* (Gyllenhal, 1817), *M. (M) tenebrosus* (Erichson, 1841), *Hemicrepidius (H) hirtus* (Herbst, 1784), *H. (H) niger* (Linnaeus, 1758), *H. tartarus* (Candeze, 1860), *Selatosomus (S) aeneus* (Linnaeus, 1758), *S. (S) latus* (Fabricius, 1801), *Zorochochros (Z) dermestoides* (Herbst, 1806), *Cardiophorus (C) erichsoni* Buysson, 1901 и др.

Наименьшим видовым разнообразием элатерид характеризуются экосистемы Степной провинции (21 вид). Она обширна (около 2/3 полуострова), однако на открытом пространстве, в умеренно жарком климате формируются степные полынно-типчачовые, ковыльно-типчачовые экосистемы в сочетании с галофитно-луговыми, где обитают: *Aeoloderma crucifer* (P. Rossi, 1790), *Aeoloides atricapillus* (Germar, 1824), *Dicronychus rubripes* (Germar, 1824), *Synaptus filiformis* (Fabricius, 1781), *Agriotes (A) gurgistanus* (Faldermann, 1835), *Agriotes (Agriotes) sputator* (Linnaeus, 1758), *Procraterus cariniceps* (Lewis, 1894), *Melanotus (M) fusciceps* (Gyllenhal, 1817), *Cardiophorus (C) discicollis* (Herbst, 1806) и др.

Большинство из приведённых видов элатерид относятся к редким или очень редким, многие из них не регистрировались в Крыму более 50 лет. Проблема их сохранения и охраны стоит особенно остро в связи с ликвидацией заповедников полуострова, прекращением работ по развитию региональной экологической сети Крыма.

Восстановление популяции черноморского гребешка *Flexopecten glaber* (Bivalvia: Pectinidae) и формирование им одноимённого биоценоза у берегов Крыма

Ревков Н. К., Болтачева Н. А., Бондаренко Л. В., Лукьянова Л. Ф., Вялова О. Ю.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

nrevkov@yandex.ru

Черноморский гребешок *Flexopecten glaber* является единственным представителем семейства Pectinidae (класс Bivalvia) в Чёрном море [Скарлато, Старобогатов, 1972], образует поселения практически от уреза воды до глубины 40 м в биотопах плотного ракушечника, илесто-песчаных грунтов с примесью ракушки и крупнопесчано-галечных грунтов [Невесская, 1965]. В начале XX в. у Севастополя *F. glaber* в массе встречался на всех устричниках и более глубоких ярусах прибрежного песка [Зернов, 1913]. Широкое распространение и массовое развитие в первой половине XX в. черноморского гребешка на северном участке шельфа Чёрного моря определили разнообразие его биоценологических статусов: от руководящей (биоценоз *Flexopecten* – *Ostrea*, район Керченского пролива) до характерной (биоценозы *Ostrea* – *Mytilus*, *Modiolus adriaticus* – *Mytilus*, *Pitar* – *Gouldia* – *Chamelea*) и второстепенной формы бентоса (биоценозы *Loripes* – *Mytilaster* – *Modiolus adriaticus*, *Bittium* – *Mytilaster*, *Chamelea* – *Polititapes*, *Chamelea* – *Lucinella*, *Lucinella* – *Pitar* – *Chamelea* – *Gouldia*, *Spisula* – *Acanthocardia* – *Pitar*) у открытых берегов Крыма [Невесская, 1965]. Однако уже в 1950–1960-е гг. была отмечена тенденция сокращения черноморской популяции *F. glaber*. На рыхлых грунтах (без учёта устричников) черноморский гребешок входил в состав только двух биоценозов — *Gouldia* (глубина 15–32 м, биотоп ракушечника с песком и небольшой примесью ила, западное побережье Крыма) [Киселёва, Славина, 1964] и *Parvicardium* – *Gouldia* – *Pholoe synophthalmica* (глубина 10–25 м, галечно-песчаный грунт, Южный берег Крыма) [Киселёва, Славина, 1963]. События 1970-х гг. (начало эвтрофирования черноморского бассейна, гибель устричников) с последующим пиком экологического кризиса черноморской экосистемы в конце 1980-х — начале 1990-х гг. определили дальнейшее сокращение популяции *F. glaber* у берегов Крыма и его включение в Красные книги Республики Крым и города Севастополя [Ревков, 2015, 2018].

Улучшение экологического состояния бассейна Чёрного моря в начале 2000-х гг. отразилось на восстановлении популяций отдельных видов донной фауны, ранее сократившихся в численности и распространении [Ревков и др., 2019 ; Adrian, 2020]. С 2010 г. стала появляться информация об обнаружении поселений *F. glaber* на различных участках побережья Крыма (залив Донузлав, бухты Казачья и Ласпи) [Переладов, 2016 ; Бондарев, 2018 ; наши данные] и массовом оседании его личинок на коллекторы мидийно-устричных ферм [Пиркова, Ладыгина, 2017 ; Ревков и др., 2021]. Последовавшие за этим исследования особенностей роста черноморского гребешка привели к обоснованию возможности развития его аквакультуры у берегов Крыма [Ревков и др., 2021].

Фактическое возвращение *F. glaber* в бентос региона определило необходимость оценки биоценологической составляющей данного процесса. В качестве примера структурной организации бентоса в зоне развития поселений гребешка нами рассмотрен образуемый им биоценоз на юго-западном участке шельфа Крыма (район бухты Ласпи, глубина 13–34 м, грунт — слабо заиленный амфиоксусный песок с ракушкой). По данным бентосной съёмки 06.10.2020, формируемый черноморским гребешком биоценоз, в целом представлен оксифильной фауной. Обнаружено 63 пред-

ставителя макрозообентоса на уровне видовых таксонов. Из них Crustacea — 12, Mollusca — 21, Polychaeta — 26, сборная группа Miscellaneous — 4 вида. До вида не идентифицированы представители Acari, Harpacticoida, Actiniaria, Gromia, Nematoda, Nemertea, Turbellaria, а также некоторые экземпляры полихет семейств Nereididae g. sp., Phyllococidae g. sp. и Syllidae g. sp.

Средняя численность макрозообентоса в биоценозе составляла (11231 ± 2424) экз. \cdot м⁻², средняя биомасса — (248 ± 156) г \cdot м⁻². Наиболее многочисленны полихеты и моллюски, их доли в общей численности макрозообентоса — 45 и 37 % соответственно. Среди них преобладали (плотность более 500 экз. \cdot м⁻²) моллюски *Bittium reticulatum* [(963 ± 635) экз. \cdot м⁻²], *Caecum armoricum* [(781 ± 516) экз. \cdot м⁻²] и *C. trachea* [(669 ± 171) экз. \cdot м⁻²], полихеты *Pholoe inornata* [(1325 ± 658) экз. \cdot м⁻²], *Polygordius neapolitanus* [(606 ± 251) экз. \cdot м⁻²] и *Sigambra tentaculata* [(994 ± 392) экз. \cdot м⁻²].

По биомассе абсолютное лидерство у моллюсков — 96 % от общей биомассы макрозообентоса. За руководящим видом биоценоза *F. glaber* [(169 ± 166) г \cdot м⁻²] на втором месте недавний (с 1968 г.) вселенец в Чёрное море — моллюск *Anadara kagoshimensis* [(34 ± 22) г \cdot м⁻²].

Согласно ранжированным значениям индекса плотности [ИП_i = (В_i × p)^{1/2}, где В_i — биомасса вида i; p — встречаемость вида i (0–1)], основными видами биоценоза *F. glaber* (ИП = 11,26) являются *A. kagoshimensis* (4,11), *Gouldia minima* (2,64), *B. reticulatum* (2,56), *Moerella donacina* (1,85), *Pitar rudis* (1,77), *Tritia neritea* (1,72), *Diogenes pugilator* (1,33), *C. trachea* (1,13), *Branchiostoma lanceolatum* (0,88), *Chamelea gallina* (0,70), *Nemertea* (0,67), *Spirobranchus triqueter* (0,63) и *Pholoe inornata* (0,62).

Десять видов биоценоза имеют встречаемость 100 % (отмечены на всех станциях полигона). Это рак-отшельник *D. pugilator*, моллюски *B. reticulatum*, *C. armoricum*, *C. trachea*, *Lucinella divaricata*, *Mytilaster lineatus*, полихеты *Micronephthys longicornis*, *Ph. inornata*, *Sigambra tentaculata* и *Nemertea*. Кроме *F. glaber*, в биоценозе отмечен другой краснокнижный вид регионального уровня (редкий вид) [Алемов, 2018] — ланцетник *B. lanceolatum* со средними показателями численности (100 ± 41) экз. \cdot м⁻² и биомассы $(1,025 \pm 0,497)$ г \cdot м⁻² и встречаемостью 0,75.

В настоящее время в бентосе с одной стороны происходит возвращение утерянных позиций многих аборигенных видов (например, черноморский гребешок, морской крот, ланцетник), с другой — появляются «успешные» виды-вселенцы (анадара, рапана, гигантская устрица), в совокупности расширяющие биоресурсный потенциал региона. Наблюдаемая трансформация структурной организации донных экосистем региона, включая появление биоценоза *Flexopecten glaber*, является итогом восстановительных (после кризиса черноморской экосистемы в 1970–1990-е гг.) и инвазивных процессов.

Работа выполнена в рамках государственных заданий ФИЦ ИНБЮМ № 121030100028-0 и 121041400077-1.

Микробные сообщества в веществе из потока рассеяния Урского хвостохранилища (Кемеровская область, пос. Урск)

**Розанов А. С.^{1,2}, Мягкая И. Н.³, Коржук А. В.^{1,2}, Изотова А. А.⁴, Тоццаков С. В.⁴,
Лазарева Е. В.³, Пельтек С. Е.^{1,2}**

¹Курчатовский геномный центр ИЦГ СО РАН СО РАН, Новосибирск, Россия

²Институт цитологии и генетики СО РАН, лаборатория молекулярных биотехнологий, Новосибирск, Россия

³Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, Россия

⁴НИЦ «Курчатовский институт», Лаборатория геномики прокариот Курчатовского геномного центра, Россия

rozanov@bionet.nsc.ru

Микробные сообщества, формирующиеся на геохимических барьерах естественного или антропогенного происхождения, являются одними из наиболее интересных объектов микробиологии в связи с тем, что они имеют значительные отличия от микробных сообществ современных поверхностных экосистем, а также содержат представителей малоизученных филогенетических групп [Gavrilov et al., 2019]. В потоках рассеяния, которые формируются в районах разработок месторождений и складирования их отходов обогащения, называемых хвостохранилищами, развиты такие геохимические барьеры, как контакт органического вещества с высокоминерализованными дренажными водами; карбонатные породы; глины; гидроксиды Fe и др. Цель работы — изучить филогенетический состав микробных сообществ, ассоциированных с экологическими нишами, которые формируются в стоках с рудного вещества и на границе взаимодействия рудного и органического вещества.

Высокосульфидные отходы обогащения серноколчеданных руд и руд зоны окисления Ново-Урского месторождения складированы в хвостохранилище в верхней части естественного лога. Высота отвалов — 10–12 м. Отвал 1 сложен отходами первичных (сульфидных) руд, которые сложены в основном баритом, пиритом и кварцем. Отвал 2 сложен отходами руд зоны окисления, в которых преобладают кварц, барит и ярозит; появляется гипс и гетит; установлены глинистые алюмосиликаты; в меньшей степени пирит. Подробно состав и содержание основных породообразующих оксидов в отходах рассмотрены ранее [Myagkaya et al., 2016a].

На берегу затопленного карьера с 2011 г. функционирует предприятие (ООО «Барит») по разработке баритового концентрата из отходов первичных руд. На данный момент большая часть отходов первичных руд переработана этим предприятием, а формирующиеся в ходе деятельности сточные воды поступают в дренажный ручей хвостохранилища. По логу, в котором располагается хвостохранилище, протекает естественный ручей, воды которого в процессе взаимодействия с сульфидным веществом подкисляются до pH ~ 2 и который характеризуется как кислый дренажный ручей (КДР). Он впадает в р. Ур, которая является притоком р. Иня. Незакрепленное вещество отходов с отвалов под действием дождевых и паводковых вод, эоловых процессов и дренажных ручьёв в нижележащий заболоченный лог, формируя поток рассеяния (его размеры: L ~ 50–760 м; W ~ 250 м). В нём, помимо снесённых отходов, присутствуют остатки растительности в виде разложившихся кочек осоки, камыша, а также полуразрушенных остатков пней деревьев. Природное органическое вещество, представляющее собой кочки осоки, захоронено под снесёнными отходами и местами возвышается над ними. Заболоченная территория лога на данный момент серьёзно загрязнена. Объект представляет собой природно-техногенный источник загрязнения окружающей среды, формирующий геохимические барьеры на границе вза-

имодействия рудного вещества с окружающей средой [Gustaytis et al., 2010, 2018 ; Myagkaya et al., 2013, 2016a, b, 2019, 2020b ; Saryg-ool et al., 2017, 2020].

Наиболее интересными для микробиологического анализа компонентами потока рассеяния Урского хвостохранилища являются: ручьи дренажного раствора, в которых замечены процессы роста бактериальных матов; природное органическое вещество, контактирующее с отходами и дренажным ручьём. Ранее было показано, что в природном органическом веществе происходят процессы аутигенного минералообразования, в том числе под деятельностью микроорганизмов (окремнённые клетки микроорганизмов; псевдоморфозы ртути содержащих минералов по клеткам микроорганизмов) [Myagkaya et al., 2020].

Отбор проб проводился в октябре 2020 г. Опробовалось вещество в области потока рассеяния, покрытой отходами руд зоны окисления: природное органическое вещество торфяных кочек (основа — кочки и серые глины на границе между органическим веществом и веществом отвала), а также вещество отходов вокруг кочек; микробные маты и листовый опад из кислого дренажного ручья. Пробы объёмом менее 20 мл отбирали в 50-мл фальконы, фиксировали добавлением 96%-ного этанола до заполнения пробирки. ДНК выделяли набором DNeasy PowerSoil Kit (QIAGEN, Германия). Пробоподготовка и профилирование сообществ по гену 16S рРНК были выполнены с применением технологии высокопроизводительного секвенирования (Illumina) согласно ранее опубликованной методике на базе лаборатории геномики прокариот Курчатовского геномного центра [Kochetkova et al., 2020].

Для микробных сообществ вещества потока рассеяния Урского хвостохранилища наблюдалось низкое биологическое разнообразие. Индекс Шеннона составил 2,15–3,11. Минимальное значение индекса Шеннона получено для микробного сообщества вещества отходов, окружающего болотные кочки; максимальное — для микробного сообщества, формирующегося на водорослевых матах из ручья КДР. Все выявленные микробные сообщества Урского хвостохранилища очень похожи между собой как на качественном, так и на количественном уровне. Основу микробных сообществ всех исследованных образцов составляют представители Gammaproteobacteria (17–31 %), Acidobacteria (7–33 %) и Actinobacteriota (7–31 %). В образцах матов и листового опада из ручьёв КДР в микробных сообществах значительную долю также занимают представители Alphaproteobacteria (10–21 %) и Firmicutes (7–12 %), тогда как в образцах с торфяных кочек их доля составляет 1–9 и 1–3 % соответственно. Chloroflexi наблюдались в сообществах торфяных кочек (7–12 %); их доля в сообществах вещества из ручьёв КДР — менее 1 %. Микробные сообщества торфяных кочек и серых глинок очень похожи, различия заметны на уровне выделения ДНК: из серых глинок ДНК выделяется в большем количестве. Значительные отличия в количественном составе сообщества зарегистрированы только в образце с торфяной кочки, расположенной на границе с островком растительности (осока): в образце наблюдалась увеличенная доля 15 % последовательностей, относящихся к археям, и 15 % последовательностей, отнесённых к мало изученной некультивируемой ветви Sva0485. В образцах с торфяных кочек, расположенных на поле без растительности перед отвалами, последовательности архей и Sva0485 занимают долю на порядок меньше.

Анализ сообществ на уровне родов демонстрирует значительное количество ключевых таксонов *Acidiphilium*, *Acidisphaera*, *Metallibacterium*, *Ferrithrix*, *Acidibacter*, *Acidibacillus* и др., характерных для высокосульфидных хвостохранилищ [Yaman et al., 2019 ; Kadnikov et al., 2016 ; Gupta et al., 2021]. Кроме того, во всех сообществах присутствуют археи порядка Thermoplasmata (0,5–17 %), характерные для кислых шахтных отвалов [Golyshina et al., 2016]. Отдельно стоит отметить значительное количество некультивируемых таксонов в изучаемых микробных сообществах, что

подчёркивает перспективность дальнейших исследований этих микробных сообществ методами классической микробиологии и метагеномики.

Полевые работы и лабораторная подготовка проб к микробиологическому анализу выполнялись при поддержке РФФ № 18-77-10056. Выделение ДНК выполнено при поддержке бюджетного проекта ИЦиГ СО РАН № 0259-2019-0005. Секвенирование и анализ микробных сообществ по гену 16S рРНК проводились при поддержке Программы развития геномных центров мирового уровня Министерства науки и высшего образования РФ (соглашение 075-15-2019-1659).

Цианобактерии и диатомовые водоросли в обрастании синтетических полимерных материалов (Крым, Чёрное море): их роль и перспективы изучения

Рябушко Л. И., Мирошниченко Е. С., Благинина А. А., Широян А. Г., Лишаев Д. Н.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

larisa.ryabushko@yandex.ru

Загрязнение пластиковым мусором (полиэтилен, полистирол, полипропилен, поливинилхлорид и др.) морской среды несёт негативные последствия в прибрежных районах для жизнедеятельности гидробионтов и функционирования экосистем в целом. Изучение сообществ морских диатомовых водорослей (далее — ДВ) и цианобактерий (далее — ЦБ) перифитона пластиковых фрагментов, нехарактерных для природной среды, но являющихся дополнительными субстратами для их колонизации, приобретает высокую значимость для решения разных вопросов рационального природопользования и охраны морских акваторий от загрязнений. В целом для Чёрного моря ещё недостаточно работ по изучению обрастания синтетических полимерных материалов, а для крымского побережья они практически отсутствуют. Установление общих закономерностей формирования видового разнообразия и количественного распределения ДВ и ЦБ, поселяющихся на разных антропогенных субстратах в природных условиях, является весьма актуальным.

В связи с этим подведём некоторые итоги нашего изучения ДВ и ЦБ на поверхности синтетических материалов (мусора), который быстро покрывается альго-бактериальной плёнкой в основном из этих организмов, их взаимного влияния, а также конкуренции за субстрат между разными гидробионтами, которые формируют сообщества на соответствующих типах субстратов.

Методология разработана с учётом новых подходов в данной области исследования. Для экспериментов предварительно составлены оригинальные схемы конструкций коллекторов с разными полимерными субстратами для экспонирования их в море. Впервые изучен широкий спектр микро- и мейообрастаний каждого экспериментального образца-субстрата, представленного разными типами полимерных материалов. Это необходимо для того, чтобы выявить роль бентосных ДВ и ЦБ в обрастании поверхности соответствующего образца. Каждый этап работы, а также отдельные объекты фотографировали в световом и электронном сканирующем микроскопах.

В **открытых водах** Карантинной бухты Чёрного моря в летний сезон 2018 г. были размещены *вертикальный* в толще воды (глубина от 5 до 12 м) и *горизонтальный* на дне (глубина 17 м) коллекторы с длительностью экспозиции 46 суток. В 2020 г. в осенний сезон в **полузакрытой части** бухты на глубине от 1,5 до 3 м размещён *вертикальный* коллектор с двумя наборами образцов на сроки 48 и 84 суток. Образцы полимерных материалов на коллекторах относились к наиболее распространённым типам морского пластикового мусора. Температура и солёность воды в период исследования 2018 г. варьировали от +22,4 до +27,4 °С и от 17,0 до 18,0 ‰ соответственно, в 2020 г. — от +24,0 до +16,1 °С и от 18,2 до 18,4 ‰ соответственно.

Результаты исследований показали, что на образцах полимерных материалов обнаружены разнообразные бентосные организмы-обрастатели: донные микроводоросли и цианобактерии, силикофлагелляты, микроскопическая зелёная водоросль *Phycopeltis arundinacea*, мшанки, ракообразные, многощетинковые черви, актинии и асцидии. Указанные организмы являются конкурентами между собой и микроорганизмами за захват территории для своего заселения и имеют присущий только каждому из них химический состав, с помощью которого происходит их прикрепление.

В 2018 г. на вертикальном коллекторе на 8 типах полимерных материалов зарегистрировано 67 таксонов Bacillariophyta, относящихся к 36 родам, с наиболее разнообразными представителями класса Bacillariophyceae. Наибольшее число видов ДВ найдено на полипропиленовой (PP) сетке коллектора и контейнерах из полиэтилентерефталата (PET). Отмечена высокая встречаемость ДВ на субстратах во всём диапазоне глубин. ЦБ представлены 27 видами из 19 родов, с максимальным числом видов на PP-сетке. Зарегистрированы достаточно редкие и потенциально опасные виды. На глубине от 5 до 12 м цианобактерии практически не встречены.

На горизонтальном коллекторе на 11 типах полимерных материалов отмечено 6 видов ЦБ, их встречаемость не превышала 3 %, что указывает на неблагоприятные для них условия обитания в придонном горизонте бухты. Выявлено 48 видов ДВ, из них 18 не были найдены на вертикальном коллекторе. Встречаемость их в пробах была невысокой. Наибольшее число видов отмечено на PET-контейнерах.

В 2020 г. на 12 типах образцов полимерных материалов обнаружено 98 видов микрофитов при разных сроках экспозиции (48 и 84 суток), из них 77 — ДВ, 21 — ЦБ. С увеличением экспозиции видовое разнообразие возрастало: после 48 дней экспозиции найдено 54 вида ДВ и 16 ЦБ, после 84 дней — 68 и 20 видов соответственно. Наибольшее число видов ДВ обнаружено на образце полиэтилентерефталата с биоразлагаемыми добавками (PET bio), а ЦБ — на прозрачном полистироле (PS) и поливинилхлориде (PVC). Численность клеток ДВ варьировала от $28,65 \cdot 10^3$ кл. · см⁻² на образце PET bio до $93,08 \cdot 10^3$ кл. · см⁻² на PP. Биомасса — от 0,082 мг · см⁻² на прозрачном полиэтилене высокого давления (HDPE) до 0,535 мг · см⁻² на прозрачном PS. Цианобактерии достигли максимума численности $1,89 \cdot 10^6$ кл. · см⁻² на прозрачном PS и биомассы 0,085 мкг · см⁻² на PET, а минимумов ($0,130 \cdot 10^6$ кл. · см⁻² и $0,002$ мкг · см⁻²) на непрозрачном HDPE.

За весь период исследований обнаружено 114 видов Bacillariophyta и 49 видов Cyanobacteria. Сходство флористического состава сообществ для 2018 и 2020 гг. составляло: для ДВ — 60 %, для ЦБ — 20 %. Независимо от ориентации коллекторов, практически все типы субстратов были заселены ДВ и ЦБ, которые способны к ним прикрепляться, формируя разнообразные микрорельефы на их поверхности. Они же вносят существенный вклад в извлечение минеральных веществ из морской воды путём формирования прочных наноразмерных структур. На поверхности субстратов преобладали бентосные формы как по составу видов, так и частоте встречаемости.

Морские ДВ составляли 51 %, бета-мезосапробионты — 25 %; это виды, встречающиеся в условиях умеренного органического загрязнения вод, что в целом характерно для крымского побережья Чёрного моря. Из фитогеографических элементов отмечены аркто-бореально-тропические виды и космополиты, которые достигали 54 %. Среди ЦБ морские и пресноводные виды составляли по 29 %, отмечено 6 индикаторных видов с преобладанием бета-мезосапробионтов, космополиты и аркто-бореально-тропические виды составляли 57 %.

Таким образом, на поверхности полимерных синтетических материалов, экспонированных в море, обнаружены разнообразные сообщества диатомовых водорослей и цианобактерий. Они формируют своеобразную архитектуру обрастания и особую пространственную организацию благодаря своим физиологическим свойствам и способности к биоминерализации. В результате трансформируются новые свойства полимерных материалов, которые могут быть использованы для различных целей при разработке морских технологий биоминерализации, а также для поиска организмов, способных утилизировать пластиковые отходы в природной среде.

Работа выполнена частично по госзаданию ФИЦ ИНБЮМ № 121030300149-0 и по проекту РФФИ № 18-44-920012/20.

Биоэкологическая характеристика *Cyanobacteria* морской каменистой супралиторали ООПТ «Мыс Мартьян» (Чёрное море)

Садогурская С. А., Белич Т. В., Садогурский С. Е.

Никитский ботанический сад — Национальный научный центр РАН, Никита, Россия

sadogurska@yandex.ru

Современные исследования на основании новых методов и подходов способствовали появлению новой таксономии и систематики цианопрокариот, которая отражает эволюционную историю. В связи с этим возникает необходимость ревизии данных о видовом составе *Cyanobacteria* различных биотопов, что особенно актуально для заповедных объектов.

Исследования проводили в акватории ООПТ «Мыс Мартьян», на участке естественного валунно-глыбового навала в супралиторальной зоне моря. Номенклатура представителей *Cyanobacteria* (цианобактерии, или синезелёные водоросли) дана по AlgaeBase [Guiry, Guiry, 2021]. Уточнённый список *Cyanobacteria* включает 69 видов, представителей 1 класса, 2 подклассов, 6 порядков, 18 семейств и 35 родов. Наиболее разнообразно представлены семейства *Oscillatoriaceae* и *Rivulariaceae*. Среди родов доминируют *Chroococcus*, *Lyngbya* и *Gloeocapsa*. К категории редких и нуждающихся в охране относится треть видового списка. Для обнаруженных видов *Cyanobacteria* приведена биоэкологическая характеристика [Баринаева и др., 2019]. По субстратной приуроченности представлены в основном прикрепленные виды: бентосные — 41,2 %, бентосные, почвенные — 22,1 %, планктонно-бентосные — 17,6 %, планктонные — 5,9 %, планктонные почвенные, бентосные — 5,9 %, планктонные, почвенные — 2,9 %, эпифиты — 2,9 %, почвенные — 1,5 %. По географической приуроченности во флоре *Cyanobacteria* отмечен высокий процент космополитов — 26,5 %; преобладают бореально-тропические (42,6 %) и бореальные виды (20,6 %); доля аркто-бореально-тропических видов — 8,87 %, тропических — 1,5 %. По галобности преобладающие значения имеет группа морских (30,9 %), довольно высоким является вклад пресноводных (19,1 %); остальные виды относятся к переходным комплексам: пресноводно-солонатоводные и солонатоводно-морские — по 7,4 %, солонатоводные — 2,9 %. Отмеченные виды *Cyanobacteria* относятся к различным сапробиологическим группам: сапробионты — 8,8 %, олиго-бетамезосапробионты — 7,4 %, бетамезосапробионты — 2,9 %, бета-олигосапробионты, ксено-бетамезосапробионты и ксеносапробионты — по 1,5 %.

Преобладание прикрепленных бентосных, планктонно-бентосных и бентосных, почвенных форм (80,9 %), а также морских и солонатоводных форм (48,6 %) является характерной чертой супралиторальной микроальгофлоры. Доминирование в её составе космополитов и широкоареальных бореально-тропических видов (89,7 %) акцентирует азональность биотопа морской каменистой супралиторали.

Цианобактерии рода *Sodalinema*: экология, биогеография и филогения

Самылина О. С.¹, Синетова М. А.², Куприянова Е. В.², Турова Т. П.¹

¹Институт микробиологии имени С. Н. Виноградского, ФИЦ Биотехнологии РАН, Москва, Россия

²Институт физиологии растений имени К. А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

olga.samyлина@gmail.com

При изучении микробного биоразнообразия в содовых и солёных щелочных озёрах юга Сибири мы обнаружили, что в них в широком диапазоне общей солёности (25–200 г·л⁻¹) и карбонатной щёлочности (18,3–164,7 г·л⁻¹) распространены нитчатые негетероцистные цианобактерии, морфологически соответствовавшие виду *Phormidium tambii* (Woronich.) Anagnostidis et Komárek. В период 2007–2020 гг. этот морфотип был одним из самых массовых, встречался во всех исследованных озёрах Кулундинской степи и был нами идентифицирован по анализу последовательности гена 16S рПНК как *Geitlerinema* sp. из кластера «морские *Geitlerinema*» [Самылина и др., 2015 ; Namsaraev et al., 2018 ; Samyлина et al., 2019]. Последующие исследования [Samyлина et al., in press] выявили его принадлежность к недавно описанному роду *Sodalinema* Cellamare, Charlotte Duval, Touibi, Djediat & Cécile Bernard.

Род *Sodalinema* с единственным видом *S. komarekii* Cellamare, Charlotte Duval, Touibi, Djediat & Cécile Bernard был описан в 2018 г. на основании штаммов, выделенных из солёного щелочного озера Дзиани-Дзаха, о-в Майотта [Cellamare et al., 2018]. Его описание было аргументировано обособленным положением выделенных штаммов на филогенетическом дереве 16S рПНК. Ближайшими к *S. komarekii* были указаны патогенные штаммы *Geitlerinema* sp. BBD, принадлежащие кластеру «морских *Geitlerinema*» (93 % сходства по 16S рПНК). Название рода отразило гидрохимические особенности местообитания выделенных штаммов (*soda* — содовое озеро). К сожалению, при описании рода *Sodalinema* его авторы не уделили внимание ни филогенетическому, ни экологическому анализу данных, доступных из литературных источников и баз NCBI. Таким образом, к началу нашего таксономического исследования род *Sodalinema* был узаконен, но, по сути, не был полноценно охарактеризован.

В ходе нашей работы была создана коллекция галоалкалофильных штаммов *Sodalinema*, выделенных из содовых и солёных щелочных озёр Кулундинской степи (оз. Танатары, Горчины, Петуховское содовое), Забайкалья (оз. Хилганта, Доронинское), а также Танзании (оз. Эяси). Из международных коллекций были получены культуры морского штамма *Geitlerinema* sp. CCY9619 (о-в Меллум, Германия) и галоалкалофильного штамма *Sodalinema komarekii* PMC 869.14^T (о-в Майотта, Индийский Океан). Кроме того, в анализ были включены те штаммы «морских *Geitlerinema*», для которых были доступны нуклеотидные последовательности генов 16S рПНК и межгенных регионов 16S–23S рПНК (ITS) и которые, согласно этим данным, принадлежали роду *Sodalinema*. Полифазный анализ филогенетических, морфологических, ультраструктурных и экологических особенностей представителей рода *Sodalinema* из различных географических регионов позволил нам скорректировать диагноз рода и предложить описание трёх новых видов (*S. gerasimenkoae*, *S. orleanskyi* и *S. stali*).

В результате к роду *Sodalinema*, помимо галоалкалофильных, были отнесены также морские и галофильные штаммы. По общей минерализации (далее — ОМ) все местообитания *Sodalinema* можно разделить на: i) морские и миксогалинные с ОМ до 35 г·л⁻¹ (прибрежные приливные отмели

о-ва Меллум); ii) миксосалинные с ОМ до $30 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ (оз. Эяси, а также Хилганта, Доронинское и Танатар VI в некоторые периоды); iii) от эусалинных до гиперсолёных с ОМ обычно выше $30 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ и до $300\text{--}400 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ (Большое Аральское море, Дзиани Дзаха, Забайкальские и Кулундинские степные озёра). По концентрации растворимых карбонатов ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$) и pH можно выделить три типа местообитаний: i) содовые озёра; ii) солёные щелочные озёра; iii) солёные местообитания. Содовые озёра характеризуются преобладанием анионов HCO_3^- и CO_3^{2-} и стабильными щелочными значениями pH около 10 (Танатары, Петуховское, Горчины, Доронинское). Солёные щелочные озёра характеризуются щелочными значениями pH (9,0–9,5) и повышенным содержанием $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$, но при этом преобладанием других анионов (Cl^- или SO_4^{2-}) в химическом составе (оз. Эяси, Дзиани-Дзаха, Хилганта). Солёные местообитания характеризуется слабощелочными значениями pH (ок. 8) и низким содержанием растворимых карбонатов (Северное, Аральское моря).

Филогенетический анализ последовательностей 16S–23S ITS подтверждает экологическую кластеризацию представителей рода *Sodalinema* и выявляет две основные группы, связанные с содержанием $\text{HCO}_3^- / \text{CO}_3^{2-}$ и pH, но не с ОМ местообитаний: 1) содовые и солёные щелочные озёра; 2) солёные местообитания (гиперсолёные и морские). Эти группы, вероятно, должны различаться не только филогенетически, но и физиологически [Куприянова, Самылина, 2015; Sorokin et al., 2015]. Более тонкая кластеризация экологических групп в филогенетическом дереве 16S–23S ITS отражает биогеографию изученных штаммов *Sodalinema*. Для большинства штаммов такая кластеризация соответствует географическому распространению предложенных видов.

Кроме того, показано, что для всех исследованных представителей рода *Sodalinema* вне зависимости от экологического и географического распространения характерно наличие *nifH*-генов “desulfo”-типа, полученных предположительно путём горизонтального переноса *nif*-оперона (*nifHDKENB*) от представителей *Deltaproteobacteria* (аналогично *Coleofasciculus chthonoplastes* PCC7420). Этот признак является отличительным для рода *Sodalinema* от других представителей «морских *Geitlerinema*».

Разделение видов в составе рода *Sodalinema* было сделано на основании анализа последовательностей генов 16S рПНК, *groB*, *gyrB*, а также последовательностей и вторичных структур межгенного региона 16S–23S рПНК (ITS). Краткая характеристика видов представлена ниже (в скобках даны идентификаторы последовательностей генов 16S рПНК типового штамма в NCBI):

- *Sodalinema komarekii* Cellamare, Charlotte Duval, Touibi, Djediat & Cécile Bernard: галоалкалофильный вид; солёное щелочное озеро (вблизи Африканского континента); типовой штамм PMC 869.14 (MG772676).
- *Sodalinema gerasimenkoeae* sp. nov.: галоалкалофильный вид; содовые и солёные щелочные озёра, Юго-Восточная Сибирь (Азия); типовой штамм IPPAS B-353 (KU375124).
- *Sodalinema orleanskyi* sp. nov.: галоалкалофильный вид; солёное щелочное озеро, Танзания (Африка); типовой штамм Eу-1201 (MT08157).
- *Sodalinema stali* sp. nov.: морской вид; морские приливные отмели, Северное море (Европа); типовой штамм CCY9619 (MT067567).
- Штаммы *Sodalinema* из содовых озёр Кулундинской степи по совокупности молекулярно-биологических данных оказались проблемными: они являются кандидатами либо для отнесения к *S. gerasimenkoeae*, либо для описания нового(-ых) вида(-ов).

Анализ баз NCBI и литературных данных указывает на существование также галофильных видов в роде *Sodalinema*, которые могут быть распространены в гиперсолёных местообитаниях. Так, штаммы *Sodalinema* sp. FO-SIORAS-13 и SK-SIORAS-13 могут представлять галофильный вид, населяющий гиперсолёное Аральское море. Морфовид *Phormidium anissimovae* (Elenk.) O. N. Vinogr., распространённый в минеральных озёрах, лиманах и солончаках степной зоны Украины [Виноградова, 2011], по экологии и морфологии соответствует роду *Sodalinema*, описанному в данном исследовании. Однако генетические данные отсутствуют, и таксономическая принадлежность этого морфовида пока не может быть достоверно установлена. Таким образом, *Sodalinema* представляет собой широко распространённый, но пока малоизученный род.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 19-04-00377 и Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Видовые комплексы стрекоз озёрных экосистем рек Хопёр и Ворона

Сергеева Е. С.

Балашовский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский
государственный университет имени Н. Г. Чернышевского», Балашов, Россия

st.katy2001@yandex.ru

Стрекозы являются одним из характерных элементов энтомофауны пресных водоёмов. Они быстро реагируют на изменения гидрологического режима и экосистемы водоёма, поэтому в разных водоёмах состав населения стрекоз может значительно отличаться. Это делает данную группу интересным модельным объектом при изучении динамики и состояния водоёмов. Озёрные экосистемы характеризуются высоким разнообразием условий, под действием которых формируются различные сообщества насекомых.

Материалы для исследования были собраны в озёрных экосистемах различного типа в поймах рек Хопёр (Саратовская обл.) и Ворона (Тамбовская обл.). В поймах этих рек имеются разные непроточные и слабопроточные водоёмы — от озеровидных расширений и речных заливов, сохраняющих связь с рекой, до временных пересыхающих водоёмов, наполнение которых зависит от интенсивности паводка и выпадения осадков. Имаго стрекоз отлавливали с помощью энтомологического сачка на маршрутах протяжённостью 200 м в прибрежных местообитаниях. Личинок собирали водным сачком методом кошени. В ходе исследования было выявлено 16 видов стрекоз.

Фауна стрекоз озеровидных расширений русла (озёра Рамза и Кипец на р. Ворона, Тамбовская обл.) характеризуется наличием хорошо выраженного комплекса реофильных видов — *Calopteryx splendens* Harris, 1782, *Platycnemis pennipes* (Pallas, 1771) и некоторых других. Они отмечаются на участках с выраженным течением у впадения реки в озеро и входят в состав доминирующего комплекса. На участках озера со слабым или отсутствующим течением эти виды отсутствуют, население стрекоз образовано лимнофильными видами преимущественно из семейств Coenagrionidae и Libellulidae. Сходный характер имеет фауна крупных речных заливов, например озера Симерка на р. Ворона (Тамбовская обл.).

Фауна стрекоз старичных озёр представлена преимущественно лимнофильными и эврибионтными стрекозами. Наиболее характерными видами являются *Ischnura elegans* (Van der Linden, 1820), *Enallagma cyathigerum* (Charpentier, 1840) и *Aeshna affinis* Vander Linden, 1820. Спорадически встречаются реофильные виды, например *Calopteryx splendens* и *Gomphus vulgatissimus* (Linnaeus, 1758). Представители семейства Lestidae относительно редки и малочисленны, но их доля увеличивается на мелководных участках стариц с илистым дном.

Зарастающие старицы и мелководные водоёмы в понижениях рельефа имеют сходный состав населения стрекоз. В составе сообществ преобладают стрекозы родов *Lestes* (Lestidae), *Aeshna* (Aeshnidae) и *Sympetrum* (Libellulidae), доминирующими по численности являются *Sympetrum sanguineum* (Müller, 1764) и *Lestes sponsa* (Hansemann, 1823). В засушливые годы при значительном пересыхании водоёмов сильно падает численность люток, что отмечалось в 2020 г. на озере Рассказань (пойма р. Хопёр, Саратовская обл.). Развитие процессов заболачивания и обмеления приводит к деградации водных экосистем озёр и к уменьшению видового разнообразия стрекоз.

Индексы биоразнообразия и показатели структуры сообщества метазойного микрозоопланктона в оценке антропогенного воздействия и трофности прибрежных акваторий

Серегин С. А., Попова Е. В.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

serg-seryogin@yandex.ru

Одним из показателей благополучия экосистемы служит её видовое разнообразие. В условиях повышенного уровня загрязнения природной среды наблюдается его снижение — уменьшение видового богатства и изменение распределения видов по их обилию. При этом уменьшение биоразнообразия, изменяя ключевые процессы, важные для продуктивности и устойчивости экосистем, само становится активным фактором, воздействующим на функционирование экосистемы, сопоставимым по силе влияния с такими драйверами, как глобальное потепление, повышенный уровень CO₂, эвтрофикация и другие.

Основные таксоны зоопланктона имеют короткие жизненные циклы, и модификация структуры их сообществ способна отражать сценарии изменений условий среды в реальном времени. Индексы видового разнообразия зоопланктонного сообщества успешно применены для сравнительной оценки степени антропогенного пресса и трофности пресноводных и морских водоёмов и включены в методы оценки качества вод и состояния водных экосистем в схемах комплексного использования и охраны водных ресурсов (КИОВР). Подобный подход — исследование структуры сообщества на примере метазойного микрозоопланктона (далее — ММ) и его видового разнообразия — использован нами для сравнительной оценки степени загрязнённости/трофности отдельных акваторий в Севастопольской бухте и в ближайшем открытом побережье.

В разные сезоны (летом и осенью) проведено сравнение обилия и видового разнообразия сообщества ММ в трёх локальных акваториях севастопольского побережья: во внутренней части Севастопольской бухты, её устье и открытом взморье. Известно, что разные участки Севастопольской бухты различаются степенью загрязнения и трофности воды. Таким образом, условия среды на выбранных станциях составляли некий градиент, характеризующийся разной степенью воздействия на биоту природных и антропогенных факторов. Отбор проб ММ и сопутствующие гидрологические измерения проводили в трёх слоях водного столба от поверхности до 10-метровой глубины. Обилие организмов, индексы видового разнообразия (Бриллуэна, Маргалефа, Пиелу, Симпсона, Шеннона), степень сходства и различия сообществ рассчитывали для последовательных слоёв: поверхностного, среднего (0–5 м) и придонного (5–10 м), а также в среднем для всего столба воды.

В открытом взморье и устье бухты численность ММ в столбе воды была распределена более равномерно, тогда как в глубине бухты различия между слоями могли достигать 5–700 раз. Максимальная численность ММ наблюдалась в начале августа в поверхностном слое во внутренней части бухты — 1837,1 тыс. экз.·м⁻³. С конца лета происходило снижение обилия во всех исследованных акваториях.

Направленность изменений видового разнообразия сообщества ММ характеризовалась снижением в градиенте открытое взморье — устье бухты — внутренняя часть бухты в соответствии с возрастающей загрязнённостью и трофностью вод бухты вследствие повышения антропогенно-

го воздействия на среду обитания. Эта закономерность была справедлива как для летнего, так и для осеннего сезона. Наиболее информативными из использованных индексов биоразнообразия оказались индекс Шеннона, индекс полидоминантности Симпсона и индекс выравненности Пиелу. Они хорошо отражали как сезонные изменения видового разнообразия, так и его направленность в градиенте загрязнённости/трофности локальных акваторий бухты. Средневзвешенные в столбе воды индексы биоразнообразия характеризовали открытые воды в основном как олиготрофные, воды устья бухты — как мезотрофные, а воды в глубине бухты — как переходные от мезо- к гипертрофным.

Невысокие величины индекса выравненности Пиелу свидетельствовали о выраженной степени доминирования массовых видов в сообществе ММ севастопольского побережья. Таким наиболее выраженным видом-доминантом является недавний вселенец в Чёрное море, копепода *Oithona davisae*; на пике своего развития в летне-осенний период он может составлять до 90 % численности всего сообщества зоопланктона. Вид обладает биоиндикаторными свойствами; количественные характеристики его обилия могут использоваться в оценке трофического статуса акваторий. Так, вклад вида в показатель сходства структуры сообщества в исследованном градиенте увеличивался от 73,7 % в открытом побережье до 79,3 % в устье бухты и 84,3 % в глубине бухты. Параллельно снижалась доля влияния копепод рода *Acartia* (7,9 – 6,7 – 4,3 % соответственно) и велигеров двусторчатых моллюсков (6,5 – 5,6 – 2,6 % соответственно).

С помощью многомерного анализа выявлены случаи существенных изменений в структуре сообщества ММ придонного слоя вод в глубине бухты. Основной вероятной причиной этих локальных изменений является возникновение в загрязнённых участках бухты гипоксических условий в нижних горизонтах вод, приводящее к деградации численности и видового состава исследуемого зоопланктонного сообщества.

Заражённость промысловых карповых рыб метацеркариями *Parascogenimus ovatus* в бассейне Средней Оби (Томская область, Россия)

Симакова А. В., Бабкина И. Б., Бабкин А. М.

Томский государственный университет, Томск, Россия

omikronlab@yandex.ru

Промысловые карповые рыбы активно вовлечены в жизненные циклы дигенетических сосальщиков на территории Сибири. В мышечной ткани карповых рыб паразитирует около 20 видов личинок трематод, патогенных и непатогенных для человека. В бассейне Средней Оби у промысловых карповых рыб в мышечной ткани зарегистрировано 7 видов личинок трематод, из них 2 вида являются патогенными для человека (*Opisthorchis felineus* и *Metorchis bilis*), 2 вида — потенциально опасными для человека (*Metorchis xanthosomus*, преимущественно паразит рыбаодных птиц, и *Pseudamphistomum truncatum*, паразит млекопитающих, который крайне редко обнаруживается у рыб), 1 вид — патогенным для хищных рыб (*Rhipidocotyle campanula*), 2 вида — патогенными для рыбаодных птиц (*Posthodiplostomum cuticola* и *Parascogenimus ovatus*) [Бочарова, 2007]. Параценогонимоз — это заболевание, вызываемое трематодами семейства Cyathocotylidae. Основными дефинитивными хозяевами возбудителя параценогонимоза являются перелётные и оседлые рыбаодные птицы, которые формируют природный очаг заболевания. Роль человека в циркуляции этой инвазии до сих пор не выяснена.

Цель исследования — определить, какие из наиболее распространённых промысловых видов рыб, обитающих в бассейне Оби, сильно заражены метацеркариями *P. ovatus*.

Нашим коллективом с 2016 г. проводится изучение заражённости личинками трематод промысловых карповых рыб в бассейне Средней Оби. Установлено, что мышцы рыб в основном поражены метацеркариями *Opisthorchis felineus* и *Parascogenimus ovatus*.

Всего за период наблюдений проанализировано на заражённость мышечными трематодами 464 экземпляра промысловых карповых рыб трёх видов: лещ — 148 экз., плотвы — 242 экз., язя — 74 экз. Исследованные виды рыб имеют коммерческую и продуктовую значимость. Доля их в общем годовом вылове по Томской области составляет от 16 до 20 % каждого вида (в целом около 60 %).

Экстенсивность инвазии (далее — ЭИ) леща личинками *P. ovatus* за весь период наблюдений составила 0,7 %. Интенсивность инвазии (далее — ИИ) очень низкая, заражённым был всего один лещ, в котором обнаружена одна личинка. Индекс обилия (ИО) составил менее 0,01.

Экстенсивность инвазии плотвы — 9,5 %. Заражённость плотвы в разные годы была не одинакова — от полного отсутствия заражённых рыб (2018 г.) до 65 % (2020 г.). ИИ плотвы в среднем составляла 6,1 метацеркарии·экз.⁻¹; минимальное количество личинок — 1, максимальное — 48. Индекс обилия — 0,58.

Наиболее заражён личинками трематод язь: ЭИ составила 32,4 %. По годам наблюдений заражённость язя также не одинакова: значения изменялись от 9 до 55 %. ИИ в среднем составляет 24,3 метацеркарии·экз.⁻¹ (минимум — 1, максимум — 170). Индекс обилия — 7,89.

Все исследованные виды рыб также были заражены личинками *O. felineus*. Заражённость леща и плотвы не превышает 5 %, заражённость язя достигает 100 % [Simakova et al., 2021]. Экстенсивность заражения одновременно двумя видами паразитов составила для леща 5 %,

для плотвы — 12 %, для язя — 100 %. Индекс обилия для леща — 0,06, плотвы — 0,82, язя — 60,5 метацеркарии·экз.⁻¹.

Таким образом, промысловые карповые виды рыб в бассейне Средней Оби заражены мышечными трематодами. Наименьшие показатели заражённости у леща. Заражённость плотвы в целом невысока, однако она может значительно возрасти из-за особенностей года. Показатели инвазии язя высокие, вне зависимости от года наблюдения для совместной инвазии, для *P. ovatus* также наблюдается значительная годовая изменчивость.

Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки России № 0721-2020-0019 и гранта РФФИ № 20-34-90055А.

Погонофоры: холодноводные и глубоководные организмы или же обитатели биотопов со специфическим химическим составом субстрата и придонной воды? Новые аспекты биологии погонофор в Арктике

Смирнов Р. В.

Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

vsroman@inbox.ru

Недавняя удивительная находка нового вида погонофор *Galathealinum karaense* на глубине 25 м близ о-ва Диксон в Карском море заставляет по-новому взглянуть на проблему экологических предпочтений погонофор вообще [Smirnov et al., 2020]. Это первый представитель редкого рода *Galathealinum* в евроазиатской части Северного Ледовитого океана и крайне необычная для распреснённого мелководья Енисейского залива находка одного из крупнейших видов погонофор. Только дважды погонофоры были обнаружены на меньшей глубине, 20–22 м [Ivanov, 1957 ; Kubota et al., 2007], и никогда ранее они не встречались при солёности менее 32 ‰. Недавно примерно в этой же части Енисейского залива Карского моря на глубине 28 м был найден один экземпляр пока не описанного вида погонофор [Rimskaya-Korsakova et al., 2020]. Район этих находок характеризуется высокими концентрациями метана, вызванными деградацией вечной мерзлоты под воздействием речного стока [Shakhova et al., 2007 ; Rimskaya-Korsakova et al., 2020]. Следует отметить, что наиболее близкий по морфологии к этому виду другой вид этого рода, *Galathealinum arcticum*, также обитает в сходных экологических условиях на опреснённых мелководьях дельты реки Маккензи у арктического побережья Канады. В описании *G. arcticum* солёность и температура не приводились; исходя из экологических условий исследуемой территории, солёность должна быть около 30 ‰ или даже меньше, а температура воды — немного ниже нуля [Macdonald, Yu., 2005]. В любом случае очевидно, что эти три вида, включая неописанный из Карского моря, являются экологическими двойниками.

Характеризуя вертикальное распространение погонофор в Арктике, стоит отметить, что почти все виды обитают на относительном мелководье с глубинами не более 2000 м. Только *Polybrachia gorbunovi* обнаружена на глубине более 3,5 км в жёлобе Садко (море Лаптевых) [Ivanov, 1963]. Наиболее эврибатным видом является *Siboglinum (Siboglinum) hyperboreum*, обнаруженный на одной из станций в море Лаптевых на глубине 55 м (одна из самых мелководных находок погонофор в истории) и зарегистрированный на глубине 2166 м к северо-западу от Шпицбергена [Smirnov, 1999]. Наименьший диапазон глубин (75–341 м) имеет *Nereilinum murmanicum* [Ivanov, 1963 ; Канафина, 2019], однако этот же вид в северной части Атлантики (Норвежское море) найден на глубине 1280 м [Flügel, 1990].

Погонофоры традиционно считались глубоководными организмами. Позднее стали полагать, что на их распространение в первую очередь влияет температура воды, а не глубина [Southward, 1962, 1971a, b]. Однако в настоящее время появляется всё больше свидетельств того, что на распространение погонофор в Мировом океане влияет в первую очередь химический состав субстрата и придонной воды, а именно концентрация метана и сероводорода, которые чрезвычайно важны для питания погонофор [Малахов и др., 1992 ; Karaseva et al., 2019 ; Rimskaya-Korsakova et al., 2020 ; Sen et al., 2020]. Новая находка *Galathealinum karaense* на глубине 25 м в зоне высоких концентраций метана добавляет дополнительную поддержку этой идее. Таким образом, можно с уверенностью утверждать, что устья великих арктических рек очень благоприятны для расселения погонофор в верхней батии или даже сублиторали.

Междуречье Хопёр — Карай как рефугиум ресурсных видов растений

Смирнова Е. Б.¹, Арушанян Г. С.²

¹Балашовский институт (филиал) Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, Балашов, Россия

²Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Саратов, Россия

elenaprentam@mail.ru

Междуречье Хопёр — Карай расположено в восточной части Окско-Донской равнины на западе Саратовской области. Хопёр — самый крупный левый приток Дона. Река Карай — правый приток Хопра. Долины рек часто заболочены и имеют множество стариц, пойменных лесов и лугов. Наиболее сохранившиеся биогеоценозы — пойменные леса с включениями старовозрастных дубрав и посадками сосны разного возраста, мокрые и суходольные луга. Исследования проводили в 2020 г. и апреле — мае 2021 г.

Эколого-систематический анализ необходим для подготовки документации при планировании заготовок лекарственного растительного сырья. По полученным в ходе исследования сведениям, на исследуемой территории в диком виде произрастает 200 видов лекарственных растений, применяемых как в официальной, так и в народной медицине. Они входят в состав 57 семейств и 152 родов. По количеству родов лидируют семейства Asteraceae и Rosaceae (21 и 15 родов соответственно). На 2-м месте — семейства Rosaceae и Lamiaceae, с одинаковым числом видов (18), но разным числом родов (15 и 12 соответственно). На 3-м месте Fabaceae — 12 видов. Семейств со средним количеством видов от 11 до 6 — пять (Scrophulariaceae, Apiaceae, Apiaceae, Caryophyllaceae и Brassicaceae). Семейства Boraginaceae и Polygonaceae насчитывают по 5 видов. Всего вышеперечисленные семейства содержат 61,5 % от общего числа лекарственных растений. Олиготипные семейства, имеющие в своём составе от 1 до 4 видов, насчитывают суммарно 77 видов, что составляет 38,5 % от общего числа растений.

Мы выделили 7 групп утилитарных ботанических ресурсов. Так, кормовых растений из всего количества лекарственных видов насчитывается 32, медоносных — 45, ядовитых — 47, культивируемых — 48, пищевых — 56, технических — 61, декоративных — 75. Некоторые медоносные виды являются и перганосными, например *Filipendula ulmaria*.

Пищевые делятся на:

- овощные — *Amaranthus retroflexus*, *Aegopodium podagraria*, *Angelica sylvestris*, *Cichorium intybus*, *Taraxacum officinale*, *Asparagus officinalis*, *Capsella bursa-pastoris*, *Pulmonaria obscura* и др.;
- крахмалоносные — *Phlomis tuberosa*, *Chamaenerion angustifolium*, *Sagittaria sagittifolia*, *Arctium tomentosum*, *Butomus umbellatus*;
- сахароносные — *Acer platanoides*, *Betula pendula*;
- инулиноносные — *C. intybus*, *A. tomentosum*, *Inula helenium*;
- эфирно- и жиромасличные — *Tilia cordata*, *Valeriana wolgensis*, *Amygdalus nana*, *Sorbus aucuparia*, *Rosa majalis*, *Padus avium*, *Consolida regalis*, *Chelidonium majus*, *Betonica officinalis*, *Salvia tesquicola* и др.;

- плодово-ягодные — *Padus avium*, *Viburnum opulus*, *Solanum nigrum*, *Prunus spinose*, *Cerasus fruticose*, *Malus sylvestris*, *Fragaria viridis*, *Sorbus aucuparia*, *Rubus caesius* и др.;
- заменители чая и кофе — *R. caesius*, *Filipendula ulmaria*, *F. viridis*, *Lysimachia nummularia*, *C. angustifolium*, *Origanum vulgare*, *Mentha arvensis*, *Thymus marschallianus*, *T. pallasianus*, *Hypericum perforatum*, *C. intybus*, *A. officinalis*.

Технические растения подразделяются на:

- волокнистые и целлюлозно-бумажные — *C. angustifolium*, *Betula pendula*, *Melilotus officinalis*, *Genista tinctoria*, *Salix alba*, *S. triandra*, *Populus tremula*, *P. nigra*, *Tilia cordata*, *Humulus lupulus*, *Lavatera thuringiaca*, *Eupatorium cannabinum*, *Urtica dioica*;
- красильные — *Bidens tripartite*, *I. helenium*, *A. millefolium*, *Asarum europaeum*, *A. tataricum*, *Equisetum arvense*, *Chamaecytisus ruthenicus*, *G. tinctoria*, *E. sylvaticum*, *Quercus robur*, *Geranium pretense*, *Hypericum perforatum*, *O. vulgare*, *Althaea officinalis*, *C. majus*, *Polygonum aviculare* и др.;
- инсектициды и дератизаторы — *Ranunculus acris*, *Pedicularis dasystachys*, *Solanum dulcamara*, *Veratrum lobelianum*, *Tanacetum vulgare*, *Artemisia absinthium*, *A. vulgaris*, *Ahillea millefolium* и др.;
- противозерозионные и мелиоративные — *Pinus sylvestris*, *Quercus robur*, *Salix alba*.

К научно-познавательным видам относятся растения:

- голоценовые реликты — *Ephedra distachya*, *Anemone ranunculoides*;
- региональные эндемики — восточноевропейско-казахстанский (*S. tesquicola*); понтичско-заволжско-казахстанский (*Adonis volgensis*); восточноевропейский (*Salvia nutans*, *A. tataricum*, *Valeriana volgensis*); сарматский (*Pulsatilla patens*);
- локальные эндемики — средневожский (*Crataegus volgensis*).

Таким образом, следует отметить, что большинство лекарственных растений заключают в себе различные хозяйственно-полезные свойства. Так, например, *U. dioica* — пищевое, витаминное, кормовое, волокнистое, красильное, а *C. angustifolium* является кормовым, медоносным, крахмалоносным, овощным, суррогатом чая, дубильным, волокнистым, декоративным растением.

Биоразнообразие нитчатых бесцветных серобактерий рода *Sphaerotilus* в водных экосистемах

Смоляков Д. Д., Москвитина М. И., Филатова О. А., Грабович М. Ю.

Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

songolifreya@mail.ru

На сегодняшний день в чистую культуру нами было выделено 16 штаммов рода *Sphaerotilus* из следующих субъектов РФ: Ставропольский край (г. Пятигорск); Краснодарский край (г. Горячий Ключ); Псковская область; Воронежская область; Северо-Кавказский федеральный округ.

Анализ геномов всех валидно описанных видов *Sphaerotilus* показал наличие генов полной SOX-системы (*soxAXBYZCD*) окисления тиосульфата и разнообразных систем окисления сероводорода (*fccAB*, *srqF*, *sqrE*) у *Sphaerotilus sulfidivorans* D-501^T и *Sphaerotilus montanus* HS^T. Ранее только для *S. sulfidivorans* была показана способность к литотрофному росту. Серия опытов с *S. montanus* HS^T также выявила способность к литогетеротрофному росту при наличии тиосульфата.

Традиционно группа *Leptothrix-Sphaerotilus* считается классическим представителем бактерий с органогетеротрофным типом метаболизма. Анализ генов автотрофного роста показал, что в геномах *S. sulfidivorans* D-501^T и *S. montanus* HS^T присутствуют все гены цикла Кальвина. Исследования данных представителей выявили их способность к литоавтотрофному росту при наличии сероводорода. Знания о метаболическом потенциале рода *Sphaerotilus* позволяет понять причину их широкого распространения как в природных водных экосистемах, так и в антропогенных системах (сточные воды, очистные сооружения, бумажные фабрики, фабрики по переработке картофеля и др.). Из воронежских очистных сооружений был получен *Sphaerotilus* sp. D-380. Недавно были получены метагеномные сиквенсы из реакторов периодического культивирования, где заметную часть составляют представители рода *Sphaerotilus* [публикации Li Y. et al.]. Наличие анаэробной фазы роста стимулируют развитие сульфатредуцирующих бактерий и образование сероводорода, что в дальнейшем может приводить к развитию *S. sulfidivorans* и *S. montanus*.

Оценка состава и распределения рода *Sphaerotilus* в системах сероводородных источников Кавказа были проведены ранее [публикации Chernousova E. Yu. et al.]. Дополнительно были проанализированы две сероводородные экосистемы — сеть сероводородных болот г. Пскова и термальный источник Алма-Арасан (Казахстан). Из сероводородных болот г. Пскова был получен *Sphaerotilus* sp. D-511, из термального источника Алма-Арасан (Казахстан) был выделен *Sphaerotilus* sp. D-508. Секвенирование 16S rRNA *Sphaerotilus* sp. D-508 показало его принадлежность к виду *Sphaerotilus natans*; анализ 16S rRNA для *Sphaerotilus* sp. D-511 позволил отнести его к виду *S. sulfidivorans*.

Таким образом, видовой состав рода *Sphaerotilus* из водных экосистем достаточно разнообразен. Способность *S. sulfidivorans* и *S. montanus* к литоавтотрофному росту и гибкий метаболизм углеродных соединений других представителей рода *Sphaerotilus* позволяют бактериям занимать несколько экологических ниш в водных экосистемах в зависимости от минерального и кислородного состава.

Генетическое разнообразие трематоды *Metorchis ussuriensis* (Opisthorchiidae) на юге Дальнего Востока России

Солодовник Д. А.

Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток,
Россия

september7th@yandex.ru

Обширная территория Российской Федерации с большим разнообразием экосистем предопределяет широкое разнообразие паразитов и высокую возможность их циркуляции. Только на юге Дальнего Востока России выявлено 706 видов трематод из 60 семейств [Ермоленко, 2012], многие из которых являются эндемичными для региона и вследствие этого малоизученными или не изученными вообще. На Дальнем Востоке располагается бассейн реки Амур (одной из крупнейших рек России), охватывающий умеренные широты Восточной Азии (Монголия, Китай, Россия). В такой крупной реке можно встретить огромное разнообразие животных, которые являются или потенциально могут быть хозяевами паразитов, включая трематод. В Приамурье широко распространены биогельминтозы (клонорхоз, нанофиетоз, метагонимоз и парагонимоз), которые не встречаются на других территориях Российской Федерации [Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2017]. Очаги дальневосточных трематодозов локализуются на территории Приморского и Хабаровского краёв, Сахалинской и Амурской областей, Еврейской автономной области. Сочетание физико-географических факторов Приамурья создало благоприятные условия для обитания хозяев трематод (промежуточных, дополнительных и дефинитивных) [Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2017 ; Chelomina et al., 2014 ; Shumenko et al., 2016 ; Voronova, Chelomina, 2017 ; Solodovnik et al., 2018 ; Tatonova et al., 2018, 2019].

Являясь угрозой для здоровья и жизни животных, богатая паразитофауна Приамурья требует всестороннего изучения. Трематоды семейства Opisthorchiidae — это одна из эпидемиологически важных групп паразитических червей на данной территории, поражающая рыбоядных птиц и млекопитающих, включая человека. В результате полевых исследований 2017–2018 гг. в Приамурье были обнаружены заражённые описторхидными метацеркариями рыбы [Tatonova et al., 2018]. Стоит упомянуть, что некоторые из исследованных водных объектов расположены вблизи небольших и крупных населённых пунктов, а также на территории Хинганского заповедника, где гнездятся такие редкие птицы, как дальневосточные аисты, японские и даурские журавли и многие другие; здесь же располагается станция реинтродукции этих видов птиц. В одном из озёр заповедника, возле которого содержатся птенцы редких птиц, были обнаружены рыбы с высокой интенсивностью заражения метацеркариями описторхидного типа. В связи с тем, что по метацеркариям сложно определить описторхиду до вида, был поставлен эксперимент: заражённую рыбу скармливали дефинитивным хозяевам — крысам и уткам. В результате крысы оказались заражены клонорхозом, а утки — трематодой *Metorchis ussuriensis*.

Трематоды *M. ussuriensis* были впервые описаны в 2019 г. из оз. Магдыковое в Приморском крае [Besprozvannykh et al., 2019]. На данный момент особенности паразитирования и ареал этого вида ещё недостаточно изучены, однако в результате лабораторных исследований был описан полный жизненный цикл *M. ussuriensis* и установлены его промежуточные и дефинитивный хозяева. Также в лабораторных условиях была доказана возможность паразитирования этого вида у домашней

утки. Всестороннее изучение *M. ussuriensis*, в том числе его популяционной структуры, является необходимым для контроля распространения вида на территории бассейна реки Амур.

В настоящем исследовании проанализирован полноразмерный митохондриальный ген *cox1* для 73 образцов *M. ussuriensis* из восьми локалитетов, расположенных на территории Приморского и Хабаровского краёв, Амурской области и Еврейской автономной области. Изучены генетические особенности образцов из этих локалитетов, состояние популяций и внутри- и межпопуляционные взаимоотношения. Также проведено сравнение генетической изменчивости *M. ussuriensis* с другими представителями надсемейства Opisthorchioidea.

В результате анализа показателей генетической изменчивости установлено, что в настоящее время в дальневосточной части бассейна реки Амур популяция *M. ussuriensis* имеет стабильную численность. Это, вероятно, связано с благоприятными условиями обитания промежуточных хозяев (брюхоногие моллюски и карповые рыбы) и с частыми разливами рек и паводками, позволяющими виду расселяться. Расселению способствуют и окончательные хозяева паразита — водоплавающие птицы, которые могут свободно перемещаться по данной территории. Такое стабильное существование вида способно негативно сказаться на сельском хозяйстве, поражая домашних птиц, а также на попытках восстановления популяций редких видов птиц в заповедниках.

Особенности распространения и биология пресноводной мшанки *Pectinatella magnifica*

Старунова З. И., Старунов В. В., Шунькина К. В., Зайцева О. В.

Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

z.starunova@gmail.com

Мшанки (тип Bryozoa) — это колониальные организмы-фильтраторы, питающиеся преимущественно планктоном. Традиционно в типе Bryozoa выделяют три класса: Gymnolaemata, Stenolaemata и Phylactolaemata. К классу Phylactolaemata относят пресноводных мшанок, и эта группа по-прежнему остаётся наименее изученной по сравнению с морскими представителями. Согласно «Определителю пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий» С. Я. Цалолихина [1994], в пресных водоёмах России обитают 15 видов мшанок. В Ленинградской области (Северо-Западный регион) традиционно находят три вида мшанок: *Cristatella mucedo* (Cuvier, 1798), *Fredericella sultana* (Blumenbach, 1779) и *Plumatella repens* (Linnaeus, 1758). В последнее время в связи с более пристальным изучением и поиском новых модельных объектов были обнаружены несколько новых видов мшанок, ранее не описанных как для Ленинградской области, так и для России в целом. Пресноводная мшанка *Pectinatella magnifica* (Leidy, 1851) — один из многочисленных видов-вселенцев из Северной Америки в европейские воды — была обнаружена в реке Вуокса на территории России летом 2020 г. Распространение *P. magnifica* по Европе началось ещё в XIX в., и в течение всего XX в. мшанка была обнаружена почти во всех европейских странах. Первые случайные находки на Украине были сделаны ещё в 2005 г., а с 2010 г. *P. magnifica* встречается в реке Дунай и большинстве её притоков [Aleksandrov et al., 2014]. г. А. Ключе в своей главе про мшанок в «Жизнь пресных вод...» высказывает предположение о возможном распространении *P. magnifica* на территорию России из южных регионов [Ключе, 1949]. На тот момент этого вида на территории СССР не было обнаружено. Во внутренние воды Ленинградской области мшанка распространилась из Финляндии, возможно при участии водных птиц и течений реки Вуоксы. Распространение с балластными водами и судоходством мало вероятно, так как на реке Вуокса имеются три гидроэлектростанции (одна в Финляндии, две в России).

Колонии *P. magnifica* имеют округлую или веретеновидную форму. Внутри колонии находится желатиноподобная масса, которая снаружи покрыта группами зооидов, собранными в розетки. Колонии обитают в местах с умеренным течением, ближе к поверхности, предпочитая затенённую сторону. Обычно колонии прикрепляются к водной растительности или к другим затопленным субстратам. Нами был обнаружен очень короткий жизненный цикл у *P. magnifica*. Первые небольшие колонии появились в июле, к августу колонии достигали 20–30 см в диаметре. Формирование стаблостов начиналось в августе, и колонии полностью диссоциировали в конце лета, до сентября. По литературным данным, в разных исследованиях было показано, что качество воды, а также концентрация кислорода и хлорофилла *a* играют важную роль в интенсивности распространения *P. magnifica*.

Исследование сенсорных элементов колониальных животных даёт ответы на многие аспекты их поведения и возможности к распространению. На поверхности зооидов и колонии *P. magnifica* с помощью сканирующей электронной микроскопии нами были обнаружены три типа сенсорных элементов. Первый и второй тип присутствовали на щупальцах. Сенсорные структуры на щупальцах, по всей видимости, выполняют механорецепторную функцию, что было показано для морских

мшанок. Также второй тип сенсорных окончаний распределён на наружной и внутренней поверхностях лофофора. Третий тип окончаний обнаружен на поверхности стенки колонии. Эти окончания представляют собой группу микроворсинок, и, возможно, они обладают фотосенсорной функцией.

Также летом 2020 г. в водоёмах Ленинградской области была впервые обнаружена мшанка *Palludicella articulata* (Ehrenberg, 1810) [В. Кутюмов, устное сообщение]. Этот вид уникален по своему, так как относится к классу Gymnolaemata, большинство представителей которого обитают в морях. *P. articulata* — исходно реликтовый вид из бассейна реки Дунай, но в последнее время он также был обнаружен в пресных водоёмах Прибалтики (Литва). Литературные данные по видам пресноводных мшанок довольно отрывочны, и не представляется возможным определить точные пути их расселения по территории России.

Описание новых видов для Ленинградской области продолжатся. За последнее время эти два вида не единственные новые находки мшанок. В 2016 г. была найдена и описана мшанка *Plumatella geimermassardi* (Wood & Okamura, 2004) из Копорской губы Финского залива [Гонтарь, 2016]. С одной стороны, поиск новых видов пресноводных мшанок даёт новые интересные модельные объекты для изучения. С другой стороны, требуется мониторинг распространения обростателей, особенно в местах с повышенной рекреационной и судоходной нагрузкой.

Работа выполнена на оборудовании центра коллективного пользования «Таксон» Зоологического института РАН (г. Санкт-Петербург, Россия).

Влияние чужеродных кольчужных сомов *Pterygoplichthys* spp. (Loricariidae) на рыбное население водоёмов и водотоков Вьетнама

Столбунов И. А.¹, Чан Дык Зьен^{2,3}

¹Институт биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина РАН, Борок, Россия

²Высший научно-технический университет Вьетнамской академии наук и технологий

³Приморское отделение Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского и технологического центра, Вьетнам

sia@ibiw.ru

На современном этапе особую актуальность приобретают исследования процесса инвазии «успешных» видов-вселенцев [Дгебуадзе и др., 2002 ; Павлов и др., 2003], к которым относятся кольчужные сомы (Siluriformes: Loricariidae), представляющие наиболее серьёзную угрозу тропическим и субтропическим пресноводным экосистемам [Armbruster, 1998 ; Le Thanh Luu, Nguyen Van Thanh, 2005 ; Orfinger, Goodding, 2018 ; и мн. др.].

Исследования распространения чужеродных американских кольчужных сомов в водных объектах разного типа центральной и южной части Вьетнама показали, что в настоящее время кольчужные сомы *Pterygoplichthys* spp. населяют бассейны фактически всех основных речных систем страны [Stolbunov et al., 2017 ; Gusakov et al., 2018 ; Stolbunov et al., 2020 ; Stolbunov et al., 2021]. Расселение кольчужных сомов в гидрологической сети страны, как правило, имеет односторонний характер — из лотических систем в лимнические системы, а не наоборот. В пределах речных бассейнов расселение лорикарид происходит в направлении от верхних участков течения к нижним [Stolbunov et al., 2017 ; Gusakov et al., 2018 ; Stolbunov et al., 2021]. На основании данных морфологического и молекулярно-генетического анализов, а также оценки паттернов окраски рыб выявлено, что в исследованных водоёмах и водотоках встречаются кольчужные сомы двух видов — *Pterygoplichthys pardalis* (Castelnau, 1855) и *P. disjunctivus* (Weber, 1991) — и межвидовой гибрид — *P. pardalis* × *P. disjunctivus* [Stolbunov et al., 2021]. Очевидно, что многочисленные популяции вселенцев — кольчужных сомов — вступают в тесные конкурентные взаимоотношения с аборигенными видами рыб, в том числе за пищевые ресурсы. Установлено, что в новых местах обитания — водоёмах и водотоках Вьетнама — кольчужные сомы ведут себя как типичные детритофаги-собиратели [Stolbunov et al., 2021], подобно тому, что наблюдается в их естественном (первичном) ареале — в Южной и Центральной Америке, где за ними укоренилось название «рыба-дворник» (janitor fish) [Lujan et al., 2012 ; Froese, Pauly, 2012]. В водных объектах разного типа Вьетнама спектр питания чужеродных кольчужных сомов (*Pterygoplichthys* spp.) — это растительная и животная пища, а также органический детрит [Stolbunov et al., 2021]. Выявлены отдельные экземпляры сомов с высоким потреблением животной пищи. Отмечено, что при достижении высокой численности популяции чужеродные кольчужные сомы могут составлять значительную пищевую конкуренцию местным видам рыб — детритофагам и, возможно, бентофагам [Stolbunov et al., 2021].

В настоящее время в ряде пресноводных водоёмов и водотоков Вьетнама чужеродные виды рыб доминируют по численности и конкурируют с аборигенными видами за экологические ниши и средовые ресурсы, что в итоге может привести к снижению разнообразия и трансформации рыбных сообществ [Stolbunov et al., 2017 ; Stolbunov, Tran Duc Dien, 2019]. Инвазии, а также пред-

намеренная и/или случайная интродукция чужеродных видов рыб в большинстве случаев могут иметь негативные последствия для биоразнообразия водных экосистем Вьетнама [Stolbunov, Tran Duc Dien, Armbruster, 2020]. Следовательно, необходимо проведение мониторинга инвазионного процесса, а также продолжение исследований биологических характеристик «успешных» видов-вселенцев.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 121051100104-6 и темы «Эколан 3.2» Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского и технологического центра, а также при частичной поддержке гранта акционерного общества Vingroup, стипендиальной программы Фонда инноваций Vingroup (VINIF), Института наук и технологий Vingroup Big Data Institute (VINBIGDATA), код VINIF.2020.TS.84.

Видовое разнообразие и пространственная структура макробентоса в лагуне на Зелёном мысу (Кандалакшский залив, Белое море)

Столяров А. П., Мардашова М. В.

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

macrobenthos@mail.ru

Прибрежные лагуны расположены на границе между морем и сушей и характеризуются неустойчивым гидрологическим, солевым и кислородным режимом, что оказывает существенное влияние на структуру формирующихся здесь сообществ живых организмов [Basset et al., 2013 ; Лабай и др., 2014 ; Комплексные исследования Бабьего моря, 2016 ; De Wit et al., 2017 ; Столяров, 2017 ; Столяров, Мардашова, 2017 ; Franzo et al., 2019 ; Stolyarov, 2019]. Цель настоящей работы состояла в изучении видовой и пространственной структуры макробентоса в полуизолированной небольшой лагуне Белого моря в районе ББС МГУ летом 2015, 2018 гг. Лагуна характеризуется трёхслойной гидрологической структурой и образованием сероводорода в глубоководном центральном районе [Шапоренко и др., 2005]. В водоёме в определённые периоды наблюдается массовое развитие криптофитовых водорослей *Rhodomonas* sp. [Краснова и др., 2014].

Всего в сублиторали исследованной лагуны встречен 31 вид беспозвоночных животных и 3 вида морских трав и водорослей (*Cladophora sericea*, *Zostera marina*, *Fucus vesiculosus*).

Полученные данные по видовому составу и пространственной структуре формирующихся здесь сообществ бентосных организмов свидетельствуют о неоднородности видовой структуры макробентосного сообщества и о преобладании в прибрежном районе в основном литоральных солоноватоводных и морских эвригаллиных видов макробентоса (*Hydrobia ulvae*, *Tubificoides benedii*, *Chironomus salinarius*, *Macoma balthica*), в центральном — морских эвригаллиных литоральных и сублиторальных видов (в основном полихеты *Heteromastus filiformis*, *Polydora ciliata*, *Capitella capitata*), а на выходе из лагуны — морских сублиторальных менее эвригаллиных видов (*Pontoporeia femorata*, *Anonyx nugans*, *Nereimyra punctata*, *Terebellides stroemi*, *Astarte montagui*, *Micronephthya minuta*, *Atylus carinatus*). Наиболее низкими видовым разнообразием и общей биомассой сообщества макробентоса характеризуется центральный глубоководный район лагуны (3,5–5 м), а более высокими значениями — прибрежный район небольших глубин (1–3 м), промежуточное положение занимает область, расположенная на выходе из лагуны. Экосистема лагуны на Зелёном мысу относится к значительно отгороженным от моря лагунам с повышенным содержанием органического вещества в осадках, где преобладают комплексы литоральных морских эвригаллиных и солоноватоводных видов макробентоса с доминированием мелких детритофагов, что является, по-видимому, следствием её большей опреснённости (особенно ранней весной во время снеготаяния или летом и осенью во время сильных дождей и т. д.) и заиленности.

Дальнейшее зарегулирование лагуны в связи с продолжающимся подъёмом берегов Белого моря (4 мм в год в этом районе) [Романенко, Шилова, 2012] может привести через несколько десятилетий к изменению гидрологического и, как следствие, солевого и кислородного режима водоёма, что будет способствовать снижению видового разнообразия и доминированию немногих мелких эвригаллиных видов беспозвоночных животных, устойчивых к органической нагрузке, дефициту кислорода и опреснению.

Ихтиопланктон у побережья Новороссийской и Геленджикской бухт в летний период 2019–2020 гг.

Студиград Н. П.

Новороссийский учебный и научно-исследовательский морской биологический центр (филиал)
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», Новороссийск, Россия

biozentr@yandex.ru

Рассмотрены основные характеристики ихтиопланктона у открытого побережья Новороссийской и Геленджикской бухт в летний период 2019–2020 гг. Качественный состав, общая численность и количественная выравненность видов в сообществе в Новороссийской бухте превышают аналогичные показатели в Геленджикской бухте, что подтверждается индексами видового разнообразия Шеннона и Пиелу. Преобладала в первом из названных выше районов икра хамсы, во втором — морского карася.

Отбор проб проводился сетью ИКС-80 с борта судна, во время его циркуляции в заданном районе, со скоростью 2 узла, в течение 10 минут. У открытого побережья Новороссийской бухты обловы проводились на четырёх станциях, Геленджикской — на трёх.

Период размножения и развития ихтиофауны совпадает со временем ежегодно возрастающей транспортной и рекреационной нагрузки. В Новороссийской бухте в изучаемый период начала функционировать военно-морская база, наблюдались активное расширение причальных площадей, рост грузооборота в порту и в ряде промышленных предприятий восточного побережья. Геленджикская бухта — рекреационный объект Черноморского побережья, до недавнего времени не задействованный в перевалке крупных грузов. Основной экологической проблемой данного района является аварийное состояние ливневой канализации, к которой нелегально подключена значительная часть частного сектора. Содержимое стоков во время дождей поступает в море, что приводит к повышению уровня загрязняющих веществ и микрофлоры; особенно остро данная проблема встаёт в летний период. В связи с этим целью данной работы является исследование ихтиопланктона как важного компонента пелагического сообщества и объекта, характеризующего развитие региональной ихтиофауны в условиях возрастающей антропогенной нагрузки.

Качественный состав ихтиопланктона в открытом районе Новороссийской бухты включал икру 16 видов и личинки 15 видов рыб. Общая численность икры составляла 344,8 экз. на 100 м³. Среди икры преобладала хамса *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758) (25,8 %), в полтора раза реже встречалась ставрида *Trachurus ponticus* Aleev, 1956 (17,1 %), на долю барабули *Mullus barbatus ponticus* Essipov, 1927 приходилось 12,4 %. Практически в равных количествах на начальных стадиях развития вылавливались морской карась *Diplodus annularis* (Linnaeus, 1758) и гребенчатый губан *Ctenolabrus rupestris* (Linnaeus, 1758) (10,8 и 9,8 % соответственно). Икра арноглоссуса *Arnoglossus kessleri* Schmidt, 1915 составляла 7,5 % от уловов. Численность икры прочих видов (тёмный горбыль *Sciaena umbra* (Linnaeus, 1758), сарган *Belone euxini* Günther, 1866, морской язык *Pegusa nasuta* (Pallas, 1814), лобан *Mugil cephalus* (Linnaeus, 1758), сингиль *Chelon auratus* (Risso, 1810), звездочёт *Uranoscopus scaber* Linnaeus, 1758, морская мышь *Callionymus pusillus* Delaroche, 1809, морской ёрш *Scorpaena porcus* Linnaeus, 1758, ошибень *Ophidion rochei* Müller, 1845, морской дракон *Trachinus draco* Linnaeus, 1758) варьировала от 0,1 до 4,2 %.

Среди личинок, общее количество которых составляло 50,8 экз. на 100 м³, доминировали оседлые представители, развивающиеся в прикреплённой к субстрату икре (77 %). Представи-

тели сем. губановых Labridae [пулена *Symphodus ocellatus* (Forsskål, 1775), зеленушка *S. tinca* (Linnaeus, 1758), перепёлка *S. roissali* (Risso, 1810) и рябчик *S. cinereus* (Bonnaterre, 1788)] составляли 39 % от общего количества личинок. Несколько реже (30 %) встречались виды из сем. собачковых Blenniidae [морская собачка-павлин *Salaria pavo* (Risso, 1810), морская собачка длиннощупальцевая *Parablennius tentacularis* (Brünnich, 1768), морская собачка Звонимира *P. zvonimiri* (Kolombatovic, 1892) и обыкновенная морская собачка *P. sanguinolentus* (Pallas, 1814)]. Вклад сем. бычковых Gobiidae [чёрный бычок *Gobius niger* Linnaeus, 1758 и малый бычок-бубырь *Pomatoschistus minutus* (Pallas, 1770)] составлял 8 %. Численность прочих придонных представителей [сарган и морская уточка *Lepadogaster lepadogaster* (Bonnaterre, 1788)] не превышала 1 %.

Личинок пелагофильных видов насчитывалось 23 %, из них 13 % приходилось на хамсу, 8 % — на морского карася, 1 % — на атерину *Atherina boyeri pontica* Eichwald, 1831.

В материалах, отобранных в районе Геленджикской бухты, обнаружено 9 видов икры и 4 вида личинок рыб. Общая численность икры по показателям уступала таковой в вышеописанном районе и составляла 245,8 экз. на 100 м³. В пробах доминировала икра морского карася (71,2 %); доля хамсы составляла 10,9 %, гребенчатого губана — 6,7 %. Количество икры прочих видов [барабуля, тёмный горбыль, ставрида, морской язык, арноглоссус, каменный окунь *Serranus scriba* (Linnaeus, 1758)] колебалось от 0,3 до 4,3 %.

Численность личинок в открытом районе Геленджикской бухты составляла 9,8 экз. на 100 м³, что на порядок ниже аналогичного значения в районе Новороссийска. В составе личиночного комплекса превалировало сем. бычковых — 61 % (чёрный бычок и бычок-лысун *Pomatoschistus microps*); сем. губановых (обнаружен 1 вид — рябчик) насчитывало 26 %, сем. собачковых (также 1 вид — морская собачка Звонимира) — 8 %. Пелагофильные виды (5 %) представлены личинками хамсы.

Большее видовое разнообразие ихтиопланктона и менее выраженное доминирование отдельного вида у открытого побережья Новороссийской бухты математически подтверждено индексами видового разнообразия Шеннона и выравнинности Пиелу, значения которых составляли 2,53 и 0,75 соответственно. Относительные значения данных индексов для побережья Геленджикской бухты ниже — 1,23 и 0,48 соответственно.

Потенциально опасный паразит Приморского края — трематода *Dicrocoelium* sp.

Татонова Ю. В.^{1,2}

¹Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток,
Россия

²Дальневосточный федеральный университет, Школа биомедицины, Владивосток, Россия

ytatonova@gmail.com

На территории Приморского края, занимающей трансграничное положение в Азии, циркулирует большое количество паразитов человека, включая трематод. Среди них наибольшее эпидемиологическое значение на Дальнем Востоке России имеют представители родов *Clonorchis*, *Metagonimus*, *Paragonimus* и *Nanophyetus* [Миропольская, Молочный, 1996], паразитирующие в печени, лёгких и кишечнике человека, вызывая тяжёлые последствия для организма, в том числе онкологические заболевания. Тем не менее нельзя забывать и о паразитах, которые потенциально опасны для населения, но пока мало изучены в регионе. Представители рода *Dicrocoelium* зарегистрированы на Дальнем Востоке в качестве возбудителей так называемых редких гельминтозов. Наибольшее эпидемиологическое значение из представителей этого рода имеет вид *Dicrocoelium dendriticum*, или ланцетовидная двуустка. Заражение происходит через муравьёв, которые под действием паразитов забираются на растения, прочно прикрепляются к ним и вместе с растительной пищей могут попасть в организм человека и других животных, где поражают печень и желчные протоки. Этот вид обнаружен в Европе, Азии, северной части Африки и Северной Америке [Soulsby, 1968]. Другой эпидемиологически важный паразит из этого рода — *Dicrocoelium chinensis* — преимущественно паразитирует в Азии [Manga-González et al., 2001]. Оба червя обнаружены в Китае [Li, 2012].

О представителях этого рода опубликовано множество работ, в том числе об их изучении с применением современных молекулярных методов [Liu et al., 2014 ; Hayashi et al., 2017 ; Shahnazi et al., 2019 ; и др.]. Несмотря на общую границу со странами Азиатско-Тихоокеанского региона, а также регистрацию паразитов из этого рода у человека на территории Дальнего Востока России [Миропольская, Молочный, 1996], генетические данные для представителей рода *Dicrocoelium*, циркулирующих в России, до сих пор отсутствуют. Как показывает опыт работы с трематодами из различных семейств, территория Приморского края и Дальнего Востока заселена большим количеством эндемичных видов, таксономический статус которых стало возможно определить только в рамках комплексных исследований [Shumenko et al., 2017 ; Tatonova et al., 2018 ; Besprozvannykh et al., 2019], включающих и морфологические, и молекулярные критерии. В данной работе были получены генетические данные для обнаруженного в Приморском крае паразита *Dicrocoelium*.

Взрослые черви *Dicrocoelium* извлечены из естественного заражённого пятнистого оленя из Ольгинского района Приморского края. Часть полученных червей зафиксирована в спирте для последующего генетического анализа. Выделение ДНК, получение ПЦР-продуктов и секвенальная реакция проведены по стандартным методикам. Получены частичные нуклеотидные последовательности гена 28S рРНК и гена *cox1* мтДНК. Проанализированные материалы показали, что представитель *Dicrocoelium*, согласно генетическим данным, отличается от всех червей этого рода, в том числе от *D. dendriticum* и *D. chinensis*. Филогенетические реконструкции и генетические

дистанции выявили, что трематода из России ближе всего к виду *D. dendriticum*. Тем не менее наличие фиксированных замен как в ядерном, так и митохондриальном маркере указывает на то, что это новый для науки вид. Для уточнения систематического положения *Dicrocoelium* sp. планируется дальнейшее изучение паразита с использованием морфологических критериев.

Видовое разнообразие макрозообентоса на различных грунтах в северо-восточной части Чёрного моря (2019 г.)

Терентьев А. С.¹, Колесников М. В.²

¹Отдел «Керченский» Азово-Черноморского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Керчь, Россия

²Государственный океанографический институт имени Н. Н. Зубова, Москва, Россия

iskander65@k.ru

В 2019 г. в северо-восточной части Чёрного моря на глубине от 10 до 60 м было определено 6 типов грунтов. Песок залегал в мелководной части — до глубины 38 м; илистый песок — до 23 м. Песчанистый ил обнаружен на 35-метровой глубине; ракушечники — на глубинах от 22 до 43 м. Чёрные илы отмечались на глубине 55 м. На больших глубинах залегал фацеолиновый ил, состоящий из серого ила, перемешанного с пустыми створками двустворчатого моллюска *Modiolula phaseolina* (Philippi, 1844).

В дночерпательных пробах обнаружено 94 вида животных: 28 видов полихет, 20 ракообразных, 18 двустворчатых моллюсков, 9 брюхоногих моллюсков, 6 губок, 4 асцидий, 3 иглокожих, по 1 виду книдарий, форонид, панцирных моллюсков и ланцетников. Встречались также немертины и олигохеты. Отмечались колонии мшанок.

Расчёты, проведённые с помощью дисперсионного анализа, показали, что видовое богатство зообентоса на 82–94 % определялось типом грунта.

На песке обнаружено 42 вида животных. Плотность видов в среднем равнялась $(13,2 \pm 2,2)$ вида на $0,3 \text{ м}^2$. Наибольшая доля видового богатства (29 %) и численности (76 %) приходилась на двустворчатых моллюсков. Наиболее многочисленным из них была *Chamelea gallina* (Linnaeus, 1758): на её долю приходилось 78 % общей численности двустворчатых моллюсков и 60 % общей численности зообентоса. На втором месте стоял другой двустворчатый моллюск, *Pitar rudis* (Poli, 1795); его доля в численности двустворчатых моллюсков равнялась 11 %, а в общей биомассе зообентоса — 8 %. На долю полихет приходилось 26 % видового богатства зообентоса и 2,8 % его численности. Среди них наиболее многочисленным видом был *Heteromastus filiformis* (Claparède, 1864) — 21 % общей численности полихет. Доля ракообразных в видовом богатстве зообентоса равнялась 19 %, а в его численности — 15 %. При этом 79 % их численности приходилось на морской жёлудь *Amphibalanus improvisus* (Darwin, 1854). Доля брюхоногих моллюсков в видовом богатстве зообентоса составляла 17 %, а в его численности — 4,1 %. Доминировал *Bittium reticulatum* (da Costa, 1778) — 45 % всей численности брюхоногих моллюсков. На долю остальных таксономических групп приходилось 9,5 % видового богатства и 2,4 % численности зообентоса.

На илистом песке обнаружено 14 видов животных. Плотность видов в среднем составила $(6,3 \pm 1,1)$ вида на $0,3 \text{ м}^2$. Наибольшая доля видового богатства (43 %) приходилось на двустворчатые моллюски, среди которых доминировали *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) и *P. rudis*. Эти два вида имели практически равную численность. На их долю приходилось 84 % общей численности двустворчатых моллюсков и 70 % общей численности зообентоса. Всего на долю двустворчатых моллюсков приходилось 84 % численности зообентоса. Доля брюхоногих моллюсков — 21 % видового богатства зообентоса и 3,1 % его численности. Половина их численности приходилась на *Calyptrea chinensis* (Linnaeus, 1758). На долю полихет приходилось 14 % видового богатства зообентоса и 1,5 % его численности. Доля ракообразных в видовом богатстве зообентоса равнялась 7,1 %, в его численности — 9,2 %. Доминировал *Am. improvisus*. На долю

всех остальных таксономических групп приходилось 14 % видового богатства и 2,3 % численности зообентоса.

На песчанистом иле обнаружено 11 видов животных. Плотность видов была $(4,9 \pm 0,8)$ вида на $0,3 \text{ м}^2$. Наибольшая доля видового богатства (55 %) и численности (75 %) приходилось на полихет, среди которых доминировала *Mysta picta* (Quatrefages, 1866) (33 %). Губки были представлены небольшими колониями *Oceanapia ascidia* (Schmidt, 1870); ракообразные — амфиподой *Ampelisca diadema* (Costa, 1853); брюхоногие моллюски — *Retusa truncatula* (Bruguère, 1792); двустворчатые моллюски — *P. rudis*; асцидии — *Ciona intestinalis* (Linnaeus, 1767). Все они были относительно немногочисленными.

На ракушечниках обнаружено 73 вида животных. Плотность видов равнялась $(29,4 \pm 1,7)$ вида на $0,3 \text{ м}^2$. Здесь были встречены все таксономические группы, за исключением форонид. Полихеты доминировали как по видовому богатству (36 %), так и по численности (34 %). Наиболее многочисленной была *Melinna palmata* Grube, 1870: на её долю приходилось 25 % численности полихет и 8 % общей численности зообентоса. Двустворчатые моллюски уступали полихетам по видовому богатству (19 %), но при этом не уступали по численности (35 %). Наиболее многочисленным был *P. rudis* — 42 % численности двустворчатых моллюсков и 14 % общей численности зообентоса. На втором месте стояла *Ch. gallina* — 33 и 11 % соответственно. Ракообразные не уступали по видовому богатству двустворчатым моллюскам (21 %). На их долю приходилось 11 % всей численности зообентоса. Доминировала *Am. diadema* — 37 % общей численности ракообразных. Остальные таксономические группы занимали 17 % видового богатства зообентоса и 12 % его численности.

На иле обнаружено 16 видов животных. Плотность видов составила $(10,5 \pm 2,5)$ вида на $0,3 \text{ м}^2$. Половина всего видового богатства и 68 % его численности приходились на полихет, среди которых преобладал *Terebellides stroemii* Sars, 1835. Его доля в численности полихет составляла 58 %, а в общей численности зообентоса — 40 %. На долю двустворчатых моллюсков приходилось 19 % видового богатства зообентоса и 16 % его численности. Доминировала *Abra alba* (W. Wood, 1802): её доля в численности двустворчатых моллюсков равнялась 62 %, а в общей численности зообентоса — 10 %. Заметную роль в видовом богатстве зообентоса (13 %) играли иглокожие, представленные голотурией *Leptosynapta inhaerens* (O. F. Müller, 1776) и змеехвосткой *Amphiura stepanovi* Chernyavskii, 1861. При этом их доля в общей численности зообентоса была 4,1 %. На долю остальных таксономических групп приходилось 19 % видового богатства зообентоса и 11 % его численности.

На фацеолиновом иле обнаружено 12 видов. Плотность видов была $(5,4 \pm 0,8)$ вида на $0,3 \text{ м}^2$. Доля полихет составила 33 % по видовому богатству зообентоса и 29 % по его численности. Доминировал *T. stroemii* — 79 % всей численности полихет и 23 % всей численности зообентоса. На долю двустворчатых моллюсков приходилось 17 % видового богатства зообентоса и 64 % всей его численности. Доминировала *M. phaseolina*: её доля в численности двустворчатых моллюсков равнялась 98 %, а всего зообентоса — 6 %. Иглокожие не уступали в видовом богатстве двустворчатым моллюскам, однако на их долю приходилось всего 2,4 % численности зообентоса. Доля остальных таксономических групп составила 33 % видового богатства зообентоса и 4,8 % его численности.

По мере увеличения илистой фракции в грунте доминантная роль переходила от двустворчатых моллюсков к полихетам.

Наибольшим видовым разнообразием характеризовались ракушечники, которые отличались наиболее высоким видовым богатством зообентоса и достаточно высокой выровненностью видов

(индекс выровненности Пиелу (H') равен 0,78). На песчаном иле и иле выровненность видов также была высокой (H' составил 0,90 и 0,76 соответственно), однако эти грунты характеризовались низким видовым богатством зообентоса. Довольно высокое видовое богатство зообентоса наблюдалось на песке, но большая часть видового богатства приходилась на небольшое количество доминантных видов ($H' = 0,48$). Фазеолиновый ил отличался низким видовым богатством, при этом подавляющая часть численности его зообентоса приходилась на доминантный и содоминантный виды ($H' = 0,49$).

Работа выполнена при совместной финансовой поддержке Программы развития ООН и Европейской комиссии в рамках международного проекта «Совершенствование мониторинга окружающей среды Чёрного моря» (EMBLAS-Plus) (проект № 110515).

Трофические группировки донных и придонных рыб различных семейств отряда Perciformes в прикамчатских водах

Токранов А. М.

Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия

Из более чем 400 видов рыб, известных в настоящее время в прикамчатских водах, около 27 % входят в состав отряда окунеобразных Perciformes. Целый ряд представителей таких семейств этого отряда, как бельдюговые Zoarcidae, стихеевые Stichaeidae и песчанковые Ammodytidae, обладают сравнительно высокой численностью и биомассой, являются важными компонентами шельфовых и верхнебатиальных ихтиоценов прикамчатских вод, выступают как потенциальные конкуренты или объекты питания промысловых рыб, морских птиц и млекопитающих и могут быть объектами промысла. Поскольку размеры и биотопы обитания представителей отдельных семейств отряда окунеобразных отличаются значительным разнообразием, состав их пищи и способы добывания кормовых организмов существенно различаются. Обобщение материалов по питанию 14 видов из 6 семейств отряда окунеобразных (Zoarcidae, Stichaeidae, Anarhichadidae, Bathymasteridae, Zaproridae и Ammodytidae), собранных в 1978–2020 гг. в прикамчатских водах Охотского моря и Тихого океана (проанализировано содержимое более 2 тыс. желудков), с учётом имеющихся литературных данных, даёт возможность получить представление о трофических группировках рыб этого отряда.

Результаты анализа данных по питанию 14 исследованных видов рыб отряда Perciformes позволили выделить среди них 3 трофических группировки (бентофаги, бентоихтиофаги и нектопланктофаги), представители каждой из которых отличаются по типу питания, составу и размерам потребляемых кормовых организмов. Ниже приводится краткая характеристика состава пищи рыб этих трофических группировок. Более полная информация изложена в опубликованных нами ранее работах, посвящённых изучению особенностей их питания.

Большинство представителей самой разнообразной трофической группировки бентофагов, составляющей 71,4 % от всех исследованных видов отряда Perciformes (белолинейный ликод *Lycodes albolineatus*, колючий *Acantholumpenus mackayi*, стреловидный *Lumpenus sagitta*, длиннорылый *Lumpenella longirostris* люмпены, стихей Невельского *Stichaeopsis nevelskoi*, длиннопёрая мшанковая собачка *Bryozoichthys lysimus*, бурополосый ликод *Lycodes brunneofasciatus*, бельдюга Андрияшева *Zoarces andriashevi* и бурый морской петушок *Alectrias alectrolophus*), являются типичными мезобентофагами. Они, за исключением трёх последних видов, питающихся преимущественно бокоплавами (59,1; 61,3; 75,8 % по массе соответственно), в основном питаются многощетинковыми червями (73,6; 69,2; 79,9; 87,3; 81,6; 90,1 % по массе соответственно). Однако каждый специализируется на потреблении представителей вполне определённых семейств. Если в пище более мелководных колючего и стреловидного люмпенов доминируют виды многощетинковых червей сем. Phyllodocidae и Pectinariidae, то у относительно глубоководного длиннорылого люмпена и стихея Невельского — сем. Maldanidae и Oweniidae, а у обитающей на скалистых грунтах длиннопёрой мшанковой собачки — сем. Sabellidae и Serpulidae. Главные пищевые объекты белолинейного ликода — многощетинковые черви сем. Phyllodocidae. Основу рациона сублиторальной бельдюги Андрияшева формируют бокоплавы сем. Atylidae, мезобентального бурополосого

ликода — сем. Lysianassidae, Ampeliscidae и Atylidae, а обитающего в литоральной зоне буроого морского петушка — сем. Gammaridae. К тому же, согласно нашим данным, по мере роста у ряда представителей семейств Zoarcidae и Stichaeidae значение многочетинковых червей и бокоплавов сокращается, и в рационе наиболее крупных особей, например белолинейного и бурополосого ликодов длиной свыше 60 см, существенную роль (12 и 45 % по массе соответственно) играют различные моллюски (Bivalvia, Gastropoda, Octopoda), у колючего люмпена — двустворчатые моллюски (17,7 %), а у стихея Невельского — эхиурус *Echiurus echiurus* и мелкие креветки рода *Spirontocaris* (4,5 и 7,7 % по массе соответственно).

В отличие от упомянутых видов семейств Zoarcidae и Stichaeidae, дальневосточная зубатка *Anarhichas orientalis* — макробентофаг, основными объектами питания которому служат двустворчатые моллюски родов *Macoma* и *Mya* и десятиногие раки (главным образом, раки-отшельники рода *Pagurus* и крабы *Hyas coarctatus* и *Telmessus cheiragonus*) (их частота встречаемости в пище составляет 66,7 %), а в меньшей степени — брюхоногие моллюски рода *Buccinum* (частота встречаемости 33,3 %) и морские ежи рода *Strongylocentrotus* (частота встречаемости 16,7 %), раковины и панцири которых зубатка дробит своими мощными зубами.

К трофической группировке бентоихтиофагов, главными пищевыми объектами представителей которой, наряду с бентическими организмами, являются различные рыбы, можно отнести лишь два исследованных нами вида — ликода Солдатова *Lycodes soldatovi* и серого батимастера *Bathymaster signatus*. Несмотря на достаточно широкий спектр питания, основными кормовыми объектами первому из них служат головоногие моллюски (осьминоги рода *Octopus* и командорский кальмар *Berryteuthis magister* — в сумме 24,1 %) и рыбы (преимущественно минтай *Theragra chalcogramma* и другие виды сем. Zoarcidae — суммарно 38,0 % по массе), второму — бокоплав, раки-отшельники рода *Pagurus* и сеголетки минтая (42,3; 14,1; 14,6 % по массе соответственно).

Наконец, представители третьей трофической группировки, нектопланктофагов, в состав которой из исследованных нами видов отряда Perciformes входят тихоокеанская песчанка *Ammodytes hexapterus* и запрора *Zaprora silenus*, используют в пищу в основном организмы, концентрирующиеся в придонных водах. По литературным данным [Чучукало, 2006], в период нагула в пище тихоокеанской песчанки доминируют различные планктонные ракообразные (преимущественно веслоногие и эвфаузииды), однако, согласно результатам наших исследований, главной пищей ей в прикамчатских водах, наряду с веслоногими рачками рода *Calanus*, служат пелагические оболочники рода *Oikopleura* и личинки десятиногих ракообразных на стадии мегалопа (36,2; 37,8; 21,1 % по массе соответственно). Основными пищевыми объектами запроры являются такие желательные организмы, как сцифоидные медузы Scyphozoa и гребневники Stenophora, частота встречаемости которых в её желудках составляет 60,8 и 10,7 % соответственно. При этом у крупных особей медуз запрора в процессе питания откусывает своим относительно большим конечным ртом, с режущими однорядными зубами на челюстях, лишь края зонтиков.

Подобная пищевая специализация исследованных представителей отряда Perciformes, наряду с частичным расхождением их батиметрических диапазонов обитания и участков шельфа и верхней батиали, на которых преимущественно концентрируются эти рыбы, обеспечивает, на наш взгляд, снижение пищевой конкуренции между ними и более полное использование кормовых ресурсов.

Структурное разнообразие почвенного банка семян пойменных лесных сообществ

Торгашкова О. Н., Ефимова Д. И., Татьяна Е. О., Каргина Р. Р.

ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет
имени Н. Г. Чернышевского», Саратов, Россия

torgaschkova88@mail.ru

Одним из перспективных подходов к оценке состояния растительных сообществ является исследование почвенного банка семян, без изучения которого невозможно получить полноценные данные о структуре и функционировании растительных сообществ. Почвенный банк — это обязательный компонент популяций у многих видов растений в широком ряду растительных формаций, который служит своеобразным резервом ответных реакций экосистем на различные комбинации параметров внешней среды и антропогенные нарушения. Особенности структуры семенного банка позволяют оценить способности сообществ к самоподдержанию и самовосстановлению. Кроме того, закономерности связи семенного банка с флористическим составом растительных сообществ могут быть использованы при определении тенденций формирования структуры сообществ, а также могут дополнить представления об истории и путях формирования изучаемых фитоценозов.

Исследование банка семян проводилось в лесных сообществах архипелага Азанка реки Волги вблизи города Энгельса Саратовской области. Район для изучения был выбран в связи с тем, что на его территории встречаются пойменные лесные сообщества, а также наблюдается закономерное чередование сообществ по поперечному профилю поймы, обусловленное изменением режима увлажнения, мощностью аллювия и механического состава почв. В исследованных сообществах сформировались аллювиальные (пойменные) почвы, характеризующиеся регулярным затоплением паводковыми водами и отложением на поверхности почв свежих слоёв аллювия.

Изучение качественного и количественного состава банка семян проводилось методом лабораторного проращивания [Петров, 1988].

Запас жизнеспособных семян в исследованных фитоценозах невелик (от 400 до 7800 шт.·м⁻²), что связано с неблагоприятным экологическим режимом, сформировавшимся в исследованных сообществах (повышенная влажность, долговременное затопление и др.). Наибольшее число семян обнаружено в белотопольниках, формирование семенного банка которых определяется способностью семян к долговечности в условиях повышенного увлажнения (*Galium mollugo*, *G. boreale*, *Urtica dioica*, *Bidens tripartita*, *Sonchus arvensis*, *Polygonum dumetorum*, *Ranunculus repens*). В дубравах встречаются реликтовые семена *Dryopteris cristata*, в подстилке и верхних слоях почвы содержится большое количество диаспор *Artemisia vulgaris*, *Stellaria holostea* и *Mentha arvensis*, которые являются местными. Значительное число семян обнаружено в вязовниках (*Dryopteris cristata*, *Aristolochia clematidis*, *Galium aparine*, *Ulmus pumila*).

Флористическое разнообразие почвенного банка семян лесных фитоценозов составляют жизнеспособные семена 43 видов, относящихся к 35 родам из 17 семейств. Преобладающими по числу выявленных видов в банке семян являются семейства Compositae (6 видов), Labiatae (5 видов), Graminea (5 видов). Видовой состав семенного банка в значительной степени соответствует составу современного ценоза (коэффициент Жаккара $K_j = 0,70$). Основу структурного биоразнообразия

семенного банка изученных лесных сообществ составляют лесные виды растений, но в значительном количестве встречаются прибрежно-водные и сорные.

Структурное разнообразие почвенных банков семян оценивалось по составу жизненных форм и набору экоценотических групп. В семенном банке исследованных лесных сообществ возрастает доля ценопопуляций видов многолетников. Это служит одним из показателей слабой нарушенности фитоценозов: чем выше число ценопопуляций видов-эксплерентов, тем более антропогенно нарушен ценоз. В спектре жизненных форм семенных банков пойменных лесных сообществ господствуют травянистые растения (94,4 %), но также присутствуют семена древесных и кустарниковых видов (5,6 %). Среди травянистых видов преобладают длиннокорневищные и стержнекорневые травянистые поликарпики, менее многочисленны короткорневищные, стержнекорневые, рыхлодерновидные и кистекокорневые травы. По способу опыления наибольшее количество характерно для энтомофилов, что связано с тем, что в лесных сообществах затруднено опыление ветром, а также достаточно велика вероятность потери пыльцы из-за сноса в воду. В семенном банке наиболее представленными являются виды, имеющие плод семянку, практически в одинаковых количествах отмечены орешек, коробочка и зерновка.

Специфика функционирования банка семян определяется постоянным присутствием семян видов, характеризующихся неглубоким эндогенным покоем (*Oenothera biennis*, *Dactylis glomerata*, *Galium mollugo*) с разной локализацией запасных веществ при значительном преобладании семян с эндоспермом из семейств Composita и Gramineae (около 54–67 %) и с сочетанием семян с быстрым (1–3 недели) и медленным (в течение всего сезона) прорастанием. Установлено, что в семенном банке большинство семян характеризуется прямым зародышем; семена с другими типами зародышей немногочисленны.

Таким образом, банк семян можно определить как подсистему биогеоценотического уровня, элементы которой, семена, находятся в почве и сохраняют жизнеспособность в течение ряда лет, обеспечивая самоподдержание ценопопуляции и сообществ. Процессы функционирования банка семян происходят при тесном взаимодействии с компонентами биогеоценоза — экотипом и биоценозом. Для каждого лесного фитоценоза содержание всхожих семян в почве лимитируется сочетанием ряда факторов, определяющих их жизнеспособность и возможность прорастания, — особенностями биологии семян (наличие или отсутствие периода органического покоя, характер их прорастания), масштабами семенной продуктивности растений, а также соотношением способов их размножения, близостью источников поступления заносных семян, историей формирования фитоценоза.

Свободноживущие инфузории (Ciliata, Ciliophora) некоторых пресноводных объектов г. Хабаровска и его окрестностей

Трибун М. М.

Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

tribunmikhail@gmail.com

Проблема изучения и сохранения пресноводных экосистем тесно связана с исследованием их биоразнообразия. Инфузории (Ciliata, Ciliophora) — наиболее высокоорганизованные представители простейших, численность которых, по разным оценкам, составляет от 3 до 30 тыс. видов. Изучение ресничных актуально как в теоретических, так и в прикладных исследованиях. Цилиата используется как модельный объект при решении вопросов цитологии, генетики, физиологии, биохимии клетки, а также при решении некоторых общебиологических проблем (пути эволюции одноклеточных, морфофизиологические аспекты адаптивной эволюции и т. д.).

Материалом для настоящей работы послужили гидробиологические пробы, отобранные из ряда естественных и антропогенно трансформированных водных объектов. В качестве природных экосистем выбраны река Амур (прибрежная часть в районе г. Хабаровска) и её малые притоки (реки Красная, Чёрная, Берёзовая), а из искусственных — аэротенки очистных сооружений и центральный городской пруд. На предмет выявления инфузорий проанализировано свыше 500 водных образцов.

В результате таксономической ревизии цилиосообществ природных и техногенных пресноводных экосистем г. Хабаровска и его окрестностей выявлен 91 вид, относящийся к 2 подтипам, 11 классам, 24 отрядам и 46 семействам. Наиболее представительные классы (по числу видов) — Oligohymenophorea (35 % от всего фаунистического разнообразия), Spirotrichea (16,5 %) и Litostomatea (15,3 %). В водотоках суммарно выявлено 66 видов ресничных, а в водоёмах — 62. Наибольшее видовое разнообразие инфузорий отмечено в центральном городском пруду (43 вида), а также в реках Красная (40) и Чёрная (35). Индикационный комплекс цилиата обследованных водных объектов представлен пятью эвритопными видами: *Aspidisca cicada*, *Tachysoma pellionellum*, *Paramecium caudatum*, *Uronema marinum* и *Vorticella convallaria*. К категории стено-топных относятся 42 вида, составляющих 46 % от общего фаунистического богатства ресничных. При этом $\frac{1}{3}$ узкоприспособленных видов характерна исключительно для биоценоза очистных сооружений, что, по нашему мнению, связано с уникальными условиями существования инфузорий в аэротенках (постоянная аэрация иловой смеси; хлопьевидная структура активного ила создаёт предпосылки для колонизации перифитонными формами; стабильная температура воды; дополнительное поступление в сточные воды органических соединений и т. д.).

Коэффициент видовой сходства сообществ инфузорий (согласно формуле Чекановского — Сёренсена) между природными и техногенными экосистемами составил 57,8 %. Следует отметить, что более 40 % всех выявленных видов фиксировались как в естественных, так и в антропогенных биоценозах. Однако детальный анализ продемонстрировал, что между некоторыми объектами показатель видовой общности значительно ниже. В особенности это характерно для цилиосообщества аэротенков, где величина указанного коэффициента составляет от 17,6 до 35,7 %. В цилиоценозе очистных станций зафиксировано 14 стено-топных видов: *Acineta tuberosa*, *Acineria uncinata*, *Cothurnia imberbis*, *Dendrosoma radians*, *Discophrya elongata*, *Epistylis chrysemidis*, *Litonotus carinatus*, *Opercularia coarctata*, *O. curvicaulis*, *O. phryganea*, *Trichophrya*

brevis, *Vorticella alba*, *V. octava* и *Zoothamnium procerius*. Между рекой Амур и её малыми притоками параметр фаунистической общности цилиофауны варьирует в узком диапазоне от 47 до 58 %, что указывает на постоянство видового состава инфузорий обследованных водотоков, а также на схожесть экологических условий в реках. Кроме того, литературные данные и собственные наблюдения подтверждают идею о том, что фаунистическое сходство комплексов ресничных разных рек в пределах одной речной сети значительно выше.

При анализе данных по приуроченности инфузорий к различным экологическим зонам водного объекта получены следующие результаты: большинство видов колонизирует перифитонный (23 вида), бентосный (19) и «переходный» перифитонно-бентосный (19) экотоп. Суммарно к данным группам относились 67 % от всех выявленных видов цилиата. Бедное видовое разнообразие истинно планктонных видов связано с незначительными глубинами исследованных объектов и отсутствием чётких границ между отдельными экологическими зонами. Однако если учитывать, что каждый вид, заселяющий две и более экологические зоны, относится к «переходным», то деление на предпочитаемые участки биотопа выглядит следующим образом: «переходная» — 40 видов, перифитон — 24, бентос — 19, планктон — 8. Богатое видовое разнообразие перифитонных инфузорий связано со спецификой экологических условий в водных объектах. Так, появление стебелька у «прикреплённых» форм способствовало возникновению адаптаций к скорости движения окружающего потока воды. В дальнейшем в эластичном стебельке появились структуры, позволившие ему сокращаться и двигаться вместе с обтекающей жидкостью, что снижало гидродинамическую нагрузку [Довгаль, 2001]. При этом сообщество перифитона представлено не только прикреплёнными, но и подвижными формами, способными передвигаться вдоль субстрата. Этот факт позволяет выделить две группировки в сообществе обрастания — перифитонно-бентосную (*Euplotoides patella*, *Aspidisca cicada*, *Chilodonella uncinatus*, *Stylonychia mytilus* и др.) и планктонно-бентосную (*Amphileptus pleurosigma*, *Lacrimatoria olor*, *Litonotus lamella* и т. д.).

Трофическая структура цилиосообществ обследованных пресноводных объектов оказалась достаточно простой. Ядро цилиофауны представлено бактерио-детритофагами, на долю которых приходилось 57 %. К категории хищных относились 18 видов инфузорий, составляющих 19,7 % общего фаунистического богатства цилиата. Массовое развитие хищников сохраняется непродолжительное время и связано с изменением численности их основных жертв. Например, для рода *Didinium* максимальная численность особей отмечается в период снижения числа *Paramecium*, которые являются предпочтительной кормовой базой. В данном случае интенсивное размножение хищников происходит за счёт уменьшения размеров их тела. Остальные трофические группы (фототрофы, гистофаги, всеядные и др.) были малочисленны, численное соотношение видов из этих категорий в природных и техногенных водных объектах было примерно одинаковым. Исключение составила группировка фототрофных инфузорий: *Stentor polymorphus*, *Oxytricha chlorelligera*, *Halteria chlorelligera*, *Didinium chlorelligerum* и *Paramecium bursaria*. При этом в естественных водотоках фиксировался только *Stentor polymorphus*, а в центральном городском пруду — весь спектр видов. Их массовое развитие в водоёме отмечалось в летне-осенний период во время интенсивного эвтрофирования, что связано с нарушением светового режима, низким рН, недостатком растворённого в воде кислорода и т. д.

Во всём широком многообразии организмов-индикаторов цилиатам принадлежит особое место ввиду их функциональной и морфологической специфики. Инфузории быстро размножаются и оперативно реагируют на любые изменения в состоянии окружающей среды. В пресноводных экосистемах г. Хабаровска и его окрестностей зафиксировано 68 индикаторных (показательных) видов. Индекс сапробности каждого водного объекта составил: река Амур — 2,96; река Берёзо-

вая — 3,04; река Чёрная — 2,92; река Красная — 2,75; аэротенки — 2,93; центральный городской пруд — 2,54. Следовательно, обследованные биотопы относятся к α -мезосапробной категории. Характерные особенности этой зоны — низкая концентрация растворённого в воде кислорода, большое число сапрофитных бактерий, протекание окислительно-восстановительных процессов и др.

Анализ генотипического полиморфизма трематод *Leucochloridium paradoxum*

Усманова Р. Р.¹, Прохорова Е. Е.¹, Лопатина О. Д.¹, Богачева Т. А.¹, Токмакова А. С.¹,
Жохов А. Е.², Атаев Г. Л.¹

¹Российский государственный педагогический университет имени А. И. Герцена,
Лаборатория экспериментальной зоологии, Санкт-Петербург, Россия

²Институт биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина РАН,
Лаборатория экологической паразитологии, Борок, Россия

rregina.usmanova@gmail.com

Окраска зрелых отростков спороцист трематод рода *Leucochloridium* является видоспецифическим признаком. Это подтверждено молекулярно-биологическими исследованиями с использованием в качестве маркера кластера рибосомных генов [Ataev et al., 2016].

Среди трематод данного рода на территории европейской части России и Белоруссии наиболее часто встречаются виды *L. perturbatum* с коричневыми отростками и *L. paradoxum* с зелёными отростками. Между тем исследователями отмечается индивидуальная изменчивость в окраске отростков спороцист данных видов. В связи с этим возник вопрос о генетическом полиморфизме трематод вида *L. paradoxum*.

В ходе исследований с использованием праймеров JB3 и CO1R Trema [Nakao et al., 2019]) было получено 16 последовательностей фрагмента гена I субъединицы цитохром-с-оксидазы (606 п. н.), которые были использованы для построения сетей гаплотипов. Помимо оригинальных данных, в анализе использовали последовательности из GenBank [LC466790-LC466795 ; Nakao et al., 2019].

Все последовательности были отнесены к 16 гаплотипам, которые на медианной сети распределились в две группы — Восточно-Европейскую и Японскую. Первая включала образцы из Ленинградской (Вырица, Любань, Бокситогорск, Кузьмолово) и Ярославской области (Борок), а также Витебского района Белоруссии. Наиболее представленным в Восточно-Европейской группе оказался гаплотип 8, в который вошли образцы из Ленинградской и Ярославской области, а также Витебской области Белоруссии. Остальные 10 гаплотипов отличаются от 8-го небольшим (1–2) количеством замен, вся группа характеризуется звездообразной структурой. Самым высоким гаплотипическим разнообразием отличается популяция из Борка (Ярославская область): 4 образца из данной точки относятся к 4 гаплотипам.

Японская группа, в которую вошли 5 гаплотипов, отделена от Восточно-Европейской 11 нуклеотидными заменами. Её структура не отличается звездообразной формой, что, вероятно, связано с малым объёмом выборки.

Анализ генетических дистанций между гаплотипами, выполненный в программе Mega X, показал, что минимальное расстояние между гаплотипами Восточно-Европейской группы составило 0,002, максимальное — 0,007 (медиана 0,003). В пределах Японской группы гаплотипов минимальное расстояние — 0,003, максимальное — 0,007 (медиана 0,003). Однако расстояние между гаплотипами из данных групп составило 0,029 (по медиане). Нуклеотидное разнообразие последовательностей в составе Восточно-Европейской группы — 0,003, Японской группы — 0,004. На наш взгляд, отмеченные различия между двумя группами укладываются в рамки внутривидовой изменчивости.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-04-00384 А).

Биоразнообразие семейства Orchidaceae на золоотвалах Среднего Урала

Филимонова Е. И., Лукина Н. В., Глазырина М. А., Чибрик Т. С.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, лаборатория
антропогенной динамики экосистем, Екатеринбург, Россия

elena.filimonova@urfu.ru

Для разработки мер по охране генофонда редких видов крайне важно изучение особенностей их распространения, эколого-биологической характеристики, жизненной стратегии, реакции на воздействие техногенных и природных факторов. На Урале в условиях высокого уровня индустриализации и антропогенных изменений растительного покрова сохранение редких видов сем. Orchidaceae приобретает особо важное значение. В ряде работ указывается на произрастание видов Orchidaceae в антропогенной среде обитания, в том числе на зарастающих промышленных отвалах.

В данной работе проведён анализ видового разнообразия сем. Orchidaceae на 5 золоотвалах тепловых электростанций Свердловской области (Средний Урал, таёжная зона).

Общая характеристика техногенных объектов приведена в работах [Махнев и др., 2002 ; Чибрик и др., 2011 ; Чибрик и др., 2018]. Золоотвалы характеризуются нетоксичным, бедным доступными растениям элементами минерального питания субстратом и разными условиями увлажнения. В субстрате преобладают мелкие фракции песка и пыли.

Золоотвал Богословской ТЭЦ (г. Краснотуринск, подзона средней тайги). На его территории были обнаружены ценопопуляции (далее — ЦП) 3 видов сем. Orchidaceae. ЦП *Malaxis monophyllos* (L.) Sw. (III категория) [Красная книга Свердловской области, 2018] и *Platanthera bifolia* (L.) Rich. (V категория) встречались на краевых более сухих участках в 20–25-летних лесных фитоценозах (далее — ЛФ) с *Betula pendula* Roth, *Populus tremula* L., *Pinus sylvestris* L., с доминированием в травянистом ярусе *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Melilotus albus* Medik., *Trifolium hybridum* L. и *Trifolium repens* L. Режим увлажнения — влажнолуговой [Раменский и др., 1956]. ЦП *M. monophyllos* и *P. bifolia* — инвазионные, малочисленные (менее 10 особей). ЦП *Dactylorhiza incarnata* (L.) Soó (V категория) сформировалась на подтапливаемых участках золоотвала в ивовых фитоценозах с доминированием болотной растительности (*Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla, *Juncus compressus* Jacq. и др.), режим увлажнения — сыролуговой (ступень 77,5). ЦП по возрастной структуре — генеративно-ориентированная. Численность вида достигала 53 особей.

Золоотвал № 2 Нижнетуринской ГРЭС (г. Нижняя Тура, подзона средней тайги) — рекультивированный нанесением на поверхность золы слоя каменистого суглинка и оставленный под самозарастание. Режим увлажнения — влажнолуговой. Через 30–35 лет на участке сформировался мелколиственный лес с *B. pendula* и *P. tremula*, с подростом *Abies sibirica* Ledeb. и *Picea obovata* Ledeb. Сомкнутость крон 0,6–0,7. Покрытие кустарниками составляло 25 %, встречались 6 видов из числа зонального подлеска. В травяно-кустарничковом ярусе (общее проективное покрытие (далее — ОПП) 50–70 %) доминировали *T. repens*, *Lathyrus pratensis* L., *Fragaria vesca* L., *Orthilia secunda* (L.) House, *Festuca rubra* L. и *Hieracium umbellatum* L. В ЛФ были отмечены инвазионные ЦП двух видов орхидей — *P. bifolia* и *M. monophyllos*. ЦП — вегетативно-ориентированные, малочисленные (около 20 особей *P. bifolia* и 5 особей *M. monophyllos*).

Золоотвал № 3 Нижнетуринской ГРЭС — нерекультивированный, режим увлажнения от влажнолугового до сыролугового. На территории золоотвала были обнаружены ЦП 4 видов орхидей (*M. monophyllos*, *Epipactis palustris* (L.) Crantz (II категория), *D. incarnata*, *P. bifolia*). На подсыхающем участке сформировался ЛФ (возраст 20–25 лет) с *B. pendula* и *P. sylvestris*, с подростом *P. tremula* и *Betula pubescens* Ehrh., *P. obovata*, *Pinus sibirica* Du Tour, *Larix sibirica* Ledeb., с преобладанием в травянистом ярусе *C. epigeios*, *Deschampsia cespitosa* (L.) Beauv., *Equisetum arvense* L. и др. На участке была зафиксирована самая большая численность особей ЦП *M. monophyllos* на Среднем Урале. Плотность особей составляла в среднем 32 шт. на м². ЦП *M. monophyllos* — нормальная, генеративно-ориентированная. ЦП *P. bifolia* — молодая инвазивная; численность — единичные вегетативные особи.

На переувлажнённом участке данного золоотвала в 20-летнем ивняке (*Salix myrsinifolia* Salisb., *Salix triandra* L., *Salix pentandra* L. и др., покрытие до 60 %) с подростом *B. pendula* и *P. tremula*, с доминированием в травянистом ярусе (ОПП 45 %) *Equisetum fluviatile* L., *C. epigeios* и *M. albus*. Было установлено новое местообитание *E. palustris* на Среднем Урале. ЦП *E. palustris* — молодая, нормальная. Плотность побегов составляла в среднем 16,5 шт. на м². В ЦП *D. incarnata* преобладали особи генеративного возрастного состояния (65 %), средняя плотность составила 0,4 особи на м².

Золоотвал Верхнетагильской ГРЭС (г. Верхний Тагил, подзона южной тайги) — частично рекультивированный полосным нанесением слоя глинистого грунта. Режим увлажнения — влажнолуговой. На территории золоотвала были отмечены ЦП 5 видов орхидей. Появление ЦП *Listera ovata* (L.) R. Br. (III категория), *P. bifolia* и *M. monophyllos* впервые было отмечено в 20–25-летних ЛФ с *B. pendula*, *P. tremula*, *B. pubescens* и *P. sylvestris* с участием *Salix caprea* L. и *S. myrsinifolia*. К 30-летнему возрасту увеличиваются сомкнутость древесного яруса и покрытие травяно-кустарничкового яруса (до 60 %). К 40–45-летнему возрасту в ЛФ на полосах грунта впервые были отмечены инвазионные, малочисленные ЦП *Epipactis helleborine* (L.) Crantz (III категория), *Goodyera repens* (L.) R. Br. (III категория).

В формирующихся на нерекультивированных участках ЛФ *P. bifolia* и *L. ovata* произрастают более многочисленными группами (более 500 особей *P. bifolia* и около 100 особей *L. ovata*).

В настоящее время ЦП *P. bifolia*, *L. ovata* и *M. monophyllos* распространились по всей территории золоотвала. Численность *M. monophyllos* выше на участке с нанесением грунта.

Золоотвал Среднеуральской ГРЭС (г. Среднеуральск, подзона южной тайги) частично рекультивирован нанесением слоя глины. Режим увлажнения — сыролуговой. ЦП *P. bifolia* и *M. monophyllos* впервые были обнаружены в 40-летнем формирующемся на данном участке ЛФ с *B. pendula*, *P. sylvestris* и *P. tremula* (сомкнутость 0,6), с подлеском из зональных видов (*Padus avium* Mill., *Sorbus aucuparia* L., *Rosa acicularis* Lindl. и др.), с преобладанием в травяно-кустарничковом ярусе (ОПП до 60 %) *T. repens*, *F. vesca*, *O. secunda* и др. К настоящему времени ЦП *M. monophyllos* является малочисленной. ЦП *P. bifolia* распространилась по всему участку и насчитывает более 1000 особей.

Таким образом, первыми из представителей сем. Orchidaceae на золоотвалах Среднего Урала поселяются виды с широкой экологической амплитудой (*Malaxis monophyllos*, *Listera ovata* и *Platanthera bifolia*). На золоотвалах с переувлажнённым режимом возможно появление видов-гигрофитов (*Dactylorhiza incarnata* и *Epipactis palustris*). В ЛФ 45–50-летнего возраста появляются ЦП видов орхидей, приуроченных к лесным местообитаниям (*Goodyera repens* и *Epipactis helleborine*).

Подходящие условия влажности субстрата на золоотвалах, низкая ценотическая конкуренция в растительных сообществах способствуют сохранению генофонда данных редких видов сем. Orchidaceae. Важно установить, длительность существования ценопопуляций на золоотвалах, которая может зависеть от дальнейшей трансформации лесных фитоценозов и антропогенной деятельности.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ и Правительства Свердловской области в рамках научного проекта № 20-44-660011, а также Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема № FEUZ-2020-0057.

Вселенцы в макрозообентосе Саратовского водохранилища

Филинова Е. И.

Саратовский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («СаратовНИРО»), Саратов, Россия

e.filinowa@yandex.ru

Мониторинговые гидробиологические исследования на водохранилищах вносят вклад в теорию изучения и практику рыбохозяйственного использования водоёмов [Шашуловский, Мосияш, 2010 ; Дгебуадзе, 2013].

Саратовское водохранилище заполнено в 1968 г. Модификации донных сообществ в условиях интенсификации седиментации органической и минеральной взвеси после зарегулирования стока на участке реки, преобразованном в Саратовское водохранилище, отражены в публикациях [Белявская, 1960 ; Нечваленко, 1973 ; Тюшина, 1980 ; и др.]. На формирование донной фауны в водохранилище оказали существенное влияние мероприятия по реконструкции кормовой базы бентосоядных рыб, осуществлявшиеся в 1970-е гг. [Иоффе, 1968 ; Дзюбан, Бородич, 1972 ; Мордухай-Болтовской, 1978].

Исследования макрозообентоса Саратовского водохранилища проводились нами в ходе комплексных гидробиологических маршрутных съёмок, ежегодно, трижды за сезон, на постоянной сетке станций [Филинова, 2011] с 1999 по 2019 г. За 20-летний период идентифицировано 186 видов и групп видов макрозообентоса. Максимальная таксономическая представленность характеризует мелководные участки затопленных пойм и заостровные протоки. В открытой части водохранилища зарегистрировано 72 вида и групп видов, более половины из них — вселенцы. Максимальное число видов-интродуцентов — обитатели свала глубин, как и в расположенном ниже по Волжскому каскаду Волгоградском водохранилище [Филинова и др., 2008]. Изучено пространственное распределение видов-инвайдеров в исследуемом водохранилище.

В фауне мягкого макрозообентоса максимальное фаунистическое разнообразие характерно для группы перакарид: Amphipoda — 28 видов, Mysida — 5, Isopoda — 2, Cumacea — 4; большинство из них встречались в дночерпательных пробах редко (менее 10 % проб). Семь видов зарегистрированы единично и, вероятно, были случайно занесены со сланевыми водами или из обростаний судов; на данный момент их акклиматизация в Саратовском водохранилище не подтверждена. В начале текущего тысячелетия среди перакарид лидерство принадлежало видам, обитавшим на участке реки до зарегулирования стока и давшим вспышку развития в условиях водохранилища. На разных биотопах в числе лидеров регистрировали *Dikerogammarus haemobaphes* (Eichwald, 1841), *Pontogammarus sarsi* (Sowinsky, 1898), *P. abbreviatus* (Sars, 1894), *P. robustoides* (Sars, 1894) и *Obesogammarus obesus* (G. O. Sars, 1894). В текущем пятилетии, с 2016 г., плотность популяции наращивает агрессивный самопроизвольный вселенец *Dikerogammarus bispinosus* Martynov, 1925. Частота встречаемости этих гаммарид в верхнем, наиболее проточном участке к 2019 г. достигла 20 %. В группе кольчатых червей в числе вселенцев зарегистрированы Hirudinea — *Archaeobdella esmonti* Grimm, 1876 — и Polychaeta — *Hypania invalida* (Grube, 1860). В период исследований в мягком макрозообентосе на всех традиционно выделяемых по гидрологическим и морфометрическим показателям участках водохранилища по показателю частоты встречаемости лидерство сохраняли полихеты. На различных донных биотопах встречаемость *H. invalida* варьировала от 15 до 40 %.

Количественные показатели развития мягкого макрозообентоса на исследуемых участках водохранилища варьировали от 380 до 590 экз.·м⁻², биомасса — от 1,79 до 2,84 г·м⁻². В мягком макрозообентосе вселенцы — кольчатые черви и перакариды — составляли около 45 % численности и около 49 % биомассы. В современных экологических условиях в структуре биомассы мягкого макрозообентоса наметилась тенденция к сокращению доли перакарид, в основном за счёт снижения плотности популяций видов, обитавших на участке реки до зарегулирования стока и давших вспышку развития на начальном этапе становления водохранилищной экосистемы. Неовселенцы *D. bispinosus* — крупные гаммариды с максимальным удельным весом особей в сравнении с прочими представителями перакарид — в 2019 г. составляли в профундали верхнего участка около 50 % численности и около 70 % биомассы данной группы гидробионтов.

В составе малакофауны идентифицированы 5 видов-интродуцентов: *Bivalvia* — 3, *Gastropoda* — 2. Анализ источников литературы и собственных опубликованных материалов [Ермолин, 1978 ; Филинова, 2010, 2014, 2015], а также результаты современных исследований позволили выявить наиболее значимые виды макрозообентоса в экосистеме водохранилища на разных этапах трансформации донных сообществ, а именно двустворчатых моллюсков *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771), *Adacna colorata* (Eichwald, 1829) и *D. bugensis* (Andrusov, 1897).

В соответствии с данными, полученными за текущий пятилетний период, на разнотипных участках водохранилища показатели общей численности макрозообентоса изменялись от 1220 до 2430 экз.·м⁻², общей биомассы — от 192,62 до 1030,74 г·м⁻². Около 67 % общей численности донных макробеспозвоночных и около 98 % общей биомассы приходилось на инвазионные виды моллюсков; на долю *D. bugensis* на различных биотопах приходилось от 60 до 99 % численности и биомассы всех представителей малакофауны.

До вторжения стихийного вселенца *D. bugensis* в водохранилище в среднем за вегетационный период показатели общей биомассы бентонтов не превышали 190,5 г·м⁻². Доминирующие позиции по всем количественным показателям занимал перифитонный вид дрейссенид *D. polymorpha*, обитавший преимущественно на фрагментах древесины разлагающегося затопленного древостоя. По мере разрушения подходящего для прикрепления субстрата и заиления ложа водохранилища в середине 1990-х гг. плотность популяции данного вида в профундали снизилась [Архивы ГосНИОРХ]. Однако в результате натурализации в Саратовском водохранилище пелофильных моллюсков *D. bugensis* [Антонов, 1993], к началу 2000-х гг. заселивших все участки водохранилища, общая биомасса макрозообентоса возросла на порядок, что в результате привело к значительному увеличению кормовой обеспеченности промысловых бентосоядных рыб, потребляющих в пищу моллюсков. Популяция *D. bugensis* достигает наибольшей плотности на заиленных и илистых биотопах профундали. В современных условиях сформирована монодоминантная структура донной фауны с высокой концентрацией доминирования *D. bugensis*. Данный вид является видо-эдификатором в Саратовском водохранилище.

Прогрессирующее заиление ложа в Саратовском водохранилище способствовало увеличению роли в сообществе самопроизвольных вселенцев-детритофагов — фильтраторов полихет и дрейссенид. Процесс трансформации состава и структуры донных гидробиоценозов в Саратовском водохранилище в меняющихся экологических условиях динамичен, и возможность вторжения новых видов гидробионтов не исключена.

Редкие виды ксилотрофных базидиомицетов Пицунда — Мюссерского заповедника Абхазии

Хачева С. И.^{1,2}, Гургенян Н. В.³

¹Институт экологии АН Абхазии, Сухум, Республика Абхазия

²Абхазский государственный университет, Сухум, Республика Абхазия

³Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

hacheva@mail.ru

Ксилотрофные базидиомицеты выполняют в лесных экосистемах ряд важных функций. Эта группа грибов является активными разрушителями древесины, участвует в деградации лесной подстилки и процессах гумусообразования.

Любые качественные и количественные параметры биоты ксилотрофных базидиомицетов соответствуют тому функциональному и структурному состоянию биогеоценоза, которое определяется динамикой и фазой его развития [Стороженко, 1994]. Воздействие природных и антропогенных факторов среды сказывается прежде всего на видовом разнообразии, качественном составе и экологической специфичности грибов, а также на изменении пространственно-функциональной структуры грибного сообщества [Арефьев, 2001].

Целью настоящих исследований были выявление видового состава и определение экологических особенностей грибов, составляющих дереворазрушающий комплекс лесных биогеоценозов Пицунда — Мюссерского заповедника Абхазии.

Пицунда — Мюссерский заповедник расположен в северной части Колхидского рефугиума и представлен сложным, издревле сложившимся комплексом Пицундского п-ова и окружающей его Мюссерской возвышенности. Заповедник был организован в 1966 г., его площадь составляет 3761 га. Заповедник выполняет важные функции резервата для сохранения оригинальных ландшафтов, наиболее древних видов и родов животного и растительного мира. В состав заповедника входят: пицундская сосновая роща, нагорные дубравы, Мюссерский лесной массив. Здесь произрастают виды растений, подлежащие строгой охране: чистоуст величественный, тис ягодный, сосна пицундская, земляничное дерево красное, вереск древовидный, лептопус колхидский и др. В Мюссерской части заповедника вереск древовидный образует с грузинским дубом древний реликтовый ценоз — единственное место произрастания в пределах территории СССР [Колаковский и др., 1987].

Инвентаризация биоты ксилотрофных грибов проводилась по стандартным методикам [Бондарцев, 1953] в лесах с преобладанием граба, каштана и бука, в дубняках с грабинником и разреженным древостоем пёстрого состава, в дубравах из дуба грузинского. Если не считать лапину, ольху и сосну, приуроченные к узколокальным лесорастительным условиям, всего четыре вида (дуб грузинский, граб кавказский, каштан посевной и бук восточный) формируют основу древостоя на господствующих экотопах Мюссерской возвышенности.

В результате проведённых исследований в широколиственных лесах Мюссерской возвышенности выявлено 84 вида ксилотрофных грибов, из которых 27 видов попадают под категорию «редкие». Редкость таксона в природе обычно рассматривают как свидетельство его потенциального исчезновения из-за повышенной уязвимости, поэтому биологии редких видов и способам их сохранения уделяют большое внимание [Мальшева, 2008]. При изучении редких видов необходимо обращать внимание на следующие признаки (по шкале категорий статусов, занесённых в Красную

книгу Российской Федерации): географическое распространение; специфичность местообитания; локальный размер.

В данной работе руководствовались условными обозначениями «редкости» видов грибов по Малышевой [2008]: единично — 1 находка, очень редко — 2 находки, редко — 3–5 находок, нередко — 6–10 находок, часто — более 10 находок, очень часто — более 25 находок.

Таким образом, грибы, которые встречаются спорадически, представлены единичными находками или отмечаются постоянно, но в ограниченном количестве [Мухин, 1993], распределяются следующим образом. Единично отмечены: *Antrodia macra* (Sommerf.) Niemelä, *Bondarcevomyces taxi* (Bondartsev) Parmasto, *Ceriporiopsis mucida* (Pers.) Gilb. et Ryvardeen, *Clavulina cinerea* (Bull.) J. Schröt., *Hapalopilus croceus* (Pers.) Donk, *Picipes melanopus* (Pers.) Zmitr. et Kovalenko, *Phlebia acerina* Peck, *Pseudoinonotus dryadeus* (Pers.) T. Wagner et M. Fisch., *Steccherinum semisupiniforme* (Murrill) Miettinen и *Tremella foliacea* Pers.

Очень редко встречаются: *Hericium cirrhatum* (Pers.) Nikol., *Lentinus brumalis* (Pers.) Zmitr., *Oxyporus obducens* (Pers.) Donk и *Punctularia strigosozonata* (Schwein.) P. H. B. Talbot. Со статусом редких в пределах всего ареала отмечены: *Ceriporia excelsa* S. Lundell ex Parmasto, *Clavaria fumosa* Pers., *Climacodon pulcherrimus* (Berk. et M. A. Curtis) Nikol., *Fomitiporia robusta* (P. Karst.) Fiasson & Niemelä, *Ganoderma australe* (Fr.) Pat., *Hapalopilus croceus* (Pers.) Donk, *Phellinidium ferrugineofuscum* (P. Karst.) Fiasson & Niemelä, *Phlebiopsis ravenelii* (Cooke) Hjortstam, *Radulodon licentii* (Pilát) Ryvardeen, *Steccherinum bourdotii* Saliba et A. David, *Tomentella terrestris* (Berk. et Broome) M. J. Larsen, *Trametopsis cervina* (Schwein.) Tomšovský и *Tyromyces kmetii* (Bres.) Bondartsev et Singer.

Редкие виды являются своего рода генетическим резервом, способным определять дальнейшую структуру микобиоты при естественных или антропогенных изменениях среды обитания и выступать в качестве индикаторов участков реликтовых лесных сообществ. В длительно существующих ненарушенных лесных экосистемах видовое разнообразие ксилотрофных грибов — редуцентов неразрывно связано с разнообразием и устойчивостью автотрофного комплекса. На территории заповедника осуществляется неконтролируемая рубка деревьев, усиливается рекреационная деятельность, существуют проблемы сохранения природных комплексов, способных к естественному саморегулированию. Осуществление охраны редких и исчезающих видов невозможно без сохранения среды их обитания; следовательно, необходим тщательный мониторинг как самих местообитаний, так и редких видов грибов в составе экологически полноценных природных популяций.

Заднежаберные моллюски отряда Cephalaspidea (Gastropoda: Heterobranchia) биоценозов мягких грунтов Карского моря

Чабан Е. М.

Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

echaban@zin.ru

Заднежаберные моллюски отряда Cephalaspidea, несмотря на небольшие размеры (высота раковин обычно не превышает 5–12 мм), как правило, присутствуют в биоценозах илистых и песчано-илистых грунтов арктических морей, иногда доминируя среди брюхоногих моллюсков не только по численности, но и по биомассе [Голиков, 1994 ; Nekhaev, Krol, 2017]. Между тем как последние фаунистические списки, так и данные по биологии массовых видов цефаласпид Карского моря были опубликованы 20 лет назад [Chaban, 2001 ; Любин, 2003]. За прошедшие годы собран дополнительный количественный материал, в первую очередь сотрудниками Лаборатории морских исследований в экспедиции «Трансарктика-2019» (ТА2019) во время рейса НИС «Профессор Мультиановский» и сотрудниками кафедры гидробиологии Санкт-Петербургского государственного университета во время рейса НИС «Дальние Зеленцы» в 2012 г. Анализ этого материала позволил получить новые данные о фауне и экологии заднежаберных моллюсков отряда Cephalaspidea в Карском море. Предварительные данные изучения сборов на НИС «Дальние Зеленцы» были доложены ранее [Чабан, 2019]. В представленной работе уточнены видовой состав и особенности биологии цефаласпид в Карском море на основе изучения материалов, собранных в этих экспедициях, коллекций ЗИН РАН, а также опубликованных ранее данных и с учётом существенных изменений в систематике отряда [Oskars et al., 2015 ; Chaban, 2016 ; Moles et al., 2019 ; и др.].

Сборы экспедиции ТА2019 на НИС «Профессор Мультиановский» частично были фиксированы 70%-ным спиртом, но большая часть проб — 4%-ным формалином с последующей фиксацией 70%-ным спиртом. Материал 13 станций был собран с помощью дночерпателя ван Вина площадью сбора 0,1 м² с трёхкратной повторностью.

Фауна цефаласпид Карского моря представлена 19 видами из 10 родов и 6 семейств, из которых один вид ещё не описан. Нахождение ранее указанных для Карского моря *Diaphana minuta* Brown, 1827 (Diaphanidae), *Laona quadrata* (Wood, 1839) (Laonidae), *Philine sinuata* Stimpson, 1851 (Philinidae) и *Retusa semen* (Reeve, 1855) (Retusidae) требует подтверждения. Среди массовых видов отряда средняя плотность поселений в Карском море максимальна у *Cylichnoides densistriatus* (Leche, 1878) — (9 ± 4) экз.·м⁻², максимально до 27 экз.·м⁻²; наибольшая биомасса зарегистрирована у *Cylichna corticata* (Møller, 1842) — (0,605 ± 0,247) г·м⁻², максимально 1,640 г·м⁻². По типу питания все Cephalaspidea Карского моря с известным спектром питания — хищники, большинство — протистофаги, есть охотящиеся зоофаги [*Praephiline finmarchica* (M. Sars, 1858)].

Большинство видов цефаласпид в Карском море (из семейств Cylichnidae, Philinidae, Laonidae, Scaphandridae и Retusidae) являются представителями инфауны. Их морфология приспособлена к обитанию в верхнем слое мягких грунтов. Этому способствуют смещение вправо органов мантийной полости, удлинённая инволютная раковина, узкое устье, мускулистый цефалоподиум, имеющий треугольный профиль, и уменьшение размеров тела и раковины. Лишь некоторые виды (из семейства Diaphanidae и подсемейства Toledoniinae) являются представителями эпифауны. Все цефаласпиды в наших материалах собраны на илистых и илисто-песчаных грунтах. Приуро-

ченность наибольших показателей видового богатства, плотности поселения и биомассы к мягким грунтам отмечена и в целом для брюхоногих моллюсков Карского моря [Любин, 2003].

В опубликованных материалах продолжительность жизни арктических цефаласпид на примере *Cylichnoides occultus* (Mighels et Adams, 1842) оценивается в четыре года для Восточно-Сибирского моря [Голиков, 1994] и в восемь лет для Карского [Любин, 2003]. Анализ размерно-возрастной структуры популяций *C. scalptus* (Reeve, 1855) из Карского моря по коллекциям ЗИН, собранных тралами в 1930–1936 гг. на ледокольных пароходах «Георгий Седов» и «Садко», а также *C. occultus*, собранных в 1986 г. А. Н. Голиковым в Чаунской губе Восточно-Сибирского моря водолазным методом [Скарлато, 1964], позволяет считать, что продолжительность жизни этих видов в арктических морях не превышает четырёх лет.

Необходим дополнительный сбор материала с первичной фиксацией в 96%-ном спирте для молекулярно-генетического анализа, что позволит уточнить список видов представителей отряда Serphalaspidea изучаемого региона.

Автор благодарен сотрудникам лаборатории морских исследований ЗИН РАН, разбивавшим материалы сборов экспедиций 2012 и 2019 гг., а также сотрудникам кафедры гидробиологии Санкт-Петербургского государственного университета за предоставленный для работы материал сборов 2012 г.

Работа выполнена в рамках бюджетной темы АААА-А19-119020690072-9 и поддержана грантом РФФИ № 18-05-60157. В исследовании использованы материалы УФК ЗИН РАН № 2-2.20 (<http://www.ckr-rf.ru/usu/73561/>).

Немертины в глубоководных экосистемах дальневосточных морей России

Чернышев А. В.^{1,2}

¹Национальный научный центр морской биологии имени А. В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток, Россия

²Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

nemertea1969@gmail.com

Тип Nemertea включает около 1300 описанных видов, но до начала наших исследований только 16 видов бентосных немертин были известны с глубин 1000–3000 м. Благодаря материалу, собранному в ходе глубоководных экспедиций в северо-западной части Тихого океана, стало очевидно, что немертины являются обычными представителями абиссальных донных сообществ. Наши данные также показали высокое видовое разнообразие глубоководных немертин в северо-западной части Тихого океана, при этом все обнаруженные виды оказались новыми для науки, не обитающими в батимальной зоне. Исключением является псевдоабиссальная зона Японского моря, где выявлено только два эврибатных вида, *Cephalothrix iwatai* и *Micrura bathyalis* [Chernyshev, 2013]. В пробах из абиссальной зоны большая часть немертин принадлежала к трём группам: 1) палеонемертины (семейства Carininiidae и Tubulanidae); 2) гетеронемертины; 3) вооружённые моностилиферные немертины [Chernyshev, Polyakova, 2018]. Среди гетеронемертин преобладают представители семейства Valenciniidae (прежде всего *Sonnenemertes cantelli*), тогда как виды семейства Lineidae в абиссали встречаются редко. Из 20 видов абиссальных Eumonostilifera особый интерес представляют 3 вида из неописанного рода, обитающих в плотоядных асцидиях из рода *Culeolus*. Хотя они похожи на виды рода *Gononemertes*, которые живут в мелководных асцидиях, филогенетический анализ показал, что их сходство конвергентно. В абиссали Охотского моря были собраны два вида полистилиферных немертин — *Uniporus alisae* и неописанные виды из нового семейства. Филогенетический анализ показал близкое родство *U. alisae* с неописанным видом Cratenemertidae sp. IZ 45644 из Охотского моря, что стало большой неожиданностью. Было установлено, что ювенильные особи Cratenemertidae sp. IZ 45644 плавают длительное время, что позволило этому виду расселиться до Антарктиды включительно. В зоне ультраабиссали Курило-Камчатского жёлоба (глубины свыше 6 км) разнообразие и встречаемость немертин намного меньше, чем в абиссальной зоне. Всего здесь было обнаружено 7 видов палеонемертин (семейства Carininiidae и Tubulanidae), 1 вид гетеронемертин, 3 вида полистилиферных немертин и 2 вида эумоностилиферных немертин [Chernyshev, Polyakova, 2019]. Максимальная глубина, на которой были найдены немертины, составляет 9427 м. Филогенетический анализ показал, что батипелагические немертины произошли от ультраабиссальных полистилиферных немертин. *Nemertovema norenburgi* из Курило-Камчатского жёлоба с глубины 8271 м оказался очень близок к *Nemertovema hadalis*, собранному в Пуэрториканском жёлобе с глубины 8339 м, что указывает на тесную связь фаун глубоководных желобов. Особый интерес представляет *Galathenemertes giribeti* из Курило-Камчатского жёлоба с глубины 7256 м, который обитает в трубках актиний *Galatheaanthemum* sp.: это наиболее глубоководная симбиотическая немертина. Филогенетический анализ показал, что гетеро- и голпонемертины осваивали абиссаль и ультраабиссаль многократно, в то время как большинство глубоководных палеонемертин относится к двум филогенетическим линиям.

Исследования поддержаны грантом Минобрнауки РФ 13.1902.21.0012 «Фундаментальные проблемы изучения и сохранения глубоководных экосистем в потенциально рудоносных районах Северо-западной части Тихого океана».

Инвентаризация микропланктона в восточной части пролива Фрама: предзимний период

Човган О. В.

Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, Россия

chovgan@mmbinfo

Ревизия таксономического состава микропланктонной биоты на востоке пролива Фрама, под влиянием Западно-Шпицбергенского течения, диктуется расширением ареала видов атлантического генезиса в сторону Арктики [Chovgan, 2019 ; Макаревич, Олейник, 2020]. Однако предзимний период изучен фрагментарно, а это может быть важно для понимания инвазивных процессов внутри планктонного сообщества. Настоящая работа предлагает современный таксономический состав микропланктона во второй половине ноября 2019 г. в восточной части пролива Фрама (~ 77°46'N, 11°43'E – 80°02'N, 08°42'E):

Bacillariophyta

Chaetoceros borealis Bailey

Chaetoceros concavicornis Mangin / *Chaetoceros convolutus* Castracane

Chaetoceros decipiens Cleve

Chaetoceros diadema (Ehrenberg) Gran

Chaetoceros furcillatus Bailey (споры)

Chaetoceros mitra (Bailey) Cleve (споры)

Corethron criophilum var. *histris* (Hensen) Hendey

Cylindrotheca closterium (Ehrenberg) Reimann et Lewin

Entomoneis paludosa var. *hyperborea* (Grunow) Poulin et Cardinal

Navicula distans (W. Smith) Ralfs

Odontella aurita (Lyngbye) C. Agardh

Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve

Pleurosigma angulatum (Queckett) W. Smith

Proboscia indica (Peragallo) Hernández-Becerril

Pseudo-nitzschia delicatissima (Cleve) Heiden

Pseudo-nitzschia seriata (Cleve) H. Peragallo

Rhizosolenia hebetata f. *hiemalis* Gran

Thalassionema nitzschioides (Grunow) Mereschkowsky

Thalassiosira hyalina (Grunow) Gran

Dinophyta

Ceratium arcticum (Ehrenberg) Cleve

Ceratium fusus (Ehrenberg) Dujardin

Ceratium macroceros (Ehrenberg) Vanhöffen

Ceratium tripos (O. F. Müller) Nitzsch

Corythodinium diploconus (F. Stein) F. J. R. Taylor

Dinophysis acuminata Claparède et Lachmann

Dinophysis contracta (Kofoid et Skogsberg) Balech

Dinophysis norvegica Claparède et Lachmann

Dinophysis ovata Claparède et Lachmann

Dinophysis rotundata Claparède et Lachmann
Gonyaulax spinifera (Claparède et Lachmann) Diesing
Gyrodinium fusiforme Kofoid et Swezy
Lessardia elongata Saldarriaga et F. J. R. Taylor aff.
Micracanthodinium claytonii (Holmes) Dodge
Oxytoxum belgicae Meunier
Oxytoxum caudatum Schiller
Pentapharsodinium dalei Indelicato et Loeblich III
Podolampas palmipes Stein
Polarella glacialis M. Montresor, G. Procaccini et D. K. Stoecker
Pronoctiluca pelagica Fabre-Domergue
Pronoctiluca rostrata F. J. R. Taylor
Protooperidinium arcticum (Grøntved et Seidenfaden) Okolodkov
Protooperidinium bipes (Paulsen) Balech
Protooperidinium aff. *cerasus* (Paulsen) Balech
Protooperidinium denticulatum (Gran et Braarud) Balech aff.
Protooperidinium depressum (Bailey) Balech
Protooperidinium islandicum (Paulsen) Balech
Protooperidinium ovatum Pouchet
Protooperidinium pellucidum Bergh
Protooperidinium pyriforme (Paulsen) Balech
Protooperidinium brevipes (Paulsen) Balech
Zygabikodinium lenticulatum Loeblich et Loeblich III

Ciliophora

Acanthostomella norvegica (Daday)
Amphorellopsis tetragona (Jørgensen) Kofoid et Campbell
Codonellopsis pusilla (Cleve) Jørgensen
Ormosella haeckeli Kofoid et Campbell
Parafavella denticulata (Ehrenberg)
Parundella caudata (Ostenfeld) Jørgensen
Ptychocylis obtusa Brandt
Salpingella aff. *rotundata* (Kofoid et Campbell)
Salpingella acuminata (Claparède et Lachmann)
Stenosemella oliva (Meunier)
Stenosemella steinii Jørgensen
Strombidium aff. *conicum* (Lohmann) Wulff
Tintinnopsis fimbriata Meunier

Radiolaria

Amphimelissa setosa (Cleve) Jørgensen
Arachnosphaera dichotoma Jørgensen
Challengeron neptuni Borgert
Hexadoras borealis Cleve
Phormacantha hystrix (Jørgensen) Jørgensen
Plagiacantha arachnoides (Claparède)
Plectacantha oikiskos Jørgensen

Protocystis tridens Bjørklund

Pseudodictyophimus gracilipes Bailey

Siphocampe lineata (Ehrenberg) Nigrini

Sticholonche zanclea Hertwig

Chrysophyta

Octactis speculum (Ehrenberg) F. H. Chang, J. M. Grieve et J. E. Sutherland

Foramenifera

Globigerina bulloides d'Orbigny

Prasinophyta

Halosphaera viridis Schmitz

Форма incertae sedis

Fusopsis elongata Meunier

Нартrophyta

Coccolithus pelagicus (Wallich) Schiller aff.

Исследование выполнено в рамках государственного задания № 0228-2019-0003.

Визуальные подводные наблюдения за составом и распределением ихтиофауны в районе полуострова Киик-Атлама (Юго-Восточный Крым, Чёрное море)

Шаганов В. В.

ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», Керчь, Россия

vshaganov@yandex.ru

Метод подводного визуального учёта морской ихтиофауны с использованием водолазного снаряжения широко практикуется как не только экономически выгодный, но и позволяющий получить достаточно точные сведения о видовом разнообразии и особенностях поведения и распределения рыб, не разрушая их среду обитания. Данный метод был использован нами при изучении состава и распределения ихтиофауны прибрежной зоны, прилегающей к полуострову Киик-Атлама.

Подводная часть полуострова имеет сложную конфигурацию и сформирована до глубины 15–20 м крупнообломочным материалом (галька, валуны и глыбы) и скальными формами подводного рельефа. У подножия подводного склона залегают песок и ракушечник. Также песчаные прогалыны фрагментарно встречаются в мелководье среди скоплений крупнообломочного материала.

Пересечённый характер рельефа, разнообразные грунты и ряд других факторов способствуют формированию многочисленных биотопов для рыб, особенно донно-прибрежного комплекса. Это, в свою очередь, способствует высокому видовому богатству и численности рыб данного района.

За период исследований с 2015 по 2021 г. с использованием метода визуального подводного наблюдения в районе п-ова Киик-Атлама было отмечено 47 достоверно идентифицированных видов из семейств Dasyatidae (1 вид), Ophidiidae (1), Lothidae (1), Mugilidae (2), Atherinidae (2), Syngnathidae (5), Scorpaenidae (1), Serranidae (1), Sparidae (2), Centranchidae (1), Sciaenidae (1), Mullidae (1), Pomacentridae (1), Labridae (4), Ammodytidae (1), Trachinidae (1), Uranoscopidae (1), Blenniidae (7), Gobioidae (2), Callionymidae (2), Gobiidae (7), Bothidae (1) и Soleidae (1 вид). Из видов, являющихся редкими и малочисленными в других участках побережья Юго-Восточного Крыма, в районе исследований нами постоянно отмечались тёмный горбыль, зубарик и каменный окунь. На глубине 12 м на ракушечниковом грунте нами зарегистрированы многочисленные особи *Callionymus risso* Lesueur, 1814, ранее считавшегося для этого района очень редким видом. У северо-восточной оконечности п-ова Киик-Атлама на глубине 8,5 м у подножия подводной части скалистого склона, в затенённой нише среди скопления глыб был обнаружен золотистый бычок *Gobius xanthocephalus* Neumer & Zander, 1992. Ранее этот вид в районе юго-восточного побережья Крыма не регистрировался. В северной части Чёрного моря золотистый бычок был отмечен в районе Абхазии, в юго-западной и западной частях Крыма.

Наибольшей численностью и видовым богатством рыб характеризовались пересечённые участки подводного склона п-ова Киик-Атлама. Помимо постоянно обитающих здесь демерсальных рыб-резидентов (Syngnathidae, Scorpaenidae, Serranidae, Sparidae, Sciaenidae, Pomacentridae, Labridae, Blenniidae, Gobioidae, Gobiidae), регулярно наблюдались заходы стайных пелагических и придонно-пелагических мигрантов из прилегающих участков толщи воды и песчаного дна (Mugilidae, Atherinidae, Mullidae, Ammodytidae). Участки дна с песчаным и ракушечниковым грунтами, напротив, характеризовались низкой численностью большинства видов и были представлены рыбами из семейств Dasyatidae, Ophidiidae, Centranchidae, Mullidae, Ammodytidae, Trachinidae, Uranoscopidae, Callionymidae, Gobiidae, Bothidae и Soleidae.

Стоматоцисты золотистых водорослей в водоёмах Ленинградской области

Шадрина С. Н.

Ботанический институт имени В. Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия

wertexy@yandex.ru

Золотистые водоросли (*Chrysophyceae*) представляют собой широко распространённую группу преимущественно пресноводных флаголат, крайне разнообразных по морфологии. Способность образовывать покоящиеся стадии с кремниевыми оболочками (стоматоцисты) является одной из предпосылок их конкурентного успеха в суровых изменчивой среде (олиготрофия, низкая температура и непредсказуемо меняющиеся гидрометеорологические условия).

В настоящее время стоматоцисты классифицируются независимо от свободноживущих форм из-за их важности и практического использования в палеоэкологических исследованиях, а также в оценках биоразнообразия в ситуациях, когда свободноживущие золотистые не наблюдаются. Использование стоматоцист *Chrysophyceae* в качестве биологических индикаторов в экологических и палеолимнологических исследованиях возможно благодаря их видоспецифичности и развитию визуально отличных морфотипов в ответ на определённые факторы окружающей среды.

Ещё в 1986 г. рабочей группой по стоматоцистам (ISWG) была разработана система по описанию новых морфотипов стоматоцист с присваиванием им индивидуальных номеров [Cronberg, Sandgren, 1986], что позволило их систематизировать, несмотря на трудность видовой идентификации.

Стоматоцисты Ленинградской области изучены ещё недостаточно хорошо, и данная работа является частью многолетнего исследования флоры золотистых водорослей водоёмов г. Санкт-Петербурга и Ленинградской области [Voloshko, 2017 ; Safronova et al., 2017 ; Safronova, 2019]. В результате исследования проб, отобранных в разных точках Ленинградской области [Shadrina, 2019 ; Safronova, Shadrina, 2020], было выявлено 26 морфотипов стоматоцист золотистых водорослей, 9 из которых относятся к группе неорнаментированных, 17 обладают сложной структурой поверхности. Пять выявленных морфотипов, как установлено, соответствуют стоматоцистам конкретных таксонов: *Chrysosphaerella coronacircumspina*, *Chrysosphaerella longispina*, *Dinobryon sociale* var. *americanum*, *Ochromonas globosa* и *Spiniferomonas bourrelyi*. Из них лишь один вид, *Chrysosphaerella coronacircumspina*, был обнаружен не только на стадии стоматоцисты, но и на стадии вегетации. Десять морфотипов стоматоцист впервые указываются для водоёмов России, шесть впервые обнаружены в Европе. Два морфотипа описаны как новые для науки.

Полученные данные служат дополнительным критерием оценки таксономического разнообразия золотистых водорослей Ленинградской области.

Современное состояние зоопланктона глубинных биотопов восточной части Среднего Каспия

Шарапова Л. И.

ТОО «Научно-производственный центр рыбного хозяйства», Алматы, Республика Казахстан

l.i.sharapova@mail.ru

Зоопланктон акватории Среднего Каспия был всегда обеднён разнообразием относительно ценоза в Северном Каспии. Особо выражен этот процесс в связи с инвазией в море гребневика, потребителя зоопланктона. Летом 2004 г. состав планктофауны в западной части его акватории уменьшился до 27 видов относительно 46, выявленных в 2002 г., а в восточной понизился до 13 [Тарасова, Тиненкова, 2005]. Примерно такой же набор таксонов сохранялся и в 2005–2010 гг. [Никулина, 2008 ; Шарапова, 2011]. При этом было установлено, что распределение зоопланктона отличалось максимальной концентрацией особей в поверхности (более 50 раз) относительно слоя на 50-метровой глубине [Джалилов, 2008].

Следует отметить, что исследование биоты казахстанской, восточной части Среднего Каспия не носило регулярного характера. Комплексное изучение биоценоза акватории, включая зоопланктон, начато в 2020 г.

Целью данной работы является выяснение современного состояния планктофауны восточной части моря и наиболее продуктивного слоя водной толщи для последующего мониторинга и прикладного использования.

Зоопланктон Среднего Каспия облавливался в мае и августе 2020 г. сетью Джели в тотальном слое воды на глубинах 3 разрезов (149–157, 114–121 и 88–103 м) и в поверхностном слое этих биотопов (17–24, 19–23 и 15–31 м соответственно).

Состав планктофауны в конце мая 2020 г. был представлен 10 разновидностями организмов. Отмечались первые стадии метаморфоза (яйца, личинки) гребневика *Mnemiopsis leidyi* (A. Agassiz), ветвистоусые рачки — 5 видов, веслоногие — 1 и прочие — из меропланктона. В группу кладоцер входили *Podonevadne camptonyx* (Sars), *P. trigona* (Sars), *Pleopis polyphemoides* (Leuckart), *Podon intermedius* Lilljeb. с наибольшей встречаемостью (62–100 %). Менее распространены были *P. angusta* (Sars) и *Evadne anonyx* Sars (12–25 %). Повсеместно наблюдался веслоногий рачок *Acartia tonsa* Dana. В меропланктон входили в основном науплии и циприсы усоногих рачков (100 %), а также личиночные стадии моллюсков *Bivalvia* (12 %). Редко присутствовали представители амёб.

Летняя планктофауна глубоководья обеднялась до 6 таксонов — за счёт выпадения 2 видов ветвистоусых рачков, с малой встречаемостью весной, и молоди моллюсков. В число повсеместно распространённых входили акарция и плеопис. Количество разновидностей организмов по 3 глубоководным разрезам пелагиали колебалось в августе в пределах 6–7 таксонов, на меньших глубинах — от 6 до 11. Особенностью зоопланктона пелагиали весной и летом 2020 г. было отсутствие группы коловраток. Весенний зоопланктон характеризовался некоторым различием состава по биотопам по сравнению со стабильным набором видов по ним в августе.

Весной в тотальном слое воды основу численности планктёров формировали ветвистоусые и веслоногие рачки, представленные в разной степени. Суммарный их показатель несколько увеличивался при снижении глубин по биотопам — от 537 до 649 экз.·м⁻³. Лидерство принадлежало веслоногим, при росте доли в сообществе с 45 до 57 %. Указанная динамика создавалась *A. tonsa*.

По распределению ветвистоусых рачков наблюдалась обратная картина. Численность кладоцер на максимальной глубине — $226 \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-3}$ (42,6 % общей численности) — снижалась до $179 \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-3}$ (27,58 %), при уменьшении глубин на 50 м. Основа создавалась рядом указанных выше видов группы, с доминированием *P. camptonyx*. Данный вид имел довольно равномерную концентрацию в сообществе по 3 разрезам — от 42,78 до 36,76 % от общего числа особей.

Численность особей остальных представителей в зоопланктоне заметно (в 1,5–5 раз) уступала величинам показателей первых двух групп. Доля их в ценозе колебалась от 9,3 до 22,3 %. Основу показателя создавали фактически личинки усоногих рачков.

Аналогично численности распределялась и биомасса зоопланктёров в тотальном слое воды, в среднем $75,89 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$. Величина показателя по биотопам нарастала от 53,44 до $97,85 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ на больших глубинах и составляла $76,39 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ на меньших. Более высокая доля массы ветвистоусых в ценозе приходилась на наибольшую и минимальную глубины (62,76 и 50,06 % соответственно), у веслоногих — на биотоп со средней глубиной (52,24 %).

В среднем для поверхностного слоя пелагиали численность майского зоопланктона составляла $2402 \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-3}$. Примерно равные величины показателя формировали акарция [$1136 \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-3}$ (47,51 %)] и ветвистоусые [$1004 \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-3}$ (41,56 %)] в результате доминирования крупного *P. camptonyx*. Указанная концентрация зоопланктона в 1 м^3 поверхностного слоя над глубинами превышала почти в 4 раза плотность особей в единице объёма для всего столба воды ($611 \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-3}$). Биомасса ценоза верхнего слоя воды весной — $235,55 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ — также была выше, но в 3 раза, показателя тотального слоя.

В конце лета суммарная численность особей во всей толще воды была более высокой, чем в мае, особенно на глубинах 150 и 120 м — 966 и 973 $\text{экз.} \cdot \text{м}^{-3}$ соответственно; на меньшей глубине она не превышала $750 \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-3}$. Основу показателя составляли веслоногие рачки (97,0–91,7 %) с единственным представителем — *A. tonsa*. Присутствие особей ветвистоусых рачков (с двумя распространёнными видами — *P. polyphemoides* и *P. intermedius*) было незначительным, от 18 до 45 $\text{экз.} \cdot \text{м}^{-3}$ по биотопам. Численность науплий усоногих рачков и личинок мнемииопсиса не превышала 2,27 % от общей.

Тотальная биомасса зоопланктона в августе, $20,93 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$, была многократно ниже (в 3,6 раза) чем в мае. Лидировала акарция — от 91,53 до 71,91 % от общей величины. При этом доля биомассы вида снижалась в большей степени при уменьшении глубин, чем численность.

Распределение численности планктофауны в поверхностном слое над большими глубинами выражалось величинами от 2502 до $4204 \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-3}$. Более высокие значения регистрировались над меньшими глубинами биотопов. Доминировала акарция — 76,5–97,43 % общего значения. Концентрация ветвистоусых по биотопам менялась от 51 до $972 \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-3}$, или от 23,12 до 1,44 %.

Соответствующим разрывом величин определялась по разрезам биомасса организмов — 121,82– $46,93 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$. Основу показателя формировала акарция — 80,84 %; минимальной была доля кладоцер — 6,55 %. Значимыми в сообществе в этом сезоне оказались личинки усоногих — 15,87 % суммарно с мнемииопсисом.

Сравнение летних показателей ценоза по исследованным слоям воды показало следующее. Средняя численность и биомасса зоопланктона в поверхностном слое ($3417 \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-3}$ и $83,20 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ соответственно) превышали значения для тотального столба воды ($896 \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-3}$ и $20,93 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$) почти в 4 раза.

Аналогичные наблюдения за состоянием морской биоты, в том числе планктофауны, ведутся и в другие месяцы годового цикла.

Сибирский хариус *Thymallus arcticus* (Pallas, 1776) в реках европейского севера России: миф или реальность?

Юницына О. А.^{1,2}, Новоселов А. П.¹, Кондаков А. В.^{1,2}

¹Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени акад. Н. П. Лавёрова
УрО РАН, Архангельск, Россия

²Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова, Архангельск, Россия
oyunitsina@mail.ru

Очень часто организмы, относящиеся к одному виду, под воздействием окружающей среды приобретают в ходе развития достаточно существенные морфологические отличия. Установлено, что морфологическая изменчивость рыб обусловлена как воздействием наследственных различий, так и влиянием целого ряда абиотических и биотических факторов конкретных местообитаний [Дгебуадзе, 2001]. Ярким примером таких изменений является окраска у рыб, которая в значительной степени зависит от питания [Qiufen et. al., 2012]. Такая способность животных (модификационная изменчивость) часто является основной причиной некорректного описания новых биологических видов. В случаях, когда из-за существенной фенотипической изменчивости возникают сложности в определении вида, идентификацию в настоящее время чаще всего проводят методом ДНК-баркодинга.

В 1923 г. Борисовым П. Г. и позднее другими ихтиологами в бассейне р. Печора был обнаружен сибирский хариус *Thymallus arcticus*, который отличается от европейского *Thymallus thymallus* (Linnaeus, 1758) более тёмным цветом и характерной яркой окраской спинного плавника. Исследователи давно проявляют интерес к изучению зон симпатрического обитания европейского и сибирского хариусов в реках Косью, Кожим, Кара [Пробатов, 1936 ; Зиновьев, 1979, 1988]. Оказалось, что в низовьях р. Кара доминирует европейский хариус, а в верховьях — сибирский; то же наблюдалось и в р. Кожим. Установлено, что в ряде озёр западного склона Полярного Урала в бассейне р. Кара (оз. Гнетьты, оз. Коматы) европейский и сибирский хариусы обитают симпатрично [Био-разнообразие..., 2007]. В статье Богданова В. Д. и Мельниченко И. П. [2010] установлена граница обитания европейского хариуса на приуральском берегу Байдарацкой губы. В бассейне р. Нгосавейяхи обитает европейский хариус, а в соседней (восточнее) р. Манясейхе — уже сибирский [Зиновьев, Богданов, 2012]. При этом стоит отметить, что никто из ихтиологов, определяя видовую принадлежность популяций хариуса из горных притоков Печоры, не сомневался в точности идентификации.

В представленном исследовании был проведён молекулярно-генетический анализ девяти образцов хариусов из рек Уса и Волонга, пять из которых по морфологии были отнесены к *Thymallus arcticus*. Примечательно, что местное население таких особей хорошо идентифицирует, дав им местное название «чикиш». У исследованных особей были проведены амплификация и секвенирование фрагментов трёх митохондриальных генов: первой субъединицы цитохром-с-оксидазы (COI), цитохрома *b* (*cytb*) и контрольной области (D-loop). Для проведения идентификации образцов полученные нуклеотидные последовательности были проанализированы в онлайн-программе BLAST (NCBI GenBank). Результат сравнения полученных последовательностей продемонстрировал, что все три секвенированных в ходе исследования гена отличаются на единичные нуклеотидные замены от последовательностей, представленных в настоящий момент в базе данных, но при этом они однозначно относятся к виду *Thymallus thymallus*. Построенные на основе

COI и *cytb* медианные сети гаплотипов показали, что образцы европейского хариуса с северо-восточной части ареала занимают терминирующее (крайнее) положение. Это указывает на то, что исследованные популяции произошли от европейских, а накопление нуклеотидных замен в генах произошло вследствие длительной изоляции.

В результате проведённого исследования установлено, что тёмные особи хариусов с ярким спинным плавником из рек Уса и Волонга на самом деле являются европейскими хариусами и не имеют генетических отличий по трём исследованным генам от образцов, которые изначально по морфологии были определены как *Thymallus thymallus*. Полученные данные указывают на существенную модификационную изменчивость европейского хариуса, окраска которого, скорее всего, во многом зависит от особенностей питания и условий обитания популяции. Этот вывод не противоречит данным, полученным ранее при исследовании восточно-европейских популяций европейского хариуса с использованием метода электрофореза белков в полиакриламидном геле [Титов, Студенов, 2005]. На основании анализа 37 аллозимных локусов была проведена оценка генетической изменчивости и степени дифференциации популяций европейского хариуса из восточной части ареала. Авторами сделано предположение, что популяции, обитающие в бассейнах рек Сыня, Пижма, Унья (бассейн Печоры) и рек Индига, Великая, Волонга, генетически (по отдельным ферментным локусам *IDHP-3*, *LDH-C*, *TF*) дифференцированы от популяций из остальной части ареала вида, но всё же являются популяциями европейского хариуса. И именно эта, генетически однородная «восточная» линия европейского хариуса могла послужить источником для реколонизации северной части Европы в постледниковый период времени [Koskinen et al., 2000, 2002].

Для масштабирования полученных результатов необходимы генетический анализ больших выборок морфологических форм европейского хариуса и проведение анализа частот аллелей по меньшей мере десяти микросателлитных локусов, которые позволят определить или опровергнуть факт фиксации окраски рыбы и её спинного плавника на генетическом уровне.

Исследования выполнены в рамках государственного задания (№ 0793-2020-005 и № 0332-2019-0001) и при финансовой поддержке гранта РФФИ (№ 18-44-292001 р_мк).

Видовой состав и количественные характеристики ледовой альгофлоры бухт залива Петра Великого Японского моря

Юрикова Е. А., Бегун А. А.

Национальный научный центр морской биологии имени А. В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток, Россия

komcitykat@mail.ru

Впервые для российского побережья Японского моря проведено изучение видового состава и количественных характеристик альгофлоры морских льдов как их важнейшего автотрофного микрокомпонента. Исследованиями были охвачены льды и подлёдная вода в бухтах Воевода и Новик (о-в Русский, залив Петра Великого, Японское море) в зимний период 2020 и 2021 гг.

Идентифицировано 88 видов микроводорослей из 50 родов и 7 отделов. Установлены основные доминирующие виды в биотопах льда и подлёдной воды. Среди них подавляющее большинство — диатомовые водоросли: *Chaetoceros socialis*, *Cylindrotheca closterium*, *Entomoneis gigantea* var. *decussata*, *Nitzschia frigida*, *Nitzschia* sp., *Thalassiosira gravida* и *T. nordenskioldii*; а также представитель криптофитовых водорослей *Plagioselmis* sp.

Субдоминирующие, имеющие значительную долю в видовой и количественной структуре сообщества: диатомовые водоросли *Coscinodiscus* sp., *Navicula distans*, *N. granii*, *N. septentrionalis*, *Pseudo-nitzschia fraudulenta* и *P. pungens*; динофлагелляты *Amphidinium sphaenoides* и *Protoperidinium depressum*; а также неидентифицированные прازیнофитовые.

Таксономическая структура альгофлоры льдов сходна с качественным составом подлёдной воды в зимний период, что подтверждается не только нашими результатами, но и другими ботаническими работами по флористическому составу морской воды в зимний период [Коновалова и др., 1989; Мельников, 1989; Паутова, 2000; Пономарева, 2017]. Основу сообщества как по видовому, так и по количественному составу формируют диатомовые водоросли (до 99 %). На втором месте по численности в 2020 г. идут динофлагелляты (до 14 %), в 2021 г. — представители зелёных водорослей (до 4 %). Следующими по численности выделяются охрофитовые и эвгленовые водоросли. Впервые для залива Петра Великого отмечен факт доминирования криптофитовых водорослей в подлёдной воде (до 67 %).

Установлена тенденция в распределении численности и биомассы альгофлоры по слоям ледовых кернов. Так, в 2020 г. в бухте Воевода максимальная численность водорослей наблюдалась в верхнем слое ледового керна, она постепенно снижалась ближе к границе с подлёдной водой. Средняя численность во льду при этом превысила численность клеток в подлёдной воде в 7,3 раза. В бухте Новик численность была равномерно распределена по всему керну. При этом в подлёдной воде численность клеток превысила среднюю численность во льду в 13 раз. Распределение биомассы в бухте Воевода сходно с численностью, а в бухте Новик объём биомассы в подлёдной воде превысил среднее значение во льду в 9,4 раза. В 2021 г. в бухте Воевода наблюдалась обратная ситуация в распределении численности по сравнению с предыдущим годом. В верхних слоях керна она была минимальной, постепенно возрастая по ходу продвижения вниз, к границе с подлёдной водой. В подлёдной воде была отмечена численность клеток выше, чем во льду, в 7,4 раза. В бухте Новик максимальная численность водорослей наблюдалась в верхнем слое керна, но при этом в целом она равномерно распределилась по всем слоям. Подо льдом численность клеток была в 3 раза выше, чем во льду. Биомасса в подлёдной воде бухты Воевода превышала среднюю по ледовому керну в 3 раза, а в бухте Новик — в 12 раз.

Также был установлен факт «предпочтения» некоторыми видами льда как места обитания и размножения. В 2020 г. таковыми являлись виды ледово-неритического комплекса — диатомовые водоросли *T. nordenskiöldii* и *N. frigida*, а также виды родов *Navicula*, *Pseudo-nitzschia* и *Protoperidinium*. В 2021 г. в этом отношении выделялись ледово-неритические виды *N. frigida*, *E. gigantea* var. *decussata*, *T. gravida* и *D. confervacea*, а также другие встреченные виды из отделов Ochrophyta, Chlorophyta и Harpophyta.

Таким образом, установлен достаточной высокий уровень видового богатства и количественного обилия альгофлоры ледового покрова в бухтах Воевода и Новик, сопоставимый с таковым для планктонного биотопа. Требуется дальнейшее расширение горизонтов исследования морского льда в заливе Петра Великого, поскольку на данной географической широте только в этой акватории способен формироваться устойчивый ледовый покров в течение продолжительного времени.

Современное районирование Северной Евразии по видовому богатству рыб: проблемы и решения

Ядренкина Е. Н.^{1,2}, Равкин Ю. С.^{1,3}

¹Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

³Томский национальный исследовательский университет, Томск, Россия

yadrenkina@ngs.ru

По результатам изучения ихтиофауны внутренних водоёмов и водотоков России и сопредельных государств в начале XX в. Л. С. Берг [1962] выполнил районирование Палеарктики. Позднее сооружение многочисленных каналов привело к объединению бассейнов многих крупных рек европейской части России, а возведение плотин гидроэлектростанций способствовало изменению гидрологического режима водотоков, что не могло не отразиться на населении рыб. Акклиматизация и расселение многих чужеродных промысловых и непромысловых видов привели к неизбежным изменениям ихтиофауны. В настоящее время более 60 видов рыб натурализовались за пределами своих естественных ареалов. Кроме того, развитие и широкое использование молекулярно-генетического тестирования пространственно разобщённых популяций привело к выделению десятков новых видов рыб, поэтому районирование Северной Евразии по современному состоянию фауны рыб весьма актуально.

Районирование Северной Евразии по ихтиофауне выполнено Л. С. Бергом экспертно, а нами [Ravkin et al., 2017] — с использованием кластерного анализа. Сравнение этих схем показало следующее:

1. Число подобластей увеличено с 4 до 12. Кроме того, уникальные по видовому составу акватории (или территории) выделены в качестве автономных округов ранга подобласти как самостоятельного таксона классификации (оз. Байкал, некоторые участки азиатских нагорных территорий).
2. Существенно смещены границы некоторых округов европейской части России: Балтийская провинция (по Л. С. Бергу) объединена с выделенной нами Балтийско-Волжской, что связано с соединением каналами изолированных ранее речных бассейнов. В настоящее время реки Волга, Дон, Нева, Северная Двина, а также Ладожское и Онежское озёра представляют собой единую гидросистему.
3. Изменившийся состав ихтиофауны рек и озёр на опустыненных в XX в. территориях Приаралья обусловил выделение Приаральской подобласти, ранее Аральского округа Понтокаспийско-аральской провинции Средиземноморской подобласти.
4. Информативность полученной нами схемы выше, чем классификации Л. С. Берга, на 21 % и составляет 67 % дисперсии матрицы коэффициентов сходства.

Есть основание полагать, что экспертный и формализованный способы анализа приводят к сходному результату. Однако расчёт информативности представлений возможен только при формализованном подходе. Этим способом, через показатели учтённых классификациями дисперсии матриц сходства, можно оценить информативность современных и составленных ранее схем районирования.

Именно поэтому актуальность ревизии видового разнообразия с учётом современных стандартов таксономии и результатов изучения пространственной организации населения рыб в условиях глобального изменения климата и усиления антропогенной нагрузки очевидна. Однако для развития исследований в области зоогеографии необходима дальнейшая разработка методических подходов к оценке биоразнообразия и районирования.

Исследование поддержано Программой фундаментальных научных исследований (ФНИ) государственных академий наук на 2021–2025 гг., проект № EWGS-2021-0002.

Do Epibiotic Suctorians Choose Attachment Sites of Copepod Body?

Endo Y.^{1,2}, Sato Y.^{1,3}, Yamaguchi A.⁴, and Dovgal I.⁵

¹Laboratory of Biological Oceanography, Graduate School of Agricultural Science,
Tohoku University, Sendai, Japan

²The Open University of Japan, Sendai, Miyagi, Japan

³Kaneryo Sea Vegetable Corp., Japan

⁴Marine Biology Laboratory, Graduate School of Fisheries Sciences, Hokkaido University, Japan

⁵A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

yoshinari.endo.d2@tohoku.ac.jp

Epibiotic relations between copepods and suctorian ciliates have long been known. However, the attachment sites of suctorians on copepod bodies have not been investigated intensively, although this information may be important to understand the life history of these suctorians and the benefits and harmful effects of epibiosis. We investigated epibiosis between calanoid copepods and suctorian ciliates collected widely from the northern North Pacific Ocean. Almost all copepods were adult females of mid- and deep-water species, probably because they are larger and live longer than surface water species and males. Any suctorian species that infested *Metridia pacifica* and *M. similis* attached almost exclusively to their urosome. Suctorians might avoid or could not stay attached to anterior parts of fast-swimming copepods. Movement of suctorians from one copepod individual to another would take place when swarmers are formed and individuals of copepods take close contact, *e. g.* during copulation. Swarmers would move to another copepod individual and settle at these contact position. The attachment site of two suctorians, *Actinocyathula pleuromammae* and *Paracineta gaetani*, extended to the anterior part of the copepod body as the number of attached suctorians increased, suggesting they are obliged to attach to suboptimal parts exposed to faster water current.

The work of I. Dovgal was conducted within the framework of the state assignment of the A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS № 121040500247-0.

Metazoan Parasite Diversity From Cetaceans

Fraija-Fernández N., Fernández M., Raga J. A., and Aznar F. J.

Marine Zoology Unit, Cavanilles Institute of Biodiversity and Evolutionary Biology, Science Park, University
of Valencia, Valencia, Spain

natalia.fraija@uv.es

Parasites exhibit one of the most successful life-strategies on Earth, are an integral part of biodiversity, and exert a significant effect on the biology of free-living organisms and ecosystem functioning. Marine mammal parasites, in particular, are valuable biological indicators of habitat use, diet, migration patterns, and population dynamics of their hosts. A starting point for the study of the parasitic fauna of any host species is to have a detailed account on its diversity. In the case of parasites of cetaceans, data about diversity are scattered in a number of papers, and available host-parasite lists are out-dated. Here we present an update of the helminth fauna of cetaceans, providing quantitative data about diversity and host-parasite relationships. We compiled information on 793 host-parasite records. Overall, a total of 176 helminth species has been reported in 73 out of the 90 known cetacean species. However, the number of helminth species is likely underestimated as cryptic speciation frequently occurs in parasitic helminths (*e. g.* in *Anisakis* spp.). The most speciose group are the nematodes (61 spp.), followed by digeneans (56 spp.), cestodes (38 spp.), and acanthocephalans (21 spp.). A total of 30 species (17.0 %) have been reported only once, and 46 species (26.1 %) have repeatedly been reported in single cetacean species, *i. e.* they have strict host specificity. The most diverse families are the Brachycladiidae and Notocotylidae (Digenea), Anisakidae, Pseudaliidae and Tetrameridae (Nematoda), Diphyllbothriidae, Phyllobothriidae and Tetrabothriidae (Cestoda), and Polymorphidae (Acanthocephala). At species level, the vast majority of helminth taxa are specific to cetaceans, but some genera are shared with pinnipeds and marine birds. This study may constitute a baseline for future diversity surveys on helminth cetaceans. From a conservation perspective, greater awareness about the helminth fauna of cetaceans should be desirable, including proper sampling during necropsies and correct taxonomic identification.

This work is dedicated to researchers from Simferopol's Laboratory of Marine Mammal Parasitology, with great affection to Prof. M. V. Yurakhno, for their breakthrough in knowledge of these parasites.

Zooplankton Community Response to Heat Wave 2010 in the Coastal Black Sea Areas: Sevastopol and Varna Bays Case-Studies

Gubanova A.¹, Stefanova K.², Goubanova K.³, Krivenko O.¹, Garbazev O.¹, Altukhov D.¹,
Lyashko T.¹, Belokopytov V.⁴, and Stefanova E.²

¹A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

²Institute of Oceanology–Bulgarian Academy of Sciences, Varna, Bulgaria

³Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), La Serena, Chile

⁴Federal Research Center Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia

adgubanova@imbr-ras.ru

The impact of climate warming on biodiversity was recognised as one of the grand challenges of modern marine ecology. Recently, against the backdrop of a long-term warming trend, extreme regional anomalies of summer temperatures (heat waves) increase in frequency. However, the effect of heat waves on zooplankton communities has not yet been adequately studied.

Summer 2010 was extraordinarily warm in Eastern Europe and large parts of Russia, including the Black Sea coastal area. We analyzed the impact of heat wave events 2010 on crustacean zooplankton based on long-term (2003–2014) routine observations of zooplankton in the Sevastopol Bay (Northern Black Sea) and Varna Bay (Western Black Sea). Changes in the abundance, structure, and seasonal variations of crustacean zooplankton in response to extreme summer temperature were assessed, and indicator species sensitive to positive temperature anomalies were identified.

In the Sevastopol Bay, the highest average annual sea surface temperature (SST) was recorded in 2010 (16.7 °C, with an anomaly of 1.23 °C), and the hottest months were June–September with the maximum SST anomaly in August (28.2 °C, with an anomaly of 2.74 °C). That year, the average abundance of crustaceans reached its maximum values and exceeded 24,000 ind.·m⁻³, while for 2003–2014, it was on average 9024 ind.·m⁻³. The main contribution to the total abundance was made by warm water species, namely the copepods *Acartia tonsa*, *Centropages ponticus*, and *Oithona davisae*, and the cladoceran *Penilia avirostris*. Although the seasonal dynamic patterns of the above species were regular within the study period (*O. davisae* and *A. tonsa* peaked in August; *C. ponticus* and *P. avirostris* – in July), the peaks in abundance were more pronounced in 2010.

In the western part of the Black Sea (Varna Bay), the heat wave 2010 was less pronounced. The main feature of the zooplankton response to the heat wave expressed in the increase in the values of the warm water species *A. tonsa*, *C. ponticus*, and *O. davisae* was also noted in Varna Bay. At the same time, there was a remarkable increase in the abundance of the eurythermal species *A. clausi*.

We have shown that positive temperature anomalies led to a sharp increase in the abundance of warm water crustacean species and their share in the zooplankton community. Apparently, extreme temperature increase led to a reduction of generation length of the warm water species, resulting in a sharp increase in their abundance. Thus, these species should be considered as indicators of climate warming events. A shift in the zooplankton communities in response to extreme summer temperatures could help to reveal the climate warming effect on zooplankton and marine ecosystems as a whole in the future.

The work was conducted within the framework of the state assignments of IBSS RAS № 1121040600178-6 and MHI RAS № 0827-2018-0001.

Mexican Symbiotic Ciliates: An Overview of Its Diversity

Mayén-Estrada R.

Laboratorio de Protozoología, Departamento de Biología Comparada, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico City, Mexico

rme2@ciencias.unam.mx

Ciliates, eukaryotic protists included in Alveolata super-group, play a very important role as symbionts. Some Mexican ciliates have been reported as symbiotic species, including both ectosymbionts and endosymbionts, and considered as commensals, epibiotic or even parasites. Among others, this Mexican ciliate diversity includes species of symbionts of crustaceans, molluscs, fish, and aquatic insects, in certain areas of Mexico. The goal of this contribution deals with provide data of the geographic distribution, diversity, and importance of ciliate as symbionts. The major taxa of ciliates reported in Mexico includes mainly rhynchodids, suctorians, ancistrocomids, and peritrichs, and some taxonomic data are provided to show species richness. Some cellular characteristics of these groups are compared, and also some features of their life cycle, to explain the differences and success as symbionts of several hosts. Moreover, some types of damages are mentioned. As a conclusion, the study of Mexican symbiotic ciliate species is still incomplete, due some regions have not been studied, and for many species, their ecological, morphological, molecular, and distributional roles need to be completed.

New Data on Parasites of the Genera *Kudoa* and *Unicapsula* (Myxosporea: Multivalvulida) in Marine Fish of Nha Trang Bay, Vietnam

Yurakhno V. M.¹, Slynko Yu. V.¹, Slynko E. E.², Nguyen C. N.³, Vo T. H.⁴, and Whipps C. M.⁵

¹A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

²I. D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences, Borok, Russia

³Institute of Ecology and Biological Resources, Vietnam Academy of Science and Technology, Ha Noi, Vietnam

⁴Vietnam-Russia Tropical Centre, Nha Trang, Vietnam

⁵State University of New York – ESF, Syracuse NY, USA

viola_taurica@mail.ru

The fauna of marine myxosporeans in the East Sea is extremely poorly studied. Prior to our studies, according to the literature data, 8 identified to a species level (3 of them belong to the *Kudoa* genus) and 9 unidentified representatives of this group of parasites were found off the coast of Vietnam, and 9 completely different species were found in Chinese waters (7 of them are representatives of the *Kudoa* genus).

The first results of our research on fish myxosporeans in Nha Trang Bay, Vietnam, showed the richness of the fauna of these parasites in this region. During three month trips in 2018–2019, we found 32 representatives of Myxosporea (10 *Kudoa* spp. and 1 *Unicapsula* sp.), 9 of which were identified to species.

Among the identified species of myxosporeans belonging to the order Multivalvulida, in the mullets we found *Kudoa dicentrarchi* Sitja-Bobadilla et Alvarez-Pellitero, 1992 in gall bladder of *Planiliza* cf. *melinopterus*, *Osteomugil cunnesius*, *O. perusii*, *Mugil* cf. *cephalus*, and two new species of this genus in gall bladder and muscles of two species of fish. We also found 4 species of muscles parasites: *Kudoa thyrssites* (Gilchrist, 1924) from Russell's mackerel scad *Decapterus russeli*; *Kudoa whippsi* Burger et Adlard, 2010 from Indo-Pacific sergeant *Abudefduf vaigiensis*; *Kudoa monodactyli* Gunter, Cribb, Whipps et Adlard, 2006 from Silver moony *Monodactylus argenteus*; and *Unicapsula pyramidata* Naidenova et Zaika, 1970 from Japanese threadfin bream *Nemipterus japonicus*.

The species identification of the above myxosporeans was carried out on the basis of morphological and molecular genetic methods.

Prevalence was 36 % for *K. thyrssites* and 10 % for *U. pyramidata*. *K. whippsi* was found in 1 of 5 fish, *Kudoa monodactyli* – in 2 of 5 fish. *K. dicentrarchi* was found in 5 % *Planiliza* cf. *melinopterus*, in 12 % *Osteomugil cunnesius*, in 20 % *Osteomugil perusii*, and in 56 % *Mugil* cf. *cephalus*.

This is the first report of *K. thyrssites*, *K. whippsi*, and *K. dicentrarchi* from the East Sea and Vietnam.

The new host records are *Decapterus russeli* for *K. thyrssites*, *Abudefduf vaigiensis* for *K. whippsi*, *Planiliza* cf. *melinopterus*, *Osteomugil cunnesius*, *O. perusii* for *K. dicentrarchi*.

The work was carried out within the framework of the state assignment of IBSS No. 121030100028-0 "Regularities of the formation and bioresources of the Azov – Black Sea basin and other parts of the World Ocean" and the Joint Russian-Vietnamese Tropical Research and Technology Center (ECOLAN E-3) "Conservation, restoration, and sustainable use of marine coastal ecosystems based on the study of their structural and functional organization" (Russia).

**Структура, функционирование
и динамика водных и наземных
экосистем**

Воздействие доминантов на видовое богатство растительных сообществ разных типов: от макрофитобентоса Чёрного и Азовского морей до альпийских лугов Западного Кавказа

Акатов В. В.¹, Акатова Т. В.², Афанасьев Д. Ф.³, Ескина Т. Г.², Сазонец Н. М.¹, Сушкова Е. Г.³,
Чефранов С. Г.¹

¹Майкопский государственный технологический университет, Майкоп, Россия

²Кавказский государственный природный биосферный заповедник, Сочи, Россия

³Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону, Россия

akatovmgti@mail.ru

Сообщение касается одной из ключевых проблем биоэкологии — роли взаимоотношений между видами в определении структуры и видового богатства биологических сообществ в разном пространственном масштабе. Правильное представление об этом факторе считается важным для формирования осознанного отношения к проблеме угрозы сокращения биоразнообразия из-за изменения (как усиления, так и ослабления) по разным причинам позиций определённых видов, особенно доминантов, как в наземных, так и в морских экосистемах. Соответственно, исследования в этой области направлены на то, чтобы лучше прогнозировать негативные последствия таких процессов и сделать мероприятия по их минимизации более эффективными.

В основу работы положено предположение, что региональные последствия локального воздействия доминантов на фитоценозы зависят от тесноты связи между участием доминантов и видовым богатством на микроучастках сообществ, а также от того, случайно или упорядоченно исчезают виды из микроучастков сообществ при изменении участия доминантов [Powell et al., 2011, 2013 ; Акатов и др., 2017, 2020, 2021].

Район исследования включал предгорье и горные массивы Западного Кавказа (Краснодарский край, Республика Адыгея — бассейны рек Белая, Малая Лаба, Шахе, Хоста, Абин; 200–2500 м над уровнем моря), Ставропольскую возвышенность и Кумо-Манычскую депрессию (Ставропольский край; 585 и 30–75 м), западную часть Кубано-Приазовской низменности, прибрежные участки шельфа Чёрного моря и мелководные участки Таманского залива Азовского моря (Краснодарский край; глубины от 0,1 до 10 м). Объектом изучения явились однородные участки растительных сообществ с хорошо выраженным доминированием определённого вида, расположенные на природных (полуприродных) и антропогенных местообитаниях разных типов. На природных (полуприродных) местообитаниях это сообщества альпийских и субальпийских лугов, нижнегорные луговые и степные сообщества, травяной ярус прирусловых лесов, сообщества прирусловых отмелей горных рек, макрофитобентос горизонта фотофильной растительности сублиторали Чёрного (с доминированием видов *Cystoseira sensu lato*) и Азовского (с доминированием *Zostera noltei* и *Z. marina*) морей. На антропогенных местообитаниях это растительные сообщества залежей, обезлесенных участков, пустырей. В пределах каждого из выделенных однородных участков сообществ с доминированием определённого вида было заложено по 25–30 площадок размером 0,5 × 0,5 м. Часть площадок была заложена регулярным способом в виде одной или двух трансект, включающих 10 площадок; другие — сериями по 5–10 штук на участок. С каждой площадки были отобраны пробы биомассы, которые затем были разобраны по видам и взвешены. Для каждой пробы были определены сырая биомасса доминирующего и сопутствующих видов, число видов (S). Для наземных сообществ участие доминантов оценивали через степень домини-

рования (DD); для макрофитобентоса — через совместную биомассу *Cystoseira sensu lato* так же, как *Zostera noltei* и *Z. marina* (W_d). Кроме того, поскольку цистозир и zostеры могут оказывать как отрицательное (конкуренция), так и положительное (как субстрат) воздействие на другие виды, биомассу и видовое богатство эпилитов и эпифитов оценивали отдельно.

Общее число изученных участков сообществ составило 56. Среди них 47 участков наземных и 9 морских ценозов. Тесноту связи между участием доминантов на небольших участках сообществ ($0,5 \text{ м}^2$) и их видовым богатством определяли путем расчёта коэффициента корреляции Спирмена. Характер исчезновения (случайный или упорядоченный) сопутствующих видов из таких участков при изменении позиции доминантов определяли путём сопоставления данных по сериям проб биомассы, отобранным с микроучастков сообществ с разным участием доминирующего вида (видов), с сериями модельных ценозов с аналогичным видовым богатством, но со случайным распределением видов [Акатов и др., 2021].

Как показали результаты анализа, связь между DD и S на большинстве участков наземных сообществ (на 30 из 47) является отрицательной и тесной, еще на 8 — умеренной. На большинстве участков макрофитобентоса связь между W_d и числом сопутствующих видов-эпилитов оказалась разнонаправленной и статистически незначимой, на двух — умеренной отрицательной. Связь между W_d и числом видов-эпифитов оценивали только для четырёх участков макрофитобентоса с доминированием цистозир. На всех из них она положительная и слабая; только на одном из них статистически значимая. Результаты сопоставления серий проб, отобранных из наземных и морских ценозов, и соответствующих им модельных серий показали, что во многих растительных сообществах разных типов (возможно, в большинстве) изменение участия доминантов сопровождается преимущественно случайным (не упорядоченным) исчезновением сопутствующих видов. В частности, на участках наземных растительных сообществ природных местообитаний, а также сообществ эпилитов макрофитобентоса упорядоченное исчезновение видов не обнаружено. Чаще это явление встречается в сообществах антропогенных местообитаний с доминированием видов, способных формировать высокие и густые заросли. Наиболее часто оно встречается среди видов-эпифитов в ответ на снижение биомассы видов *Cystoseira sensu lato* в шельфовой зоне Чёрного моря.

Это может означать, что участки сообществ с разным участием доминантов в большинстве случаев характеризуются примерно одинаковыми по размеру видовыми пулами. Соответственно, определённая фитомасса сопутствующих видов на участках ценозов с высоким их участием должна поддерживать не меньшее число видов, чем примерно такая же фитомасса, но на более крупных по размеру участках сообществ с низким их участием [Акатов и др., 2020, 2021]. Наши данные подтверждают это предположение. Из них следует, что соотношение площади участков с наиболее высоким и наиболее низким участием доминантов, но с примерно равным видовым богатством как в наземных, так и в морских ценозах в среднем составляет 1:2,7. Таким образом, наши результаты показывают, что, по крайней мере, во многих растительных сообществах разных типов рост относительного участия доминантов может непосредственно угрожать другим видам только в том случае, если площадь этих сообществ невелика.

В сообщении приведены результаты исследований, выполненных при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 16-04-00228 и 20-04-00364).

Закономерности формирования первичной продуктивности разнотипных лагунных экосистем Балтийского моря

Александров С. В.

Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»), Калининград, Россия

hydrobio@mail.ru

Лагунные экосистемы характеризуются уникальным сочетанием природных факторов и имеют исключительно высокую первичную продуктивность. Вислинский и Куршский заливы Балтийского моря — крупнейшие лагунные экосистемы Европы, с отличными от моря гидрологическими режимами, специфическими биоценозами и условиями эвтрофирования. Заливы расположены в густонаселённых районах с развитыми сельским хозяйством и промышленностью, имеют рекреационное и транспортное значение. Так, они относятся к важнейшим рыбохозяйственным водоёмам, а на побережье Куршского залива расположен национальный парк ЮНЕСКО «Куршская коса». Гидрохимический режим и структура биоценозов Вислинского и Куршского заливов во многом определяются особенностями гидрологического режима (речным стоком и водообменом с морем). По интенсивности заточа морских вод и скорости водообмена, которые определяют многие процессы, в частности скорость антропогенного эвтрофирования, Куршский залив можно отнести к лагунам «закрытого» типа с преимущественно пресноводными условиями, а Вислинский залив — к лагунам «полуоткрытого» типа с солоноватоводными условиями.

Вислинский и Куршский заливы относятся к трансграничным водоёмам, где большая часть акватории (61 и 75 % соответственно) принадлежит РФ. Мониторинг в российской акватории Вислинского и Куршского заливов проводится в АтлантНИРО в безлёдный период ежемесячно с марта-апреля по ноябрь-декабрь. Для оценки первичной продукции планктона и трофического статуса использованы материалы ежемесячных наблюдений в 2001–2019 гг., а для выявления закономерностей формирования первичной продуктивности лагунных экосистем проанализированы данные по гидробиологическим (хлорофилл, зообентос, фитопланктон), гидрохимическим (биогены, кислород, БПК₅ и др.) и гидрологическим (прозрачность, температура, солёность) показателям.

В лагунных экосистемах Вислинского и Куршского заливов гидрохимические условия и гидрологический режим обуславливают высокий уровень эвтрофирования вод, который отражается в максимальных для водных экосистем величинах первичной продукции планктона. В летний период соотношение минеральных форм азота и фосфора ($N:P < 7$), высокие концентрация фосфатов, небольшие глубины (3–5 м), интенсивный прогрев вод ($> +20$ °C), замедленный водообмен создают условия для цветения синезелёных водорослей и высокой первичной продукции планктона.

В акватории Балтийского моря в последние десятилетия наблюдаются климатические изменения, отражающиеся на устойчивом тренде повышения температуры воды в лагунах (1,3 °C за 40 лет и увеличение числа «тёплых лет» с повышенным летним прогревом). Климатические изменения, которые обуславливают более сильный летний прогрев воды, оптимальный для синезелёных водорослей, в сочетании с рядом других факторов среды ведут к увеличению первичной продукции и уровня эвтрофирования вод в 2000-х гг., несмотря на снижение внешней биогенной нагрузки. Средняя годовая первичная продукция в 2000-х и 2010-х гг. в Куршском заливе (490 и 580 г C·м⁻²·год⁻¹) и Вислинском заливе (415 и 450 г C·м⁻²·год⁻¹) значительно выше, чем в середине 1970-х гг. (300 г C·м⁻²·год⁻¹). В современный период по уровню первичной продуктивности вод лагунные экосистемы Куршского и Вислинского заливов относятся к наиболее эв-

трофным водоёмам Европы. Локальное потепление климата в Балтийском регионе — возможная причина продолжающегося эвтрофирования Вислинского и Куршского заливов, и оно может представлять экологическую опасность для лагунных экосистем из-за стимулирования цветений воды.

Первичная продукция фитопланктона в лагунных экосистемах (Куршский и Вислинский заливы) превышает разложение органического вещества, в среднем на 50–60 %. В лагуне «закрытого» типа (Куршский залив), где наблюдается слабый водообмен ($1\text{--}3 \text{ год}^{-1}$), такое соотношение ведёт к накоплению органики в воде и донных осадках, увеличению внутренней биогенной нагрузки и дальнейшей эвтрофикации. Первичная продукция в Куршском заливе в 2010-х гг. примерно на 80 % выше, чем в середине 1970-х гг., что свидетельствует о значительном эвтрофировании «закрытой» лагуны, в том числе под влиянием климатических изменений.

В лагуне «полуоткрытого» типа (Вислинский залив) наблюдается интенсивный аутвеллинг биогенных и органических веществ через морской пролив, способствующий эвтрофикации прибрежной акватории Балтийского моря. Первичная продукция в 2010-х гг. примерно на 50 % выше, чем в середине 1970-х гг.; следовательно, скорость эвтрофирования «полуоткрытой» лагуны ниже.

Лагуны «закрытого» типа (примером служит Куршский залив, условия среды в котором во многом близки к экосистемам озёр и водохранилищ) наиболее подвержены воздействию факторов среды, определяющих увеличение первичной продукции. В частности, наиболее сильно эвтрофирование и цветение воды выражены в российской части ($\approx 75\%$ акватории), где условия исключительно благоприятны для цветения синезелёных водорослей: замедленный водообмен ($\approx 1 \text{ год}^{-1}$), нет затока морской воды, пресноводность, прогрев воды летом до $+25\text{...}+26 \text{ }^\circ\text{C}$. Здесь максимально проявляются неблагоприятные последствия эвтрофирования вод: гиперцветение видов, продуцирующих альготоксины, превышение ПДК по ряду гидрохимических показателей (БПК₅, аммонийный азот и др.), заболеваемость гидробионтов, локальный замор рыб.

Лагунные экосистемы «открытого» типа (примером служит Вислинский залив, условия среды в котором соответствуют эстуариям) в значительной степени подвержены влиянию гидрологических условий (взаимодействию речного стока и морских вод). В Вислинском заливе первичная продукция и концентрация хлорофилла значительно ниже, чем в Куршском заливе, и эвтрофирование водоёма не достигает потенциально возможного уровня, так как интенсивный водообмен ($\approx 9 \text{ год}^{-1}$) и солоноватоводность препятствуют гиперцветению синезелёных водорослей. Солёность 4–5 ‰, близкая к значению «критической» для зоопланктона и бентоса Балтийского моря, оказывает воздействие на снижение продуктивности и обилия фитопланктона. Из-за этого в Вислинском заливе значительно слабее выражены неблагоприятные последствия (отсутствуют гиперцветение водорослей и замор рыб). Первичная продукция лагунных экосистем имеет устойчивость к значительным экосистемным изменениям, вызванным биоинвазией. Вселение североамериканского двустворчатого моллюска-фильтратора *Rangia cuneata* в Вислинский залив привело в 2011–2013 гг. к последовательной существенной перестройке структуры, обилия и сезонной динамики фитопланктона. После вселения моллюска-фильтратора средняя за вегетационный период концентрация хлорофилла *a* уменьшилась в 2 раза (с $38 \text{ мкг}\cdot\text{л}^{-1}$ в 2001–2010 гг. до $19 \text{ мкг}\cdot\text{л}^{-1}$ в 2011–2020 гг.), тогда как биомасса бентоса возросла в 28 раз. В результате снижение обилия фитопланктона (концентрации хлорофилла) стало компенсироваться увеличением ассимиляционных чисел (в 2,5–3 раза) и прозрачности воды. В 2014–2020 гг., несмотря на масштабную биоинвазию моллюска-фильтратора, первичная продукция сохранилась на многолетнем эвтрофно-гипертрофном уровне, который создаёт благоприятные условия для других трофических групп (зоопланктон, бентос, рыбы), одновременно с улучшением качества воды и её экологического состояния (из-за отсутствия гиперцветения синезелёных водорослей).

Вертикальное распределение и суточные миграции планктонных копепод в глубоководных районах Чёрного моря в 2019–2021 гг.

Алтухов Д. А., Литвинюк Д. А., Губанова А. Д., Муханов В. С., Ляшко Т. В., Гарбазей О. А.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

dennalt@gmail.com

В Чёрном море специфика распределения скоплений зоопланктона с глубиной связана в первую очередь с положением нижней границы кислородной зоны, которая меняется во времени и пространстве (поднимается до глубин 85–100 м в центральных районах халистатических областей, опускается на периферии ниже 170–180 м), а кроме того, с формированием слоя сезонного термоклина и перемещением мигрирующих видов в течение суток. Несмотря на почти вековую историю изучения вертикальной зональности зоопланктона Чёрного моря, механизмы её формирования и трансформации в условиях изменения глобального климата и нарастающего антропогенного воздействия требуют более глубокого и современного понимания, сохраняется дефицит данных о зоопланктоне глубоководных районов моря. Цель данной работы состояла в том, чтобы выявить особенности вертикальной структуры мезозоопланктона в слоях от поверхности до нижней границы субкислородной зоны и проанализировать суточные вертикальные миграции планктонных копепод в глубоководных районах Чёрного моря.

В ходе 108, 111, 114 и 116-го рейсов НИС «Профессор Водяницкий» в июле — августе и декабре 2019 г., сентябре — октябре 2020 г., апреле — мае 2021 г. методом послонных сетных ловов (сеть Джели 37 см / 150 мкм, оборудованная замком Нансена) исследовали изменение с глубиной таксономического состава и количественных характеристик мезозоопланктонного сообщества на четырёх кросс-шельфовых разрезах и суточных станциях в центрах восточного и западного черноморских круговоротов. Пробы зоопланктона отбирали на 3–6 горизонтах. Выбор горизонтов отбора связывали главным образом со значениями условной плотности воды и положением центра температурного скачка. Профили плотности (σ_t) использовали для определения границ залегания оксиклина и субкислородного слоя в соответствии с классической моделью плотностной стратификации водных масс Чёрного моря.

Планктонные копеподы были представлены аборигенными каляноидами *Acartia clausi*, *Calanus euxinus*, *Centropages ponticus*, *Paracalanus parvus*, *Pseudocalanus elongatus*, циклопоидой *Oithona similis*, а также вселенцем — циклопоидой *O. davisae*. Единичные экземпляры ещё одного относительно недавнего вселенца, *A. tonsa*, были обнаружены только на одной станции летом 2019 г. В более поздних сборах вид не встречался.

Для каждого вида копепод выявлены особенности вертикального распределения в разные сезоны. *A. clausi*, *C. ponticus*, *P. parvus*, *O. davisae* и *O. similis* в течение суток не мигрировали, находясь и днём, и ночью в одних и тех же слоях. Летом 2019 г., осенью 2020 г. и в апреле — мае 2021 г. *A. clausi* обитала преимущественно в верхнем перемешанном слое (далее — ВПС), однако на некоторых станциях более 50 % популяции вида концентрировалось в слое под термоклином. В декабре 2019 г. около 100 % особей вида, за редким исключением, находили в ВПС.

Вся популяция теплолюбивого вида *C. ponticus* предсказуемо концентрировалась в ВПС в летних и осенних сборах. В декабре 2019 г. в пробах найдены единичные экземпляры *C. ponticus*. В апреле — мае 2021 г. вид в пробах не обнаружен.

Эвритермный *P. parvus* был малочисленным в июле — августе 2019 г., но абсолютно доминировал по численности среди копепод в декабре того же года. Почти на всех станциях в декабре 2019 г. не менее 90 % популяции *P. parvus* было сосредоточено в слое над термоклином. Сходным образом вид распределялся в толще воды и осенью 2020 г. А вот в апреле — мае 2021 г. на станциях, где численность *P. parvus* была значительной, большая часть популяции вида обитала на глубинах 18 м и ниже. Отметим, что термоклин в этот период ещё не был чётко выражен.

Вертикальное распределение *O. davisae* во многом было схожим с распределением *P. parvus*. Циклопоида-вселенец была малочисленной летом 2019 г., но достаточно обильной в декабре 2019 г. и сентябре — октябре 2020 г., когда более 90 % популяции вида приходилось на ВПС. Весной 2021 г. в разных слоях обнаружены только единичные экземпляры самок *O. davisae*.

Холодолюбивая *O. similis* летом и осенью располагалась в основном в слое под термоклином. Зимой *O. similis*, как правило, распределялась в ВПС и слое под термоклином, а весной 2021 г. этот вид предпочитал слой оксиклина ($14,5 < \sigma_t < 15,5$).

Особенности вертикального распределения двух холодолюбивых мигрирующих видов, *C. euxinus* и *P. elongatus*, во многом совпадали. Младшие копеподитные стадии видов (C1–CIII) очень редко опускались в нижние слои, концентрируясь зимой 2019 г. в столбе воды от изопикны $\sigma_t = 15,5$ до поверхности, а летом 2019 г. и осенью 2020 г. — от изопикны $\sigma_t = 15,5$ до термоклина.

Часть рачков пятой копеподитной стадии (CV) *C. euxinus* находилась в состоянии диапаузы. Диапаузирующие калянусы не мигрировали, а круглосуточно оставались в субкислородной зоне. Доля таких рачков в общей численности пятой копеподитной стадии *C. euxinus* зачастую превышала 50 %.

За исключением диапаузирующих, остальные старшие копеподитные стадии, самки и самцы *C. euxinus* (CIV–CVI) и все *P. elongatus* CIV–CVI в дневное время обитали в субоксидной зоне ($\sigma_t > 15,5$), после заката солнца устремлялись вверх, а к рассвету возвращались обратно. Летом 2019 г. и осенью 2020 г., когда температура воды ВПС была не ниже +20,0 °С, *C. euxinus* и *P. elongatus* (CIV–CVI) в ночное время поднимались до термоклина, но его не преодолевали и в ВПС практически не встречались. Зимой 2019 г. оба вида в ночное время поднимались и до поверхности.

Весной 2021 г. характер вертикального распределения *C. euxinus* и *P. elongatus* был иным. За редким исключением, и младшие, и старшие копеподитные стадии обоих видов были сконцентрированы в основном в слоях $14,5 < \sigma_t < 15,5$ и $15,5 < \sigma_t < 15,7$.

Полученные результаты указывают на существование хорошо выраженной вертикальной зональности сообщества копепод пелагиали Чёрного моря, формирование которой зависит как от физико-химической стратификации водного столба, так и от биологических факторов — особенностей экологии и поведения отдельных видов. Соответственно, вертикальная структура сообщества претерпевала закономерные сезонные изменения, связанные со сменой структуры водного столба, температурного и гидрологического режима водных масс и состава доминирующих видов копепод.

Исследование было выполнено в рамках бюджетной тематики ФИЦ ИНБЮМ № 121040600178-6.

Гидрохимические условия прибрежной акватории Балтийского моря в летний период 2014–2019 гг.

Артамонова К. В., Трофимова В. В.

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Россия

ksusha.vniro@gmail.com

В работе рассмотрены особенности пространственного и вертикального распределения содержания растворённого кислорода, сероводорода и концентрации биогенных элементов в прибрежной акватории Балтийского моря (от побережья Самбийского полуострова (Калининградская область) до района Гданьской котловины) в июле — августе 2014–2019 гг., а также проанализирована изменчивость гидрохимических условий за исследуемый период.

В основу проведённого исследования положены данные комплексных учебно-научных экспедиций в Балтийское море по проектам РГО — РФФИ (2014–2018); кроме того, использована информация по гидролого-гидрохимическому состоянию вод Балтики Института Лейбница, представленная в открытом доступе.

Показано, что вертикальное распределение гидрохимических показателей хорошо согласовалось с термохалинной структурой вод, выделялось два основных слоя — хорошо аэрированный верхний перемешанный (до верхней границы галоклина) с минимальными концентрациями биогенных элементов и придонный слой, который занят Североморской глубинной водой, залегающей в Гданьской котловине на глубинах свыше 65 м и характеризовавшейся низким содержанием растворённого кислорода и высокими концентрациями фосфатов, силикатов и нитратов.

Получено, что содержание растворённого кислорода в поверхностном слое исследуемой акватории соответствовало среднемноголетнему летнему минимуму и составляло 6–7 мл·л⁻¹ (при насыщении 110–120 %), при этом минимальные его концентрации наблюдались в июле — августе 2018 г. и были связаны с аномально высокой температурой воды, достигавшей +25,5 °С.

Установлено, что поверхностные воды исследуемой акватории Балтийского моря в июле — августе 2014–2019 гг. характеризовались достаточно высоким содержанием силикатов (до 42 мМ) и фосфатов (до 0,35 мМ) в районе берега, что связано с влиянием материкового стока, и уменьшением их концентраций (до 12–15 мМ и до аналитического нуля соответственно) в сторону мористой части изучаемой акватории. В то же время в летний период наблюдалось полное потребление нитратов, содержание которых на большей части исследуемой акватории достигало нулевых концентраций, а минеральная форма азота в основном была представлена аммонийным. Получено, что максимальные концентрации растворённого кремния, фосфатов и нитратов в поверхностном слое зарегистрированы в районе Балтийского канала и достигали 78,6; 0,35; 0,42 мМ соответственно; при этом соотношение N/P падало до 1–4, в то время как на большей части изучаемой акватории оно превышало 6–7. Рассчитано, что первичная продукция в прибрежной акватории Балтийского моря не превышала 1,69 г С·м⁻³ в сутки.

Установлено, что максимальная межгодовая изменчивость гидрохимических показателей была характерна для придонного слоя в районе Гданьской котловины. Показана зависимость гидрохимических условий глубинных вод от интенсивности и периодичности затоков североморских вод. Выявлено, что не каждый заток североморских вод приводит к значимому увеличению содержания растворённого кислорода в глубинных водах Гданьской котловины. По полученным наблюдениям выявлены три разные ситуации по гидрохимическим условиям в глубинных водах

Гданьской котловины: благоприятные с высоким содержанием растворённого кислорода и более низкими концентрациями биогенных элементов в июле — августе 2014 г.; промежуточная ситуация с уже нарастающим дефицитом кислорода и более высокими концентрациями фосфатов и кремния в июне — августе 2015 г; бескислородные условия во всём слое североморских вод Гданьской котловины ниже 85–90 м, характеризующиеся наличием сероводорода с концентрациями более $1 \text{ мл} \cdot \text{л}^{-1}$ в июле — августе 2018–2019 гг. и очень высокими концентрациями силикатов (200–220 μM) и фосфатов (5,0–6,16 μM).

Исследование проведено при финансовой поддержке РФФИ — РГО, проект № 17-05-41029.

Постпирогенные исследования горно-таёжных геосистем Прибайкалья

Биличенко И. Н., Седых С. А., Опекунова М. Ю.

Институт географии имени В. Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, Россия

irinabilnik@mail.ru

Пожары — один из самых значимых катастрофических факторов преобразования геосистем тайги. Причиняя катастрофический урон, уничтожая целые экосистемы, пожары в то же время запускают сукцессионные процессы, кратковременно увеличивая биологическое разнообразие. Исследование пожаров вносит существенный вклад в понимание структурно-функциональной организации и динамики геосистем. Особенно важно изучение связи пожаров с природными и антропогенными факторами в пределах малонарушенных лесных горно-таёжных территорий. Также актуальным остаётся выявление особенностей этого воздействия на ландшафтную структуру в связи с зонально-географическими изменениями климата [Ваганов, Арбатская, 1996]. Распространение пожаров в Прибайкалье в настоящее время носит возрастающий и повсеместный характер. Актуальность изучения влияния пирогенного фактора на геосистемы гор Прибайкалья определяется их высокой средообразующей, средостабилизирующей и средоохранной значимостью. Изучение структуры и функционирования горных геосистем, их преобразования при воздействии пожаров является основой оценки и прогноза изменений природной среды. Изменения геосистем в результате пирогенного фактора несут за собой изменения других природных процессов (гидрологических, геоморфологических, почвообразования, смены растительного покрова, климатических), поэтому важно провести их исследование отдельно и в комплексе.

Ключевой постпирогенный участок, где проводились покомпонентные исследования, находится на Приморском хребте. На нём, в окрестностях гольца Трёхголовый, в 2015–2017 гг. сгорело около 110 км² горно-таёжных и горных кустарниковых геосистем по основному водоразделу, по западному и восточному макросклонам.

Участок исследования входит в Западно-Прибайкальский пирологический округ — с варьированием количества пожаров от 0,1 до 0,5 на 100 тыс. га за сезон. Климат здесь умеренно холодный влажный. Общий фон создают сосняки (*Pinus sylvestris*) травяно-кустарничковые. По хребтам встречаются темнохвойные кустарничково-зеленомошные леса. Горимость лесов повышенная. Максимум пожарной опасности по условиям погоды и максимум горимости — весной, в мае.

В исследуемой части хребта с 1999 г. выделено 16 пожаров, площадью около 500 км². Среди них один катастрофический (2016 г., более 2000 га, охватил водораздельные высокогорья к северу от г. Трёхголовый) и три крупных пожара (от 201 до 2000 га). Средняя площадь пожаров на данной территории варьирует в интервале от 21 до 200 га. На исследуемом участке было сделано около 20 подробных описаний. Большая часть участка покрыта пожаром 2016 г. В гольцах, на высотах 1400–1500 м, существует места, где кедровый стланик (*Pinus pumila*) сгорел полностью. На высоте 1380 м встречаются участки с пятнистой гарью ерниковые (*Betula nana*), с рододендронами (*Rhododendron aureum*) лишайниковые с выгоревшим кедровым подростом. Чуть ниже идут кедровые (*Pinus sibirica*) с ерником и кедрово-стлаником в подлеске кипрейные (*Chamaenerion angustifolium*). Юго-восточный макросклон покрыт горелым, в основном сосновым сухостоем с обильным подростом кипрея и чистотела (*Chelidonium majus*) на обнажённом каменистом субстрате. Сообщества кипрея встречаются и выше, в подгольцовой зоне среди соснового

сухостоя. Вблизи ручья Улан-Хан, на высоте 500 м, на крутом склоне — сосновый травяной лес с обильным подростом осины (*Populus tremula*).

Кроме растительного покрова, на данной территории изучались гидрологические характеристики, почва. Также была создана база данных геоморфологических параметров. Между последними и степенью поражённости ландшафтов пожарами были выявлены корреляционных связи и их влияние (морфометрических параметров — относительной высоты, крутизны склонов, экспозиции; морфогенетических — типа или элемента рельефа) на восстановительный постпирогенный процесс.

На территорию ключевого участка была составлена ландшафтная карта с ситуацией до крупных пожаров (2015–2016 гг.). Полупрозрачной штриховкой показаны сгоревшие участки.

Публикация осуществлена при финансовой поддержке Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество» (договор № 11/2021-р).

Формирование сообществ макрообрастания на экспериментальных пластинах в условиях натурального эксперимента в зоне смешения речных и морских вод

Булышева Н. И.

Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук, Ростов-на-Дону,
Россия

bulysheva@ssc-ras.ru

Суда, портовые и гидротехнические сооружения, а также оборудование, эксплуатирующееся в водоёмах, подвергаются биологическому обрастанию, что, в свою очередь, становится причиной усиления коррозионных процессов в водной среде. Детальное изучение процессов коррозии в воде, помимо явной практической ценности, имеет важнейший фундаментальный характер. Оценке биологической стойкости материалов к обрастанию в морях и пресных водоёмах посвящён целый ряд публикаций. Однако зоны смешения морских и речных вод с точки зрения протекающих здесь коррозионных процессов, а также механизмы формирования сообществ обрастания до сих пор изучены недостаточно.

В устьевой области реки Дон в зоне смешения речных и морских вод на глубине 2 м на полигонах ЮНЦ РАН — Береговой научно-экспедиционной базе (далее — БНЭБ) «Кагальник» (станция 1) и Гидрометеопосту (далее — ГМП) «Донской» (станция 2) — 19 декабря 2018 г. были установлены стенды с экспериментальными пластинами площадью 15×15 см, изготовленными из сталей марок Ст3 и 30ХГСА. По истечении 1, 3, 6, 9, 12 и 24 месяцев экспозиции в воде часть образцов изымалась, каждая пластина фотографировалась с обеих сторон, помещалась в отдельный контейнер с заборной водой, затем транспортировалась в лабораторию для камеральной обработки, проводившейся в соответствии со стандартными гидробиологическими методиками [Руководство..., 1983].

В настоящей работе приводятся результаты, касающиеся только процессов формирования сообществ макрообрастания на пластинах нарастающего срока экспозиции.

Гидрохимические условия акватории, где проводится эксперимент, определяются взаимодействием речных и морских факторов в формировании гидролого-гидрохимического режима. В период исследований воды в акватории у БНЭБ «Кагальник» относились преимущественно к сульфатному классу кальциевой группы (помимо случаев повышенного подземного питания, когда воды определялись как сульфатный класс натриевой группы). Воды у ГМП «Донской» были отнесены к гидрокарбонатному классу кальциевой группы [Матишов и др., 2020].

По данным проведённых исследований, по истечении 1 месяца экспозиции макрообрастания начинают формироваться на пластинах, изготовленных из стали марки 30ХГСА на обеих станциях. На ст. 1 отмечено 2 таксона макрозообентоса (*Pontogammarus (Obesogammarus) crassus* (G. O. Sars, 1894) и *Chironomus cf. plumosus*), численность составила 44 экз.·м⁻²; на ст. 2 — 1 таксон (*C. plumosus*), численность — 133 экз.·м⁻². На пластинах из стали марки Ст3 организмы макрозообентоса отсутствовали.

На пластинах 30ХГСА, экспонировавшихся в воде в течение 3 месяцев, на обеих станциях отмечены организмы-макрообрастатели. На БНЭБ «Кагальник» зарегистрированы единичные особи двустворчатого моллюска *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771), формирующего сообщества обрастания в дельте Дона и кутовой части Таганрогского залива. Общая численность макрообраста-

телей на пластинах 30ХГСА на ст. 1 составила 178 экз. \cdot м⁻², на ст. 2 — 133. Макрообрастания на пластинах СтЗ отмечены только на ст. 2 и представлены единичными экземплярами нематод отряда Ecnoplida, ракообразных *P. crassus* и гастропод *Hydrobia acuta* (Draparnaud, 1805), плотность макрообрастателей достигала 133 экз. \cdot м⁻².

По истечении 6 месяцев экспонирования как на ст. 1, так и на ст. 2 макрообрастатели зарегистрированы на пластинах из сталей обеих марок. На всех пластинах отмечены обрастания, сформированные *Fredericella sultana* (Blumenbach, 1779) (Bryozoa, Phylactolaemata). На пластинах, изготовленных из стали 30ХГСА, численность на ст. 1 достигала 310 экз. \cdot м⁻², на ст. 2 — 3943 экз. \cdot м⁻²; на пластинах из стали марки СтЗ — 487 и 6291 экз. \cdot м⁻² соответственно.

В ходе подсчёта количественных показателей оброста, собранного на пластинах, которые находились в воде в течение 9 месяцев, зафиксирован резкий скачок численности и биомассы гидробионтов. Наибольший вклад на обеих станциях в формирование количественных показателей вносили моллюски *D. polymorpha*. На ст. 2 на пластинах, изготовленных из стали обеих марок, среди обрастаний *D. polymorpha* выявлены единичные особи моллюска-вселенца *Dreissena bugensis* (Andrusov, 1897). Численность макрообрастателей на ст. 2 была выше, чем на ст. 1, на пластинах 30ХГСА в 10,5 раза и составляла 34188 экз. \cdot м⁻², на пластинах СтЗ — в 13,4 раза (28776 экз. \cdot м⁻²).

По истечении 12 месяцев экспонирования на обеих станциях наибольший вклад в численность и биомассу также вносили моллюски *D. polymorpha*. Мшанки и гидроиды отсутствовали. На ст. 1 численность колебалась от 2156 экз. \cdot м⁻² (СтЗ) до 3916 экз. \cdot м⁻² (30ХГСА), на ст. 2 — от 25476 до 25960 экз. \cdot м⁻² соответственно.

Через 24 месяца от начала эксперимента на обеих станциях на всех пластинах в сообществах обрастания, как и на пластинах предыдущего срока учёта, доминировали моллюски *D. polymorpha*. Наибольшие показатели численности зафиксированы на ст. 2, на пластине 30ХГСА (18832 экз. \cdot м⁻²).

Особенностью формирования сообществ обрастания на экспериментальных пластинах является отсутствие макрофитов во все сроки учёта.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 18-29-05078 мк.

Особенности вертикальной структуры летнего зоопланктона в термически стратифицированных озёрах разной трофности

Вежновец В. В.

Государственное научно-производственное объединение «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам», Минск, Беларусь

vezhn47@mail.ru

Известно, что летняя стратификация воды характерна для глубоких и среднеглубоких стоячих водоёмов умеренной климатической зоны. Вертикальную неоднородность водной толщи часто считают определяющей для биоразнообразия и устойчивости водных экосистем. Зоопланктон в таких озёрах размещается в столбе воды неравномерно; его распределение зависит от абиотических условий, таких как степень температурного расслоения, прозрачность, содержание растворённого кислорода в разных горизонтах и ряд других факторов. Вертикальное распределение организмов планктона определяется и многими биотическими условиями, основными из которых являются распределение пищевых компонентов, взаимное расположение популяций взаимодействующих видов и возрастная структура [Вежновец, 2012].

С целью изучения вертикального распределения зоопланктона было обследовано 12 озёр Беларуси разной трофности с максимальной глубиной от 28 до 53 м. Сбор материала был приурочен к станциям с максимальной глубиной, а по времени — к полудню и максимальному прогреванию эпилимниона и устойчивому термическому расслоению водной толщи (июль — август). Озёра отличались по трофическому статусу — от мезотрофных с чертами олиготрофии (прозрачность до 8 м) до эвтрофных (1,5 м).

Полученные материалы по вертикальному распределению для сравнительных целей были сведены — были сформированы три основные группы озёр. В первую группу мы включили самые глубокие мезотрофные озёра страны, отличающиеся высокой прозрачностью воды (5–8 м) и характеризующиеся отсутствием резкого дефицита кислорода в гиполимнионе (Ричи, Долгое, Южный Волос, Гиньково). Ко второй группе отнесены мезотрофные озёра, имеющие прозрачность от 3 до 5 м и некоторый дефицит кислорода в гиполимнионе, затрагивающий чаще придонные слои воды и выраженный не каждый год (Вечелье, Волчин, Северный Волос и Сита). Третья группа — среднеглубоких озёр — уже потеряла черты мезотрофности, и по прозрачности (менее 3 м) они относятся к эвтрофным водоёмам. Как правило, гиполимнион этих озёр почти полностью лишён кислорода (Бобыно, Круглик, Барковщина, Сенно), в придонных слоях воды может быть сероводородная зона.

Во всех озёрах наблюдалась концентрация организмов планктона в верхних слоях воды эпилимниона и металимниона, где интенсивно идут первичные продукционные процессы, что подтверждается литературными данными [Столбунова, 2006]. Общая численность в мезотрофных озёрах была приурочена к металимниону, в эвтрофных чаще наблюдалась в эпилимнионе. Степень агрегации зависела от вертикального хода температуры и содержания кислорода. Чем меньше концентрация кислорода в гиполимнионе, тем больше значения численности в зоне эпи- и металимниона. Такая пространственная структура более чётко выражена в эвтрофных озёрах, где идёт сокращение вертикального жизненного пространства за счёт дефицита кислорода в гиполимнионе и придонных слоях воды. При этом агрегированность зоопланктона в верхних слоях воды возрастает в 1,4 раза.

Общее вертикальное распределение зоопланктона обуславливалось распределением коловраток. Наблюдались различия в распределении основных групп зоопланктона, ракообразные в большинстве своём занимали эпилимнион, коловратки — металимнион. Распределение трёх основных групп зоопланктона — коловраток, веслоногих и ветвистоусых ракообразных — в толще воды имеет сходный характер: наибольшее количество животных располагается в верхних, хорошо прогреваемых и аэрируемых слоях воды эпилимниона и металимниона; численность снижается к дну. Вместе с тем каждая из групп имеет свои особенности распределения в зависимости от видового состава и способна образовывать дополнительные «пики» численности в зонах металимниона или у дна. Вне зависимости от трофности озера, самые мелководные слои воды занимают ветвистоусые ракообразные; веслоногие ракообразные и коловратки могут располагаться на более глубоких горизонтах. Гиполимнион чаще заселяют только холодолюбивые представители веслоногих (Copepoda).

Наблюдались и видовые различия в распределении, что позволяет выделить группы видов по термопреферендуму. По приуроченности к эпилимниону к теплолюбивым формам следует отнести следующих коловраток: *Pompholyx sulcata* Hudson, 1885, *Anuraeopsis fissa* (Gosse, 1851), а также представителей родов *Ascomorpha* и *Collotheca*. Из ветвистоусых в приповерхностных слоях пелагиали обитают *Bosmina crassicornis* (P. E. Müller, 1867), *Daphnia cucullata* (Sars, 1962) и *Diaphanosoma brachyurum* (Liévin, 1848), а также хищные *Leptodora kindtii* (Focke, 1844) и *Bythotrephes brevimanus* Leydig, 1860. Из веслоногих ракообразных в озёрных экосистемах к теплолюбивым видам можно отнести широко распространённых в пелагиали *Thermocyclops oithonoides* Sars, 1863, *Thermocyclops crassus* (Fischer, 1853) и *Mesocyclops leuckarti* (Claus, 1857). Здесь же располагаются и их науплиальные и копепоидитные стадии развития. Представители данных родов более распространены в водоёмах южных широт.

Максимальные плотности в зоне температурного скачка имеют многие виды коловраток родов *Keratella*, *Conochilus* и *Asplanchna*. Для ракообразных в этих горизонтах наблюдаются максимумы численности у *Daphnia cristata* Sars, 1862 и *Daphnia longispina* O. F. Müller, 1785.

Из коловраток скопления ниже металимниона в толще воды могут образовывать представители двух родов — *Filinia* и *Kellicottia*. В придонных горизонтах мезотрофных озёр регистрируется коловратка *Conochilloides natans* (Seligo, 1900), которую следует отнести к холодолюбивым видам. В гиполимнионе при низкой температуре обитают прежде всего реликтовые виды северного происхождения — *Limnocalanus macrurus* Sars, 1863 и *Eurytemora lacustris* (Porre, 1887) — и представители рода *Cyclops*.

При стабильности экологических условий все указанные выше виды в разных озёрах имеют одинаковое распределение и постоянную приуроченность к тем или иным слоям воды, которая сохраняется в течение многих лет. Только в вертикальном распределении отдельных видов (*Bosmina longirostris*) наблюдаются резкие годовые различия, не связанные с изменением температуры, что, по-видимому, может свидетельствовать о существовании морфологически неотличимых экотипов, способных развиваться в отдельные годы в слоях воды при разной температуре [Вежновец, 2012].

Возрастная структура популяций может обуславливать особенности в распределении видов за счёт того, что младшие стадии развития копепод (лимнокалянус, эуритемора) располагаются на меньшей глубине, чем взрослые особи.

Влияние уровня трофности озёр идёт через образование зон с низким содержанием кислорода в гиполимнионе и даже с наличием сероводорода, что уменьшает жизненное пространство для большинства видов зоопланктона. Нарушения вертикальной структуры регистрируются в некото-

рые годы в связи с изменениями климата. Аномальное повышение поверхностной температуры летом наблюдалось нами в озере Сита в 2010 г. (выше +26 °С); оно спровоцировало ускорение продукционных и деструкционных процессов. Это привело к резкому снижению содержания кислорода в гипolimнионе [Vezhnovets, 2018], уменьшению зоны оптимальной жизнедеятельности и резкому снижению численности реликтового холодолюбивого стенотермного вида лимнокалянуса, обитающего в этом водоёме. Приспособительной реакцией для выживания представителей данного вида было изменение вертикального расположения — перемещение и концентрация животных в слоях воды с большим содержанием кислорода.

Работа поддержана проектом БРФФИ № Б20МС-017.

Экологическая структура сообществ сапроксильных жесткокрылых затапливаемых прибрежных лесов северной степи

Володченко А. Н.

Балашовский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского», Балашов, Россия

kimixla@mail.ru

Сапроксильные жесткокрылые играют одну из главных ролей в разрушении отмершей древесины. Эта группа отличается высоким видовым и экологическим разнообразием, поэтому сапроксильные жесткокрылые часто служат модельной группой при изучении экологической структуры ксилофильных насекомых и лесного сообщества в целом. Целью исследования было изучение особенностей экологической структуры сапроксильных жесткокрылых, обитающих в условиях затапливаемых прибрежных лесов северной степи.

Исследование проходило в 2015–2020 гг. в пойменных лесах рек Хопёр и Медведица на территории Волгоградской, Воронежской и Саратовской областей. Жесткокрылые отлавливались с помощью стволовых ловушек авторской конструкции. Ловушки устанавливались в лесных экосистемах низкой поймы на отмирающих и погибших деревьях следующих пород: ольха черная, ива ломкая, осина, дуб, вяз (без разделения по видам).

Выявленный комплекс включает 126 видов жесткокрылых. К основным семействам относятся Staphylinidae, Cerambycidae и Buprestidae. Состав комплекса по сравнению с сообществами высокой поймы более беден видами. Видовые ассоциации на различных породах отличаются количеством видов: осину заселяют 84 вида, дуб — 68 видов, вяз — 43 вида, ольху — 37 видов.

Среди трофических групп по числу видов заметно преобладание мицетофагов: к этой группе относится 64 % всех видов жесткокрылых. Среди мицетофагов наиболее массовыми видами являются *Triplax russica* (Linnaeus, 1758), *Mycetophagus quadripustulatus* (Linnaeus, 1760) и *Dacne bipustulata* (Thunberg, 1781). Обилие мицетофагов связано с разнообразием ксилотрофных грибов, хорошо развивающихся во влажных условиях низкой поймы.

Второй по видовому разнообразию является группа сапроксилофагов — 21 % от общего числа видов. Доминирующими по численности видами являются *Lygistopterus sanguineus* (Linnaeus, 1758), *Aulonothroscus brevicollis* (Bonvouloir, 1859) и *Ptilinus fuscus* (Geoffroy, 1785).

Относительно малочисленна группа ксилофагов: к ней относится 8 % всех видов. Состав группы заметно более беден видами, по сравнению с высокой поймой. Наиболее обычными видами являлись *Mesosa myops* (Linnaeus, 1761) (все породы), *Rhagium mordax* (DeGeer, 1775) и *Rhagium sycophanta* (Schrank, 1781) (дуб), *Saperda scalaris* (Linnaeus, 1758) (дуб, ольха, осина), *Scolytus scolytus* Fabricius, 1775 и *Scolytus multistriatus* (Marsham, 1802) (вяз).

Относительно низкое видовое разнообразие сапроксильных жесткокрылых связано как с бедностью видового состава древесных пород, так и с особенностями условий произрастания. Длительный период затопления и высокая влажность почвы могут препятствовать развитию некоторых видов сапроксильных жесткокрылых из групп ксилофагов и сапроксилофагов, особенно имеющих многолетнее развитие на личиночной стадии. Также высокая влажность приводит к быстрому развитию ксилотрофных грибов, в результате этого ткани дерева становятся непригодными для заселения или личинки некоторых видов погибают.

Распространение редких литоральных видов ветвистоусых ракообразных в Среднем Поволжье

Гаврилко Д. Е.¹, Синева А. Ю.², Жихарев В. С.¹, Шурганова Г. В.¹

¹Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
имени Н. И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

²Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

dima_gavrillko@mail.ru

Одной из главных задач экологии является исследование биологического разнообразия. На сегодняшний день биоразнообразие гидробионтов лучше всего изучено в пелагиали озёр и водохранилищ, а также в крупных реках. Литоральная зона, зарастаемая высшими водными растениями, до сих пор остаётся слабо затронутой исследованиями гидробиологов и экологов. Заросли макрофитов в водоёмах и водотоках создают высокую гетерогенность водной среды, которая выступает ключевым фактором большого разнообразия беспозвоночных. Такие участки литоральной зоны представляют собой рефугиумы для организмов зоопланктона, в которых часто обитают редкие виды.

Ветвистоусые ракообразные являются массовыми представителями водных сообществ и играют ключевую роль в структуре и функционировании водных экосистем. Особого внимания при исследовании гидробиоценозов заслуживают редкие виды ввиду их ограниченного распространения и малочисленности. Изучение распространения редких видов кладоцер и их экологических предпочтений является важным направлением исследований пресноводных экосистем и имеет большое природоохранное значение.

Результаты работы основаны на обширном материале, собранном за восьмилетний период (2013–2020) в бассейне Средней Волги. В общей сложности проанализировано около 800 проб из 62 водных объектов (30 водоёмов и 32 водотока).

В прибрежной зоне исследованных водных объектов обнаружено 10 редких видов ветвистоусых ракообразных из следующих семейств: Chydoridae [*Anchistropus emarginatus* Sars, 1862, *Biapertura sibirica* (Sinev, Karabanov et Kotov, 2020), *Camptocercus lilljeborgi* Schodler, 1862, *Graptoleberis smirnovi* Sinev et Gavrilko, 2020, *Ovalona karelica* (Stenroos, 1897), *Phreatalona protzi* (Hartwig, 1900)], Eurycercidae (*Eurycercus* (E.) *macracanthus* Frey, 1973), Macrothricidae [(*Bunops serricaudata* (Daday, 1888), *Streblocerus serricaudatus* (Fischer, 1849)], Ophryoxidae (*Ophryoxus gracilis* Sars, 1862).

Среди обнаруженных редких видов наиболее распространённым является *C. lilljeborgi*, обитающий в 12 водных объектах. Наибольшего обилия вид достигал в зарослях растений с выраженной листовой пластиной (рдест плавающий, нимфейник щитолистный). Хищный рачок, питающийся гидрами, *A. emarginatus* был найден в 8 водных объектах (преимущественно в озёрах). Вид никогда не достигал высокой численности и предпочитал заросли погружённых макрофитов. Крупный фитофильный рачок *E. (E.) macracanthus*, обнаруженный в 7 водных объектах, также предпочитал заросли погружённых макрофитов.

O. karelica и *G. smirnovi* чаще всего были найдены при совместном обитании в зарослях телореза алоэвидного. Находки *G. smirnovi* на данный момент насчитывают четыре водотока, а *O. karelica* — пять водотоков и одно озеро. *B. sibirica* был обнаружен в четырёх озерах и одной реке без предпочтений к определённому виду макрофитов.

O. gracilis и *P. protzi* предпочитали редкие заросли с песчаным дном и были обнаружены в четырёх и одном водных объектах соответственно.

Представители семейства Macrothricidae *B. serricaudata* и *S. serricaudatus* были обнаружены в заболоченных водоёмах с пониженным значением pH (< 6,5). При этом *B. serricaudata* был найден в двух водоёмах и отдавал предпочтение зарослям пузырчатки. *S. serricaudatus* обнаружен в трёх озёрах с разнотипными зарослями макрофитов.

Находки редких видов ветвистоусых ракообразных ещё раз подчеркивают важность проведения детальных исследований в зарослях высших водных растений разнотипных водных объектов. Изучение особенностей распространения и экологических условий обитания редких видов вносят вклад в познание общих закономерностей распределения биоразнообразия в континентальных водах.

Динамика водной растительности озера Ховатанлампи (северо-восток Ладожского озера)

Газизова Т. Ю., Сапелко Т. В.

Институт озероведения СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, Россия

tssml@bk.ru

Растительность является ключевым компонентом водных экосистем, выступая в роли индикатора происходящих в них процессов и изменений. Актуальное состояние озёрных экосистем можно оценить с помощью полевых геоботанических исследований и мониторинга, но для изучения исторических изменений необходимо использование палеолимнологических методов. Одним из основных методов изучения динамики растительности в прошлом служит палинологический анализ. Пыльца водных и прибрежно-водных растений — ценный источник информации о процессах, происходивших в водной среде; обитая непосредственно в водоёмах, макрофиты чутко реагируют на происходящие в них изменения. Однако пыльцой водных растений часто пренебрегают в палеолимнологических исследованиях ввиду её плохой сохранности и невысокой продуктивности, в отличие от пыльцы наземных растений. Помимо проведения реконструкции локальных изменений озёрных экосистем, палинологический метод позволяет проследить, как меняется водная растительность в контексте трансгрессивно-регрессивных фаз озера [Газизова, Сапелко, 2020].

В рамках комплексных палеолимнологических исследований на Ладожском озере были изучены донные отложения оз. Ховатанлампи на острове Лункулансаари, расположенного на северо-востоке Ладожского озера и территориально относящегося к подзоне средней тайги. Озеро является самым большим по размеру водоёмом на острове: его площадь составляет примерно 161 тыс. м²; глубина достигает 2,5 м. Вскрытые и изученные палинологическим методом донные отложения маломощны (до 0,5 м) и представлены гиттиями, опесчаненными алевритами и тонкозернистыми песками со слюдой. Озеро окружено сплавиной, сложенной преимущественно водноболотными видами — *Ledum palustre*, *Andromeda polifolia*, *Eriophorum angustifolium*, *Menyanthes trifoliata* и др. На окружающей территории растут сосновые леса с примесью берёзы, ели, чёрной и серой ольхи и березняки, заселяющие места вырубок.

В результате палинологического анализа колонки донных отложений оз. Ховатанлампи проведена реконструкция динамики водной растительности в течение последних трёх тысяч лет. Озеро образовалось в конце суббореального периода голоцена, отделившись от Ладожского озера. Процесс изоляции сопровождался дестабилизацией дна и нарушением озёрной экосистемы, что отразилось на водной растительности озера — на спорово-пыльцевой диаграмме данный этап индицируется отсутствием пыльцы водных растений. Дальнейшие колебания уровня Ладоги — вплоть до окончательного обособления оз. Ховатанлампи — также соотносятся с изменениями в разнообразии и встречаемости пыльцы макрофитов. В субатлантическом периоде в водах изолированного оз. Ховатанлампи произрастала разнообразная водная растительность — *Nuphar lutea*, *N. pumila*, *Nymphaea candida*, *Potamogeton* spp., *Sparganium* spp.; по берегам — заросли *Typha angustifolia* и *T. latifolia*. В настоящее время в водоёме активно идут процессы эвтрофикации. Состав водной растительности изменился: исчезла *Nymphaea candida*, в озере произрастают *Alisma* spp., *Lemna* spp., *Nuphar lutea*, *Potamogeton* spp., *Sparganium* spp., берега заняты *Typha latifolia*.

Представленное исследование водной растительности оз. Ховатанлампи показало снижение таксономического разнообразия и встречаемости пыльцы макрофитов в течение регрессивной стадии Ладожского озера. Таким образом, изучение динамики водной растительности небольшого островного озера позволило не только уточнить этапы развития водоёма, но и установить изменения уровня Ладожского озера за последние три тысячи лет.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ИНОЗ РАН — СПб ФИЦ РАН по теме № 0154-2019-0001 «Комплексная оценка динамики экосистем Ладожского озера и водоёмов его бассейна под воздействием природных и антропогенных факторов».

А мы пойдём на Север! Паразиты в морских прибрежных сообществах Арктики и потепление климата

Галактионов К. В.^{1,2}

¹Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

kirill.galaktionov@zin.ru

Происходящее потепление Арктики приводит к изменению многих экологических параметров, что не может не сказываться на трансмиссии паразитов. Применительно к прибрежной зоне арктических морей можно вычлнить три основные группы возможных изменений в паразитологической обстановке:

1. Продвижение на север паразитов, циркулирующих в умеренных широтах. Биоразнообразие паразитов в высоких широтах обеднено по сравнению с регионами с умеренным климатом. В прибрежье арктических морей доминируют виды паразитов, которые не имеют свободноживущих личинок, восприимчивых к факторам внешней среды. Отсутствуют и виды, в жизненных циклах которых роль промежуточных хозяев (далее — ПХ) играют бореальные беспозвоночные и рыбы. Потепление Арктики смягчает условия существования в прибрежье и способствует расширению ареалов потенциальных ПХ. Вместе взятое благоприятствует распространению паразитов со свободными во внешней среде личинками и несколькими видами ПХ в жизненном цикле в северные регионы. Приводящиеся нами мониторинговые исследования на Белом и Баренцевом морях позволили выявить продвижение в северном направлении вдоль побережья о-ва Вайгач ассоциированной с литоральными сообществами трематоды *Tristriata anatis* (сравнение с 1980-ми гг.), а в литоральных моллюсках (ПХ) Белого моря с 2018 г. стали регистрировать ранее не встречавшиеся бореальные виды *Maritrema oocysta* и *M. arenaria*.

2. Взаимопроникновение северотихоокеанской (СП) и североатлантической (СА) фаун паразитов. Разделение в ходе плейстоценовых оледенений популяций многих животных на СП и СА популяции или сестринские виды привело к соответствующей дивергенции паразитов, использующих этих животных в качестве хозяев. Выполненный нами молекулярно-генетический анализ СА и СП представителей 5 семейств трематод — паразитов морских птиц выявил несколько вариантов: виды с короткоживущими стадиями в птицах сформировали сестринские СА и СП виды, а виды с долгоживущими демонстрируют различия на уровне популяций. Видимо, это объясняется тем, что в тёплые межледниковья становились возможными трансарктические перелёты птиц, и долгоживущие стадии трематод благополучно в них переживали и рассеивали яйца в новых географических районах. Такая ситуация вполне предсказуема в наши дни и в ближайшем будущем; более того, она уже имеет место. Трансарктические перелёты стали реальностью (тихоокеанские гаги зарегистрированы в Норвегии, каменушки появлялись в Санкт-Петербурге), и для трематоды *Himasthla littorinae* нами обнаружены общие гаплотипы для образцов из СП и СА.

3. Интенсификация трансмиссии при повышении температуры воды. Температура — основной абиотический фактор, регулирующий трансмиссию паразитов. В субарктических районах тёплый период, в который она становится возможной (окно трансмиссии), ограничен 3–4 месяцами в году. Однако для трематод, в силу функциональной организации их группировок в моллюсках — первых ПХ, период, в который проходит основная трансмиссия, в условиях субарктического Белого моря сужается до примерно 1 месяца. В это время температура поверхностного слоя воды

(далее — ПСВ) прогревается до оптимальных значений для эмиссии свободноживущих личинок трематод (церкарий) из заражённых моллюсков и заражения ими вторых ПХ. Удлинение этого периода приведёт к продлению срока интенсивной эмиссии церкарий и интенсификации трансмиссии далее по цепи хозяев (каскадный эффект). Многолетние исследования позволили построить математическую модель, предсказывающую изменения в трансмиссии трематод при повышении температуры воды согласно климатическим прогнозам. При этом выяснилось, что в условиях субарктического Белого моря даже незначительное повышение температуры ПСВ существенно интенсифицирует трансмиссию. В отличие от морей зоны с умеренным климатом, более значимое повышение температуры ПСВ не выведет её за рамки оптимальных для эмиссии церкарий значений и не приведёт к угнетению этого процесса.

Перечисленными выше факторами далеко не ограничивается возможное влияние потепления климата на трансмиссию паразитов. Происходящие и ожидаемые изменения солёности (распреснение), pH, ледовых условий, ветрового воздействия и мн. др. также будут оказывать влияние на этот процесс. Следует учитывать и синергический эффект при взаимодействии разных факторов. Кроме того, выявляемые изменения в пищевых цепях в арктических морях могут привести к неожиданным последствиям в плане трансмиссии паразитов, которые трудно предсказуемы. Всё это делает весьма актуальными исследования по изучению особенностей трансмиссии паразитов и мониторинг паразитологической ситуации в морях Арктики и Субарктики.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ (грант № 18-14-00170) и темы госзадания ЗИН РАН (№ АААА-А19-119020690109-2).

Особенности зарастания реки Преголя после проведённых гидротехнических работ

Герб М. А., Володина А. А., Полунина Ю. Ю.

Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

marger75@mail.ru

Река Преголя — равнинная, медленнотекущая средняя река, впадающая в Калининградский (Вислинский) залив Балтийского моря. В устьевой области реки расположен город-порт Калининград, что обуславливает постоянный антропогенный пресс на речные воды. От портовой части города начинается Калининградский морской канал, где регулярно проводятся дноуглубительные работы. Прибрежная часть реки на 12-километровом участке преобразована в промышленные и рекреационные зоны. Глубина реки в городе составляет от 4 до 10,5 м в канале; ширина русла в нижнем течении — 100–300 м; скорость течения — $0,1 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ [Романова, 2013].

В период 2014–2018 гг. береговая зона и русло реки в г. Калининграде подверглись масштабной техногенной трансформации. На болотистом пойменном острове Октябрьский между рукавами реки Новая (Н.) и Старая (С.) Преголя была выполнена консолидация водонасыщенных грунтов, построен стадион для матчей чемпионата мира по футболу FIFA-2018, реконструированы и возведены мосты, набережные, отсыпаны и забетонированы берега реки. Прямому воздействию строительных работ подверглись 3-километровый участок С. Преголи и двухкилометровый участок Н. Преголи. При этом профиль русел рукавов был существенно углублён и изменён, прибрежно-водная растительность уничтожена.

Цель работы — выявить последовательность восстановления растительных сообществ реки Преголи в г. Калининграде после антропогенной трансформации берегов.

Макрофиты (высшие водные растения и макроводоросли) исследовали в 2013–2014, 2018–2020 гг. на 17-километровом участке реки в черте г. Калининграда — на двух рукавах, на участке после их слияния и в устье. Использовали методы пробных площадей и маршрутных обходов береговой зоны. Учитывали виды, растущие в воде и на обводнённом грунте. Всего заложено 40 геоботанических площадок, выполнено более 76 описаний в соответствии с общепринятыми методиками [Папченков, 2001 ; Катанская, 1981]. Расчёт индексов макрофитов MIR, IBMR, MTR для рек произведён согласно методикам [Szozzkiewicz et al., 2020 ; Naury et al., 2006 ; Holmes et al., 1999].

Видовое разнообразие макрофитов в черте города в 2020 г. составило 49 видов, что на 12,5 % меньше по сравнению с периодом до начала строительных работ (2013–2014), когда насчитывалось 56 видов из 31 семейства и 43 родов.

В зоне потенциального воздействия строительства (вдоль о-ва Канта) в 2018 г. произрастали кубышко-кувшинковые и рдестовые сообщества с водными растениями с доминированием *Potamogeton lucens* и *P. pectinatus*. Ширина растительных поясов колебалась от 0,5 до 1,5 м. По сравнению с периодом до строительства растительность возобновилась не везде, видовой состав в сообществах уменьшился, ширина пояса сократилась. В 2019 г. пояс рдестов там исчез, а кубышко-кувшинковые и рясковые сообщества сохранились.

На берегах, преобразованных под бетонированные набережные, где была уничтожена прибрежно-водная растительность, с 2017 г. начались процессы восстановления растительных сообществ. Первыми начали отрастать нимфейные (*Nuphar lutea*), корневища которых не были

уничтожены гидротехническими работами. Они сформировали фрагментарные, незначительные по площади сообщества, отстоящие от бережных на 2–3 м на глубине 2,5–3 м.

В зоне прямого воздействия строительства (о-в Октябрьский) многие прибрежно-водные сообщества, описанные нами ранее, в 2019 г. (тростниковые, ежеголовниковые, стрелолистные, кубышко-кувшинковые и рдестовые) исчезли или были представлены фрагментарно. Всего за период с 2013 г. здесь исчезла 21 ассоциация, в частности с доминированием *Phragmites australis*, *Scirpus lacustris*, *Sagittaria sagittifolia*, *Butomus umbellatus*, *Carex acuta*, *Potamogeton lucens*, *Sparganium emersum*, *Sparganium erectum*. Видовой состав описанных нами ассоциаций обеднён, они сложены в среднем из 3–5 видов. Отмечено, что нитчатые водоросли (р. *Cladophora* и *Oedogonium*, *Rhizoclonium riparium*) и рясковые (*Lemna minor*, *L. gibba*, *Spirodela polyrhiza*) значительно увеличили долю участия в прибрежных сообществах. Их проективное покрытие составляло 30–60 %. Это сезонное явление наблюдается со второй половины лета. Ширина поясов из этих свободноплавающих растений может достигать 3–4 м. Были описаны новые растительные ассоциации с доминированием нитчатых водорослей. Тростниковые сообщества в Н. Преголе, уничтоженные здесь ранее, не восстановились. На их месте стали развиваться кубышко-кувшинковые ассоциации со стрелолистом. Сообщества широколистных рдестов (*Potamogeton lucens*, *P. perfoliatus*) в центре города исчезли или значительно сократили проективное покрытие.

В 2020 г. на С. Преголе, в зоне прямого воздействия (вдоль о-ва Октябрьский) появился пояс широколистных рдестов с доминированием *P. lucens*, где он произрастал ранее, но не везде. Его ширина составляла 1–1,5 м.

В целом для всего изучаемого нами участка реки отмечены процессы восстановления для *Sagittaria sagittifolia* (обилие в 2020 г. — от 1 до 5 %; встречаемость — 28 %), растения преимущественно находятся в вегетирующем состоянии и не цветут. Быстро возобновились и сейчас имеют наибольшую встречаемость два вида [*Ceratophyllum demersum* (65,3 %) и *N. lutea* (70,8 %)], что указывает на эвтрофный характер водотока. Рассчитанные индексы макрофитов MIR, IBMR, MTR подтверждают это наблюдение. Растения цветут и плодоносят. Ширина кубышкового пояса с водными растениями достигала 5 м, в среднем составляя 3 м. В меньшей степени восстановилось обилие *Nymphaea candida*. Количество цветущих особей и их проективное покрытие в 2020 г. увеличились, появились ювенильные растения. Медленнее всех восстанавливается *Scirpus lacustris*. На участке зоны прямого воздействия вдоль о-ва Октябрьский по индексу макрофитов MIR (в 2020 г. — 33,9; в 2014 г. — 35,8) и для о-ва Канта (индекс MIR в 2020 г. — 31,5; в 2014 г. — 35,4) отмечается небольшая степень деградации речной растительности по сравнению с 2013–2014 гг.

Наблюдаемое нами возобновление растительных сообществ в местах их сведения демонстрирует высокую пластичность речной растительности и её способность к довольно быстрому восстановлению. Однако некоторые виды выпали из состава сообществ, а освободившиеся экологические ниши занимают быстрорастущими короткоцикловыми видами макроводорослей, турионовыми сосудистыми растениями и эврибионтами. Эти особенности в целом характерны для урбанизированной водной флоры.

Полевые работы 2019–2020 гг. выполнены при финансовой поддержке РФФИ и Калининградской области в рамках научного проекта № 19-45-390006; анализ и интерпретация многолетних данных — по госзаданию ИО РАН № 0128-2021-0012.

Анализ пространственного распределения макрозообентоса лотических систем Среднего и Нижнего Поволжья

Головатюк Л. В., Шитиков В. К., Зинченко Т. Д.

Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Институт экологии Волжского бассейна РАН,
Россия
gollarisa@mail.ru

Объяснение региональных различий в распределении видового богатства вызывало интерес экологов и эволюционных биологов на протяжении почти 200 лет [Hawkins, 2001 ; Buckley et al., 2010]. Для большинства групп животных и растений видовое богатство, как правило, выше в более низких широтах [Colwell et al., 2004 ; Hillebrand, 2004], однако обратная закономерность также неоднократно описана исследователями [Rex et al., 1993 ; Roy et al., 1998 ; Bezmaternykh, Vdovina, 2020].

Нами на основе многолетних данных изучено пространственное распределение донных сообществ лотических систем Среднего и Нижнего Поволжья. Обширная территория исследований и выраженная широтная зональность позволили впервые проследить изменения видового богатства, разнообразия и структурных показателей макрозообентоса средних и малых рек от лесостепной природно-климатической зоны к полупустынной.

Гидробиологическую съёмку проводили на 90 малых и 12 средних реках — притоках Куйбышевского, Саратовского и Волгоградского водохранилищ и оз. Эльтон. Всего собрано и обработано 1400 проб макрозообентоса.

В донных сообществах рек лесостепной зоны за многолетний (1990–2019) период исследований установлено 480 таксонов макрозообентоса из 93 семейств, степной — 372 таксона из 84 семейств, полупустынной (реки бассейна Волгоградского водохранилища) — 211 таксонов из 65 семейств; в реках бассейна оз. Эльтон — 93 таксона из 26 семейств. В составе фауны водотоков разных природно-климатических зон по числу видов преобладали насекомые, среди которых наибольшего таксономического разнообразия достигали личинки двукрылых.

Сравнительный анализ таксономического разнообразия сообществ в водотоках лесостепной (реки бассейнов Куйбышевского и Саратовского водохранилищ) и полупустынной (реки бассейна Волгоградского водохранилища) зон выявил сокращение числа видов веснянок от 13 до 1, ручейников — от 31 до 8, подёнок — от 27 до 6, двукрылых — от 233 до 79, жуков — от 35 до 21, клопов — от 14 до 7. Видовое богатство моллюсков уменьшалось более чем в два раза (от 54 до 20 видов). В то же время мало менялось таксономическое разнообразие малощетинковых червей, пиявок, ракообразных и возрастало (от 7 до 15 видов) — отряда Odonata. При дальнейшем продвижении к югу из состава фауны макрозообентоса рек (полупустынная зона, реки бассейна оз. Эльтон) выпадали такие группы гидробионтов, как веснянки, подёнки, ручейники и пиявки, то есть снижение разнообразия донных сообществ проявлялось уже на уровне классов и отрядов.

Таким образом, в границах изученного региона, от лесостепной зоны к полупустынной, наблюдалось постепенное снижение видового богатства макрозообентоса за счёт сокращения числа таксонов класса Insecta. Происходящие последовательные изменения связаны с выпадением из состава донных сообществ стенобионтных, реофильных, пресноводных видов и развитием лимнофильных, эвригалинных и галофильных таксонов. Полученные данные хорошо согласуются с результатами исследований, проведённых в отношении прогноза изменений таксономической

структуры донных сообществ в связи с засолением пресных вод. Было показано, что возрастание минерализации внутренних вод приведёт к потере биоразнообразия именно за счет класса Insecta, так как многие его представители из-за своей эволюционной истории имеют ограниченную способность адаптироваться к засолению [Kefford et al., 2016].

Проведённый нами статистический и картографический анализ подтвердил, что видовая структура и биоразнообразие донных сообществ малых и средних рек статистически значимо коррелируют с их пространственным расположением и градиент возрастания видового богатства и разнообразия ориентирован с юга на север.

Для объяснения полученных результатов была выполнена оценка изменчивости абиотических факторов в реках при продвижении от лесостепной природно-климатической зоны к полупустынной. Установлено, что на изменение таксономического состава и структурных показателей сообществ макрозообентоса лотических систем изученной территории наибольшее влияние оказывают: скорость течения, уровень минерализации, температура воды, содержание растворённого кислорода.

Статистическая связь видовой структуры и разнообразия донных сообществ с географическими координатами и градиент изменения этих показателей объясняются различиями гидрологических характеристик рек и особенностями климатических условий каждой из рассматриваемых природно-климатических зон. Закономерные изменения в составе фауны при продвижении от севера к югу вызваны, в частности, тем, что уклоны рек постепенно уменьшаются. Это вызывает снижение скорости течения и сокращение представленности реофильных групп гидробионтов. Кроме того, для аридных регионов рассматриваемой территории характерны реки с высокой минерализацией, что приводит к выпадению многих таксонов, функционально не адаптированных к экстремальным условиям обитания.

Следует констатировать, что видовое богатство и разнообразие макрозообентоса изученных рек Средней и Нижней Волги возрастает от низких широт к высоким и его распределение обусловлено в первую очередь природно-климатическим градиентом. При этом нельзя не принимать во внимание, что локализация отдельных таксонов может определяться факторами эволюционной истории, ландшафтными особенностями, наличием барьеров для инвазий и некоторыми другими.

Особенности функционирования ландшафтов Крымского полуострова в условиях региональных проявлений изменения климата

Горбунов Р. В.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

gorbunov@ibss-ras.ru

Глобальные изменения климата приводят к перестройке системы прямых и обратных связей в ландшафте, то есть к изменению процессов их функционирования и динамики. Для Крымского полуострова было выполнено исследование, иллюстрирующее изменение элементов радиационного, теплового и водного балансов ландшафтов при смене циркуляционных эпох и периодов Северного полушария. Таким образом, было показано, с одной стороны, как изменялись в пространстве и времени поля основных климатических условий, а с другой — какие реакции наблюдались в основных типах ландшафтов на эти климатические изменения. В частности, в работе:

1. Получены среднемноголетние карты температуры воздуха на территории Крымского полуострова для каждой циркуляционной эпохи и периода, а также карты динамики полей температуры при их смене. На основе анализа полученных карт выявлено, что изменение температуры воздуха происходит не синхронно, а имеет свои особенности в различных регионах Крымского полуострова, что объясняется влиянием местных факторов. Зафиксированы зоны, характеризующиеся постоянными максимальными температурами воздуха во все рассматриваемые временные периоды. Выявлено, что за время инструментальных наблюдений на территории Крымского полуострова произошло потепление на 1 °С. Причём это потепление происходило в последний циркуляционный период [Горбунов и др., 2020]. Рассчитаны карты полей атмосферных осадков в Крыму в границах циркуляционных эпох и периодов, выявленных на основе типизации циркуляционных процессов в Северном полушарии. Показаны тенденции пространственно-временной динамики полей атмосферных осадков в связи со сменой господствующих групп циркуляции. Показано, что в целом территория Крыма характеризуется увеличением количества осадков за период инструментальных измерений [Gorbunov et al., 2020].

2. Произведена оценка элементов радиационного баланса ландшафтов Крымского полуострова в условиях современных климатических изменений. Показаны основные закономерности формирования радиационного баланса ландшафтов и особенности его межгодовой динамики [Горбунов и др., 2020 ; Gorbunov et al., 2020]. Так, например, выявлены особенности пространственной дифференциации радиационного баланса ландшафтов дубовых лесов в зависимости от их приуроченности к ландшафтному уровню — снижение значений элементов радиационного баланса с увеличением высоты на северном макросклоне Крымских гор и обратный эффект на южном макросклоне, обусловленный пространственной дифференциацией полей суммарной солнечной радиации в Крыму. Указанный эффект формирует более низкие значения радиационного баланса у низкогорных пушистодубовых сообществ южного макросклона, по сравнению с аналогичными ландшафтами северного макросклона, география распространения которых приурочена к западному сектору Предгорья, попадающему в зону максимальных среднемноголетних значений суммарной солнечной радиации в Крыму. Выявлено, что максимальными величинами элементов радиационного баланса обладают среднегорные скальнодубовые ландшафты южного макросклона, что обусловлено высокими значениями крутизны рельефа в зоне их формирования и практиче-

ски полным отсутствием эффектов затенения и закрытости склонов. Кроме того, в межгодовой динамике величин радиационного баланса ландшафтов дубовых лесов установлены два периода — до конца 1997 г. и с начала 1998 г., что согласуется со сменой циркуляционных периодов Северного полушария. Для каждого из рассматриваемых ландшафтов выявлены особенности изменения величин радиационного баланса при смене циркуляционных периодов. Определено, что в первый период — с 1983 по 1997 г. — значения радиационного баланса намного ниже, чем во второй период — с 1998 по 2013 г. Кроме того, второй период характеризуется значительным ростом величины радиационного баланса. Подобные результаты были получены для всех типов ландшафтов Крымского полуострова.

3. Выявлены и описаны характерные особенности распределения поля температуры воздуха в пределах ландшафтных контуров Крымского полуострова для каждой циркуляционной эпохи и периода Северного полушария. Для основных типов ландшафтов Крыма рассчитаны средние значения температуры воздуха по циркуляционным эпохам и периодам, значения стандартного отклонения и факторная энтропия значений температуры воздуха. Установлены основные закономерности динамики температуры воздуха в основных типах ландшафтов при смене циркуляционных эпох и периодов Северного полушария. Изучение пространственного и временного распределения стандартного отклонения и энтропии значений температуры воздуха позволяет сделать вывод о формировании стратегий развития или стабилизации основных типов ландшафтов Крымского полуострова [Горбунов и др., 2021].

4. На примере ключевых участков по циркуляционным эпохам и периодам показана связь пространственно-временной изменчивости динамики среднегодового количества выпадающих осадков, значения стандартного отклонения и факторной энтропии. Установлено, что при смене циркуляционных эпох и периодов Северного полушария, начиная с зональной циркуляционной эпохи (1916–1956) и по четвёртый период меридиональной южной циркуляционной эпохи (1998–2013), ландшафты Крымского полуострова характеризуются увеличением среднегодового количества выпадающих осадков. При этом в равнинном и горном Крыму картина пространственно-временной динамики среднегодового количества выпадающих осадков различна. В равнинном Крыму в пределах гидроморфного и плакорного ландшафтных уровней динамика поля осадков характеризуется схожим и относительно однородным ходом, в то время как в ландшафтах горного Крыма наблюдается значительная пространственная неоднородность динамики среднегодового количества выпадающих осадков. Изучение стандартного отклонения и факторной энтропии позволяет сделать вывод о формируемых ландшафтных стратегиях в условиях изменения количества осадков и о пространственных закономерностях распределения этих стратегий.

Работа выполнена по теме государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Изучение пространственно-временной организации водных и сухопутных экосистем с целью развития системы оперативного мониторинга на основе данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий», регистрационный номер 121040100327-3.

Первичная продукция фитопланктона в Волгоградском водохранилище в 2003–2019 гг.

Далечина И. Н.

Саратовский филиал ФГБНУ «ВНИРО», Саратов, Россия

n.lukas@bk.ru

Волгоградское водохранилище является самым нижним в Волжско-Камском каскаде и аккумулирует органические вещества природного и антропогенного происхождения. Изучение первичной продукции начато в 1965 г. [Климова, 1969 ; Далечина, 1968, 1975, 1980] скляночным методом [Винберг, 1860], с экспонированием склянок в водоёме на разных горизонтах. Цель работы — анализ многолетних изменений продукции фитопланктона в условиях потепления климата.

Исследования первичной продукции фитопланктона проводились в 2003–2019 гг. с мая по октябрь на 8–9 разрезах, расположенных в русловой части по всему водохранилищу, одновременно с взятием проб фитопланктона.

Пробы отбирали в поверхностном слое воды, продукцию определяли скляночным методом в кислородной модификации. Суточная величина первичной продукции под 1 м² получена расчётным способом с учётом прозрачности воды [Бульон, 1983]. Температура воды при постановке суточных станций в весенний период варьировала от +1,2 до +9 °С, в летний — от +20 до +26,7 °С, в осенний — от +8 до +19 °С. Для удобства исследуемые годы разделили на два периода: 2003–2009 и 2010–2019 гг.

Среднесуточная величина первичной продукции составила 0,59 мг O₂·л⁻¹ и 1,46 г O₂·м⁻² в 2003–2009 гг., 0,83 мг O₂·л⁻¹ и 2,01 г O₂·м⁻² в 2010–2019 гг. В течение вегетационного периода величина первичной продукции существенно изменялась. Наибольшие показатели отмечались обычно в июле и августе, а в отдельные годы — в конце июня (2011) или в начале сентября (2009). Наименьшие показатели продукции приходились на октябрь. Среднесуточная продукция в 2003–2009 гг. в весенний период составляла 0,65, в летний — 0,69, в осенний — 0,38 мг O₂·л⁻¹; в 2010–2019 гг. — 0,85, 1,10 и 0,41 мг O₂·л⁻¹ соответственно. В то же время, по нашим данным [Шашуловская и др., 2021], в 2003–2009 гг. отмечались два подъёма биомассы водорослей — весенний и летний; в 2010–2019 гг. весенний пик биомассы снизился или практически отсутствовал. В целом за вегетационный период последнего десятилетия продукция водорослей увеличилась в 1,4 раза, а величина общей биомассы водорослей сократилась почти в 2 раза вследствие снижения количества диатомовых и зелёных и развития цианопрокариот, миксотрофных фитофлагеллят (прежде всего криптонад), а также мелкоклеточных видов.

Первичная продукция на различных по морфологическим и гидрологическим признакам участках водохранилища также существенно отличалась. В 2003–2009 гг. максимальная продукция приходилась на средний участок, где регистрировалось развитие фитопланктона в наибольшей степени. В последующие годы отмечается постепенное увеличение продукции в направлении от верхнего участка к нижнему. В среднем участке водохранилища, вследствие интенсивного роста высшей водной растительности, количество фитопланктона уменьшилось, в результате чего, возможно, снизилась и его продуктивность.

Результаты проведённых исследований позволили выявить тенденцию увеличения среднесезонных показателей первичной продукции на протяжении последнего десятилетия при уменьшении общей биомассы фитопланктона.

Изменения в сообществах зоопланктона восстановленных озёр системы Лебяжье

Деревенская О. Ю.

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

oderevenskaya@mail.ru

Проекты восстановления водоёмов с целью экореабилитации после значительных антропогенных воздействий или деградации становятся всё более частыми, но не всегда успешными. Поэтому интерес представляет опыт восстановления озёр системы Лебяжье в г. Казани (Россия). Ранее система озёр состояла из четырёх водоёмов (Малое, Большое, Светлое и Сухое Лебяжье). Озёра по происхождению суффозионные, мелководные, с максимальной глубиной 3,5 м. Основными источниками пополнения озёр были поверхностный сток и атмосферные осадки. К 2000-м гг., в связи с застройкой территории и сокращением площади водосбора, озёра обмелели. Озёра Сухое Лебяжье, Светлое Лебяжье и Большое Лебяжье постепенно высохли, осталось только одно озеро — Малое Лебяжье, в котором с 2008 по 2017 г. уровень воды искусственно поддерживался путём подачи грунтовых вод, выкачиваемых из скважин. Озеро имеет большое рекреационное значение для г. Казани, поэтому было принято решение о восстановлении системы озёр. В ходе экореабилитации были восстановлены озёра Большое Лебяжье и Светлое Лебяжье в их прежних границах. Было проведено углубление котловин озёр (до 4 м), выполнена гидроизоляция дна бентонитовыми матами. Для водоснабжения озёр был построен напорный водовод. Осенью 2017 г. котловины озёр были заполнены водой из озера Изумрудное, позже было проведено благоустройство прибрежной зоны озёр Малое Лебяжье и Большое Лебяжье.

Выполненные исследования посвящены изучению восстановления сообществ зоопланктона в озёрах системы Лебяжье. Отбор проб зоопланктона проводился в разные периоды: 1) до начала трансформации водоёмов (1991, 1994, 1995, 2000, 2003 гг.); 2) в период существования одного озера из системы озёр (2015–2017); 3) после проведения мероприятий по восстановлению системы озёр (2018–2020). Периодичность отбора проб: в 1995, 2000, 2015–2020 гг. — один раз в 10–14 дней на протяжении вегетационного периода; в 2000 и 2003 гг. — один раз в месяц; в 1991 и 1995 гг. — один раз в середине вегетационного периода. Количественные пробы зоопланктона отбирали путём процеживания 50 л воды через сеть Апштейна, фиксировали 4%-ным формалином. Биомассу рассчитывали по степенным уравнениям, связывающим длину организмов с их массой. Видовое разнообразие зоопланктона оценивали по индексу Шеннона (по численности и биомассе). Оценку качества воды проводили по индексу сапробности Пантле и Букка (S) в модификации Сладечека.

До мероприятий по экореабилитации (1994–2001) состав воды был типичным для большинства озёр Среднего Поволжья: преобладали гидрокарбонаты, минерализация воды была невысокой. В 2008–2017 гг. озеро Малое Лебяжье пополняли грунтовыми водами, что привело к увеличению минерализации воды с 151,5 до 975,2 мг·л⁻¹. Электропроводность, зависящая от концентрации солей в воде, в озере Малое Лебяжье ранее составляла 121–410 мкСм·см⁻¹, а в 2015–2017 гг. — 1030–1280 мкСм·см⁻¹, что характеризует минерализацию как «повышенную». В 2018 г. электропроводность воды в озере Малое Лебяжье постепенно снизилась до 200 мкСм·см⁻¹, в озёрах Большое и Светлое Лебяжье показатель также составлял около 200 мкСм·см⁻¹, то есть соответствовал тем значениям, которые были в них ранее.

После осуществления мероприятий по экореабилитации наблюдались значительные изменения параметров окружающей среды. Содержание кислорода в озёрах Большое Лебяжье и Светлое Лебяжье после осуществления мероприятий (2018–2020) достигало 250 % от нормального насыщения вследствие интенсивного цветения воды. В озере Малое Лебяжье значения pH находились в пределах нормы, но в озёрах Большое Лебяжье и Светлое Лебяжье повышались до 10.

До 2000-х гг. в озёрах системы Лебяжье обитали 116 видов зоопланктона; в 2015–2017 гг., когда существовало только озеро Малое Лебяжье, выявлялось 65 видов; исследованиями 2018–2020 гг. обнаружено 97 видов, из них коловраток — 43 вида (43 %), ветвистоусых ракообразных — 35 (36 %), веслоногих — 19 (21 %). Индекс сходства состава сообществ в периоды до и после экореабилитации составлял в озере Малое Лебяжье 70 %, в озёрах Большое Лебяжье и Светлое Лебяжье — 67–68 %. Наибольшее сходство состава сообществ в послереабилитационный период было с тем составом, который был в 1991–2000 гг.

Через год после завершения работ по экореабилитации (в 2019 г.) видовое разнообразие зоопланктона увеличилось, что показывают значения индекса Шеннона, рассчитанные по численности (Hn) и по биомассе (Hb); оно снизилось в 2020 г.

В озере Малое Лебяжье в 2018–2019 гг. в состав доминирующих видов входили *Asplanchna priodonta* Gosse, 1850, *Keratella cochlearis* (Gosse, 1851), *Bosmina (B.) longirostris* (O. F. Müller, 1785), *Thermocyclops oithonoides* (Sars, 1863) *Mesocyclops leuckarti* (Claus, 1857); в 2020 г. доминировали по численности *Brachionus diversicornis* (Daday, 1883), *B. calyciflorus* Pallas, 1776 и *A. priodonta*. По биомассе в 2015–2017 и 2018 гг. доминировали одни и те же виды: *A. priodonta*, *T. oithonoides*, *Chydorus sphaericus* (O. F. Müller, 1785); в 2020 г. — *A. priodonta* и *B. diversicornis*.

В озёрах Большое Лебяжье и Светлое Лебяжье в первые два года после заполнения котловин озёр водой наблюдалась частая смена доминирующих видов. В 2020 г. по численности преобладали *B. calyciflorus*, по биомассе — *B. calyciflorus* и *Eudiaptomus gracilis* (Sars, 1863). В озере Светлое в 2020 г. наиболее часто доминировали по численности и биомассе *B. calyciflorus* и личиночные стадии циклопов. Если в начале вегетационного периода доминировали разные виды зоопланктона, то с конца июля — исключительно *B. calyciflorus*, составляя до 90 % от численности сообщества.

Количественные показатели зоопланктона остаются низкими. Индекс сапробности на протяжении периода исследований характеризовал озёра системы Лебяжье как β-мезосапробные.

Таким образом, полученные результаты показали, что вновь созданные озёра начали успешно заселяться зоопланктоном уже в первый год своего существования. Через три года состав сообществ был близок к составу зоопланктона ранее существовавших озёр.

Показатели зоопланктона характеризовали трофическое состояние восстановленных озёр в первый год их существования (2018) как мезотрофно-эвтрофное; в 2019 г. — как эвтрофное; в 2020 г. его можно было охарактеризовать как гипертрофное из-за интенсивного развития фитопланктона.

Цветение воды фитопланктоном и сопровождающие его изменения физико-химических показателей воды (увеличение pH) могут оказывать угнетающее действие на зоопланктон. Восстановление водной растительности было бы рекомендуемым методом с точки зрения поддержания качества воды, биоразнообразия и равновесия экосистемы.

Структура планктонных сообществ Балтийского моря летом 2012–2019 гг.

Дмитриева О. А.^{1,2}, Семенова А. С.¹, Крек А. В.², Подгорный К. А.¹

¹Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»), Калининград, Россия

²Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

phytob@yandex.ru

На фоне климатических изменений, экспансии чужеродных видов, процессов эвтрофирования и цветения воды потенциально-токсичными видами фитопланктона, а также хозяйственной деятельности на шельфе моря исследования структуры, динамики и трофических взаимоотношений планктонных сообществ юго-восточной части Балтики особенно актуальны. Мониторинг состояния фито- и зоопланктона, а также гидрохимических показателей водной среды в юго-восточной части Балтийского моря проводили в июле 2012–2019 гг. на 16 стандартных станциях. Пробы отбирали и обрабатывали, используя стандартные методы. Продукцию зоопланктона рассчитывали физиологическим методом.

Структура и уровень количественного развития фитопланктона в исследуемом районе характеризовались пространственной неоднородностью. В районе прибрежных станций биомасса фитопланктона изменялась от 0,18 до 4,56 г·м⁻³ и в среднем за период исследования была выше (1,27 г·м⁻³), чем на станциях, расположенных в глубоководном районе (0,74 г·м⁻³). На глубоководных станциях биомасса варьировала от 0,04 до 3,45 г·м⁻³. Наибольшие значения величин биомассы отмечали в 2012, 2013 и 2015 гг. Самые низкие биомассы фитопланктона зарегистрированы в 2014, 2017 и 2018 гг. На прибрежных станциях развивались преимущественно синезелёные водоросли: *Aphanizomenon* sp., *Woronichinia compacta* и *Nodularia spumigena*. В глубоководном районе наряду с синезелёными развивались динофитовые водоросли: *Heterocapsa triquetra*, *Dinophysis acuminata*, *Peridiniella catenata* и *Prorocentrum minimum*.

Зоопланктон района исследований характеризовался неоднородностью пространственного распределения. В глубоководной части моря массового развития достигали *Pseudocalanus elongatus*, *Centropages hamatus*, *Temora longicornis*, *Eubosmina maritima*, *Cercopagis pengoi* и *Podon intermedius*. В прибрежной зоне доминировали *Acartia bifilosa*, *Acartia longiremis*, *Eubosmina maritima*, *Cercopagis pengoi*, *Keratella quadrata* и науплии Cirripedia. Отмечены виды-вселенцы *Cercopagis pengoi*, *Evadne anonyx* и *Acartia tonsa*, а также личинки двустворчатого моллюска *Rangia cuneata*. Максимальное развитие видов-вселенцев *Cercopagis pengoi* и *Evadne anonyx* отмечали на прибрежных станциях. В наиболее тёплые годы (2013, 2016, 2018 и 2019 гг.) ими потреблялась значительная часть продукции мирного зоопланктона. Вид — индикатор заточа вод из Северного моря в Балтийское, *Oithona similis*, был встречен на глубоководных станциях в 2014, 2017 и 2019 гг. По численности и биомассе в летний период доминировали веслоногие ракообразные. На прибрежных станциях увеличивалась доля коловраток, вествистоусых и усоногих ракообразных. В 2017–2019 гг. в зоопланктоне возрастало влияние *Aurelia aurita*, особенно на прибрежных станциях. Средняя для района численность зоопланктона менялась по годам от 50,7 до 140,2 тыс. экз·м⁻³, в среднем составляя (92,6 ± 10,2) тыс. экз·м⁻³. Биомасса зоопланктона без учёта медуз изменялась от 424 до 1081 мг·м⁻³. Средняя для района биомасса составляла (765 ± 88) мг·м⁻³. В годы максимального развития зоопланктона (2013 и 2017–2019 гг.) им могла выедаться значительная доля фитопланктона, что создавало напряжённые трофические взаимоотношения в планктонном сообществе.

Сезонные закономерности функционирования степных ландшафтов Карадагского заповедника

Дрыгваль А. В.¹, Дрыгваль П. В.², Горбунов Р. В.¹, Лапченко В. А.³

¹ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

²Российский университет дружбы народов, экологический факультет, Москва, Россия

³Карадагская научная станция имени Т. И. Вяземского — природный заповедник РАН — филиал
ФИЦ ИНБЮМ, Феодосия, Россия

drygval95@mail.ru

В работе проанализированы результаты функционирования степных ландшафтов во все сезоны за 6-летний период (2014–2019) в Карадагском заповеднике. В качестве исходных данных использовались внутрисуточные метеорологические показатели Карадагской станции фонового экологического мониторинга, а также материалы «Летописей природы», где зафиксированы многие отмечаемые нами процессы в исследовании.

Среди результатов функционирования ландшафтов выделяют процессы: «развитие», «накопление» предпосылок и «уничтожение» предпосылок и результатов функционирования ландшафта.

В начале рассматриваемого периода, зимой **2014 г.**, отмечается небольшое доминирование процесса уничтожения над накоплением. Весной функционирование степных ландшафтов осуществляется в основном за счёт процесса накопления предпосылок функционирования ландшафтов. Летом процесс развития активизируется и начинает доминировать над остальными, однако отметим, что именно в этот год регистрируется наименьшая встречаемость процесса развития за все рассматриваемые 6 лет. Это связано с тем, что в 2014 г. довольно активен процесс уничтожения в функционировании ландшафтов. Осенний сезон практически полностью сопровождается процессом уничтожения предпосылок и результатов функционирования степных ландшафтов.

Зимний сезон **2015 г.** характеризуется уже доминированием процесса накопления (более половины времени в сезоне) над процессом уничтожения предпосылок и результатов функционирования степных ландшафтов (более $\frac{1}{3}$ времени в сезоне). Весной накопление немного увеличивается и составляет уже около $\frac{2}{3}$ времени. Однако отмечается, что процесс накопления весной 2015 г. имеет наименьший вклад в функционирование среди всех 6 лет в этом сезоне за счёт увеличения процесса уничтожения. Летом растёт роль процесса развития, который охватывает практически все время (99,9 %) и имеет свой максимум среди всех летних сезонов за рассматриваемые 6 лет. Процесс уничтожения предпосылок и результатов функционирования степных ландшафтов совершенно не проявляется. Однако осенью он возрастает до максимума и составляет 98,3 % от всего времени сезона.

В зимний период **2016 г.** нельзя с точностью оценить ситуацию, при которой происходило функционирование степных ландшафтов, так как по техническим причинам возникли сложности в получении метеоданных с Карадагской станции фонового экологического мониторинга за весь сезон. Однако по полученным материалам можно сказать, что процесс уничтожения предпосылок и результатов функционирования степных ландшафтов затухает и составляет меньше половины времени. Активнее начинает проявлять себя процесс накопления, он становится доминирующим в этот сезон, хотя также составляет меньше половины времени наблюдений в сезоне. При переходе к весеннему периоду происходит полное затухание процесса развития, а накопление стано-

вится преобладающим. Для лета 2016 г., как и для предыдущего года, характерно преобладание процесса развития: он абсолютно доминирует. Процесс уничтожения предпосылок и результатов функционирования степных ландшафтов совершенно не проявляется в летний сезон 2016 г. Осенью он становится максимальным за весь рассматриваемый период 6 лет и практически полностью обеспечивает функционирование рассматриваемых ландшафтов.

Зимой **2017 г.** процесс уничтожения предпосылок и результатов функционирования степных ландшафтов всё ещё преобладает. Весной процесс развития полностью исчезает, а процесс накопления начинает доминировать в функционировании степных ландшафтов. При переходе к летнему сезону начинает абсолютно преобладать процесс развития. Осенью уничтожение доминирует в сезоне и составляет практически все время — 96,7 %.

В зимний период **2018 г.** вклад развития является наибольшим для этого сезона среди всех рассматриваемых 6 лет. Доминирующим процессом является процесс накопления, но он составляет менее половины времени сезона. Весной процесс накопления всё ещё остаётся преобладающим и составляет уже практически всё время от общего количества наблюдений за функционированием степных ландшафтов. Летом процесс развития выходит на первые позиции и становится доминирующим. Осенью преобладающим процессом функционирования степных ландшафтов является уничтожение предпосылок и результатов функционирования ландшафтов, он составляет практически все время сезона.

Зима **2019 г.** отличается минимальным количеством процесса развития среди рассматриваемого периода 2014–2019 гг. Преобладающим же в зимний сезон этого года является процесс накопления (более половины времени). Весна становится периодом, когда процесс накопления увеличивает свою интенсивность и составляет практически всё время в сезоне. Летом такая же картина характерна для процесса развития. Осенью увеличивается вклад процесса уничтожения предпосылок и результатов функционирования степных ландшафтов, который происходит на протяжении практически всего сезона.

На протяжении всего рассматриваемого нами периода 2014–2019 гг. в разные сезоны преобладают различные результаты функционирования степных ландшафтов в Карадагском заповеднике. Так, для зимы характерен процесс накопления, однако в отдельные годы (2014 и 2017 гг.) доминирующим был процесс уничтожения. Весна полностью характеризуется процессом накопления предпосылок и результатов функционирования степных ландшафтов. В летний сезон преобладает процесс развития, а в осенний — процесс уничтожения предпосылок и результатов функционирования степных ландшафтов.

Работа выполнена по темам государственного задания ФИЦ ИнБЮМ, регистрационные номера 121040100327-3 и 121032300023-7. Работа поддержана Программой стратегического академического лидерства РУДН.

Влияние зимних заморозов на структуру зоопланктона малых озёр лесостепной зоны юга Западной Сибири

Ермолаева Н. И.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия

hope413@mail.ru

Западная Сибирь — территория с большим количеством водоёмов, подверженных заморным процессам. Влияние зимней гипоксии (вода с низким содержанием кислорода, $< 2 \text{ мг} \cdot \text{дм}^{-3}$ растворённого кислорода) на структуру зоопланктона практически не изучено. В малых озёрах условиями тотального дефицита кислорода охвачена вся толща воды по всей акватории. Основные воздействия гипоксии на сообщество зоопланктона можно обобщить как: 1) модификацию видового состава из-за видоспецифических различий в устойчивости к дефициту кислорода; 2) вариации в вертикальном и горизонтальном распределении видов, различных по толерантности к гипоксии, в среде обитания как по вертикали, так и по горизонтали. В рамках изучения данной проблемы мы исследовали зоопланктон ряда заморных озёр Барабинской низменности (Новосибирская область) в ноябре (становление ледового покрова) и в марте (окончание подлёдного периода перед вскрытием озёр и минимальная концентрация кислорода) и сравнили полученные характеристики зоопланктонного сообщества с таковыми в озёрах с благополучным кислородным режимом в течение всего подлёдного периода.

Выявлено, что в октябре — ноябре, при температуре 4...6 °С зоопланктон незаморных озёр отличается довольно высоким видовым разнообразием: доминировали *Cyclops strenuus*, *Cyclops scutifer*, *Mesocyclops leuckarti*, *Eudiaptomus gracilis*, *Neurodiaptomus incongruens*, *Daphnia pulex*, *Keratella valga*, *Keratella quadrata*, *Filinia major*, *Brachionus quadridentatus cluniorbicularis* и *Asplanchna priodonta*. В озёрах с зимним дефицитом кислорода видовое разнообразие, как правило, ограничивается 7–10 видами на озеро. Основу сообщества составляют в разных соотношениях следующие эврибионтные виды: *A. priodonta*, *Brachionus angularis*, *Keratella cochlearis tecta*, *K. quadrata*, *Bosmina longirostris*, *Ceriodaphnia quadrangula*, *Chydorus sphaericus*, *Mesocyclops leuckarti* и *Eudiaptomus graciloides*, то есть коловратки и ветвистоусые представлены более мелкими формами, чем в озёрах с благоприятным кислородным режимом.

В феврале — марте, при практически нулевой концентрации кислорода подо льдом, достаточно стабильную численность поддерживают некоторые виды коловраток (*K. valga*, *K. quadrata*, *Filinia terminalis* и *Testudinella patina*) и веслоногих рачков (*C. strenuus*, *Cyclops kolensis* и *E. gracilis*). Ветвистоусые рачки *B. longirostris* и *Diaphanosoma brachyurum* встречаются в пробах только при концентрации $\text{O}_2 > 0,8 \text{ мг} \cdot \text{дм}^{-3}$.

Зимний режим оказывает влияние на структуру зоопланктона в летнее время. В заморных озёрах наблюдается сокращение видового состава. Летом в таких озёрах преобладает комплекс, представленный главным образом ветвистоусыми рачками. Доминируют, как правило, *B. longirostris*, *D. brachyurum*, *D. pulex* и некоторые виды диаптомид. Коловратки встречаются единично и представлены, как правило, эврибионтными видами *A. priodonta*, *A. herricki*, *Br. angularis*, *Br. quadridentatus*, *Euchlanis dilatata*, *K. quadrata* и *Lecane luna*. Предположительно, способность кладоцер образовывать эфиппии с кристаллическим желтком даёт им преимущество при формировании летнего сообщества.

В озёрах, где подо льдом концентрация растворённого кислорода не опускается ниже $0,5 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$, в летних пробах обычно обнаруживается 17–49 видов (в среднем 27).

Таким образом, в условиях ежегодного зимнего замора в озёрах формируется особый видовой состав зоопланктона, представленный в летние месяцы небольшим количеством эврибионтных видов, по-видимому максимально устойчивых к кислородному голоданию.

Многолетняя динамика фотосинтетических пигментов фитопланктона в Лужской губе Финского залива Балтийского моря

Максимова О. Б., Жук Е. А.

Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» имени Л. С. Берга), Санкт-Петербург, Россия

hydrobiolog10@mail.ru

Исследования фотосинтетических пигментов фитопланктона в Лужской губе Финского залива Балтийского моря выполнялись в 1991–2018 гг. в летний период на 1–4 станциях, расположенных по направлению основных течений вдоль восточного, южного и западного берегов губы. В 2000-х гг. в Лужской губе проводилось строительство портовых сооружений, основная часть которого закончилась к 2016 г.

В 1991–1996 гг. (до начала строительства) концентрация хлорофилла *a* варьировала от 1,9 до 3,3, в среднем составляя 2,68 мкг·л⁻¹. Соотношение концентрации каротиноидов к хлорофиллу *a* (*k/a*), определяющее функциональное состояние фитопланктона, изменялось от 0,8 до 2,5, в среднем составляя 1,52. Отношения вспомогательных пигментов (хлорофилл *b* и хлорофилл *c*) к хлорофиллу *a* (*b/a* и *c/a* соответственно) изменялись от 0,2 до 0,3 (в среднем 0,24) и от 0,2 до 0,5 (в среднем 0,38).

В 2001–2009 гг., в период повышения мутности воды из-за интенсивных гидростроительных работ в акватории Лужской губы (дноуглубительные работы и устройство намывных территорий), концентрация хлорофилла *a* составляла 3–13, в среднем 8 мкг·л⁻¹; пигментный индекс *k/a* составлял 0,4–2,0 (в среднем 1,21). Отношение *b/a* — 0,4–0,8 (в среднем 0,55); отношение *c/a* — 0,8–1,4 (в среднем 1,05).

В 2010–2015 гг. произошло снижение концентрации взвешенных веществ в воде, поскольку основная часть строительства проводилась на уже намывных территориях. Концентрация хлорофилла *a* в указанный период варьировала от 6 до 16, в среднем составляя 10 мкг·л⁻¹. Отношение *k/a* составляло 0,2–1,4 (в среднем 0,89); *b/a* — 0,2–0,4 (в среднем 0,3); *c/a* — 0,1–1,1 (в среднем 0,56).

В 2016–2018 гг. (после завершения большей части строительных работ) концентрация хлорофилла *a* составляла 2–3, в среднем 2,6 мкг·л⁻¹, пигментный индекс — 1,3–1,8, в среднем 1,56. Отношения концентраций вспомогательных пигментов к хлорофиллу *a* составили: *b/a* — 0,2–0,3 (среднее 0,26); *c/a* — 0,3–0,5 (среднее 0,40).

Концентрация хлорофилла *a*, одного из основных показателей трофности водоёма, на протяжении исследованного периода изменялась от 1,9 до 16 мкг·л⁻¹. До начала строительства (1991–1996) фоновые показатели всех фотосинтетических пигментов и пигментного индекса *k/a* соответствовали таковым, наблюдаемым в глубоководной части Финского залива.

В период интенсивного строительства в Лужской губе концентрация хлорофилла *a* увеличилась в 3 раза. Резко возросла доля вспомогательных пигментов в фитопланктоне; это свидетельствует о стрессовом состоянии фитопланктона, который находится под воздействием повышенной концентрации взвеси, поступающей в водоём при дноуглубительных и намывных работах.

После сокращения объёма строительных работ и снижения мутности воды концентрация хлорофилла *a* ещё больше увеличилась, достигнув максимальных за весь период исследований показателей. Доля вспомогательных пигментов при этом существенно снизилась. Пигментный индекс

в данный период, в отличие от предыдущих, стал меньше 1. По-видимому, на фоне уменьшения мутности воды отмечалась стимуляция фитопланктона дополнительными порциями биогенных веществ, поступающих в водоём из донных осадков при гидростроительных работах.

В 2016–2018 гг. все пигментные характеристики фитопланктона вернулись к фоновым показателям, отмечавшимся в 1991–1996 гг., до начала гидростроительных работ, что свидетельствует о его полном восстановлении.

Таким образом, под воздействием строительства в 2001–2015 гг. наблюдалось временное увеличение уровня трофности Лужской губы до эвтрофного. После прекращения работ произошло восстановление мезотрофного уровня водоёма.

***Noctiluca scintillans* в трёх океанах: ареал и сезонная динамика численности**

**Загородняя Ю. А.¹, Пионтковский С. А.², Прусова И. Ю.¹, Серикова И. М.¹, Евстигнеев В. П.²,
Дегтяр И. В.², Ал-Хашми Х.³**

¹ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

²Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

³Университет Султана Кабуса, Маскат, Оман

artam-ant@yandex.ru

Обобщение литературных данных показало, что ареал динофитовой водоросли *Noctiluca scintillans* (Macartney) Kofoid & Swezy, 1921 охватывает районы от арктических до тропических широт. Благодаря высокой удельной продукции вид способен быстро наращивать свою биомассу, формируя мощное цветение в поверхностных слоях. На основе анализа и обобщения данных о сезонной динамике численности ноктилюки в 11 районах Мирового океана (с запада на восток: в Бискайском заливе, Северном, Адриатическом, Чёрном, Мраморном, Красном и Аравийском морях, Бенгальском заливе, северо-западной части Тихого океана и водах Восточной Австралии) выявлены особенности сезонных циклов и закономерности пространственного распределения вида. Показано, что сезонная динамика численности ноктилюки может иметь одномодальный, бимодальный и полимодальный характер. Максимальные амплитуды сезонных колебаний численности выявлены в районах Индийского океана. Фактически это тот район Мирового океана, где наблюдается высокая сезонная изменчивость величин первичной продукции.

Многомерный статистический анализ региональных данных по интенсивности атмосферных осадков, давлению ветра на водную поверхность, фотосинтетически активной солнечной радиации, температуре поверхности океана, кинетической энергии мезомасштабных вихрей и концентрации биогенных элементов (фосфатов и нитратов) позволил оценить диапазоны факторов среды, в пределах которых наблюдаются максимальные сезонные амплитуды численности *N. scintillans* в исследованных районах. Выявлены статистически значимые связи между численностью ноктилюки и параметрами, влияющими на её сезонную изменчивость. Восемь параметров, сгруппированных в три главные компоненты, «объяснили» 69 % суммарной изменчивости созданной для анализа системы. Первые две компоненты «выбирали» более половины суммарной изменчивости. С учётом максимальной нагрузки параметра в каждой из этих главных компонент была построена трёхмерная диаграмма зависимости максимальных сезонных пиков численности ноктилюки от двух параметров, несущих максимальную нагрузку, — энергии мезомасштабных вихрей и суммарной концентрации фосфатов и нитратов.

Как следствие взаимодействий в системе, в прибрежье в отдельные годы пик численности ноктилюки может смещаться. Так, в Чёрном море в открытых водах он приходится на июнь, а в прибрежье и бухтах вдоль крымских берегов пик более вариабелен по месяцам. При этом среднегодовая численность ноктилюки в прибрежных водах оказывается в 4 раза, а коэффициент вариации по сезонам — в 1,5 раза выше, чем в открытом море. В многолетней изменчивости в прибрежных водах Крыма прослеживается снижение численности и биомассы ноктилюки с 1960-х гг. по настоящее время.

Одной из характеристик функционального состояния популяции *N. scintillans* является её биолюминесцентный потенциал. Сравнительный анализ сезонной изменчивости численности нокти-

люки и биолюминесцентного потенциала планктонного сообщества Чёрного моря показал, что ноктилюка, в сравнении с другими светящимися динофитовыми водорослями, вносит сезонно варьирующий вклад в поле биолюминесценции.

Исследования выполнены в рамках тем госзадания ФИЦ ИнБЮМ № 121030100028-0 и № 121040600178-6, при поддержке гранта SSU grant No. 42-01-09/90/2020-3, SSU-SQU cooperation (No. IG/DVC/CEMB/21/01).

Деоксигенация промежуточного слоя Охотского моря и её влияние на батиметрическое распределение чёрного палтуса

Зуенко Ю. И., Асеева Н. Л.

Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), Владивосток, Россия

В Охотском море в ходе процесса склоновой конвекции происходит вентиляция промежуточного слоя формирующимися при льдообразовании порциями высокоплотных вод, которые сползают по шельфу и материковому склону. Основным районом вентиляции определён глубоководный каньон севернее Сахалина, склоновая конвекция у Камчатки вентилирует полуизолированную от остальной глубоководной части моря впадину ТИНРО. В последние десятилетия ледовитость моря, а следовательно объём и плотность богатых кислородом вод, переносимых склоновой конвекцией в промежуточный слой, уменьшаются вследствие потепления климата. Соответственно, глубина вентилирования промежуточного слоя уменьшается. Наблюдаемое в современных условиях потепления сокращение продукции вод с плотностью $\sigma_{\theta} \geq 26,8$ сопровождается снижением содержания кислорода в нижней части промежуточного слоя (400–1000 м) в среднем на $0,6 \text{ мл} \cdot \text{л}^{-1}$ за десятилетие, в то время как его верхняя часть по-прежнему хорошо вентилируется. Деоксигенация потенциально неблагоприятна для глубоководных видов рыб и может вынуждать их избегать слои с содержанием кислорода ниже критического для них уровня. У дна континентального склона Охотского моря обитает чёрный палтус *Reinhardtius hippoglossoides*, ценный промысловый вид. На горизонте 500 м на западнокамчатском склоне, где формируются его основные скопления, содержание кислорода понизилось в среднем с $3,24 \text{ мл} \cdot \text{л}^{-1}$ в 1970-е гг. до $2,68 \text{ мл} \cdot \text{л}^{-1}$ в 2010-е гг. ($2,25 \text{ мл} \cdot \text{л}^{-1}$ в 2020 г.). По-видимому, палтус достаточно толерантен к такому снижению, поскольку положение его наиболее плотных нагульных скоплений пока остаётся стабильным: в 2000–2010-е гг. они располагались даже несколько глубже (свыше 600 м), чем в 1970–1990-е гг. (500–600 м). Вместе с тем в преднерестовый и нерестовый периоды (осенью-зимой) крупноразмерные старшевозрастные особи чёрного палтуса образуют плотные скопления на гораздо большей глубине, до 1000 м, где в последние годы содержание кислорода снизилось до величин $< 1 \text{ мл} \cdot \text{л}^{-1}$. Для этих, нерестовых скоплений отмечено перераспределение с глубин 900–1000 м на вышележащие изобаты, что компенсирует снижение содержания кислорода. Процесс деоксигенации совпал с периодом слабого воспроизводства палтуса: за последние три десятилетия не появилось ни одного высокоурожайного поколения, в результате чего популяция находится в устойчиво депрессивном состоянии. Однако доказательств неблагоприятного влияния деоксигенации на воспроизводство палтуса пока нет.

Первородный энергетический ресурс протобионтов

Иванов А. А.¹, Севастьянов В. С.¹, Смирнова Л. Л.², Шныкин Б. А.¹, Долгоносов А. А.¹

¹Институт геохимии и аналитической химии имени В. И. Вернадского РАН, Москва, Россия

²Институт природно-технических систем, Севастополь, Россия

По современным научным представлениям, всё биоразнообразие Земли имеет единого предка и берёт начало от первых примитивных гетеротрофов, появившихся приблизительно 3,8 млрд лет назад при абиогенном самозарождении жизни. Это означает что более миллиарда лет, до появления автотрофов, они активно использовали в своём метаболизме только готовый органический субстрат. Таким образом, потребление органических веществ — основное условие их существования, поэтому без регулярного восполнения этих веществ развитие процесса невозможно. В связи с этим на ранней Земле должен был присутствовать подходящий для самозарождения и развития жизни источник энергии. Маловероятно, что такие спорадические по природе источники энергии, как грозовые разряды молний, вулканическая и другая тектоническая активность Земли, ультрафиолетовое излучение и иные типы радиации могли обеспечить необходимый формат энергии, регулярно требуемой на протяжении геологически длительного периода времени для синтеза высокомолекулярных органических соединений и структур [Иванов, 2020].

Вместе с тем с самого начала предбиологического этапа на Земле уже присутствовал и другой источник энергии — энергия движения воды. Волны прибоя, воздействуя на береговую зону первичного океана, формировали абразивные берега. В замкнутом объёме каверн абразивных берегов при ударе волн возникал пневмоудар. При этом вода, работая как поршень, инициировала в кавернах скачок давления и температуры. В результате в органическом бульоне, присутствующем в кавернах, могли формироваться полипептидные микросферы [Ivanov et al., 2020]. Также волны первичного океана Земли при движении в береговой зоне увлекали за собой частички гравия и песка, при перемещении которых возникали ультразвуковые колебания в широком диапазоне частот — от десятков до сотен кГц [Бардышев, 2008]. При этом ультразвук мог инициировать синтез органических соединений, что подтверждается в модельных экспериментах [Иванов и др., 2021].

Натурные испытания в условиях морского прибоя также обнаружили первые положительные результаты исследований, что подтверждает реальность прохождения подобных событий на ранней Земле.

Нельзя исключить и то, что вышеуказанные источники энергии, а также продукты их синтеза используются отдельными современными микроорганизмами в условиях каверн и в прилегающей зоне береговой линии, что требует дальнейших специальных исследований.

Благодарим за техническую поддержку при постановке и проведении экспериментов в условиях морского прибоя сотрудника ИПТС Кашкарова Алексея Анатольевича.

Какие факторы сильнее всего влияют на многолетнюю динамику озёрной экосистемы (по данным мониторинга Нарочанских озёр за 1978–2015 гг.)

Казанцева Т. И.¹, Адамович Б. В.²

¹Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

²Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

tamara.kazantseva@zin.ru

Результаты непрерывного мониторинга системы Нарочанских озёр, включающей эвтрофное оз. Баторино, мезотрофное оз. Мястро и олиго-мезотрофное оз. Нарочь, были использованы для исследования вопроса о том, какие факторы в наибольшей степени влияют на многолетнюю динамику состояния озёрной экосистемы, находящейся в условиях переменной нагрузки биогенными элементами. Совокупность непрерывных рядов среднесезонных значений восьми характеристик экосистемы каждого озера за 1978–2015 гг. (концентрация общего фосфора, концентрация хлорофилла *a*, потенциальная первичная продукция и аэробная деструкция, биомассы фито- и зоопланктона, концентрация сестона, а также биохимическое потребление кислорода за 5 суток) проанализирована методом сингулярных спектров (SSA). Данные по семи параметрам (исключая концентрацию общего фосфора) проанализированы также методом главных компонент (PCA). Для каждой экосистемы выделено 7 взаимно независимых и взаимно ортогональных главных компонент (PC), из которых 3–5 практически полностью отражают динамику исходных переменных. Вклад первой главной компоненты в общую дисперсию совокупности исходных параметров составил для экосистем озёр Баторино, Мястро и Нарочь 62, 65 и 43 % соответственно. Вклад второй главной компоненты — 21, 15 и 22 %.

Биологическая интерпретация главных компонент PC1, PC2 и стоящих за ними главных факторов F1 и F2 основывалась на анализе статистических связей между компонентами и исходными параметрами и на результатах разложения рядов исходных параметров и рядов PC1, PC2 каждой экосистемы на тренды и циклические составляющие методом SSA. Также была принята во внимание динамика других характеристик каждой экосистемы в рассматриваемый период: индекса трофности, прозрачности воды по диску Секки и уровня воды. Был учтён факт вселения в Нарочанские озера в середине 1980-х гг. моллюска-фильтратора *Dreissena polymorpha* Pallas, который нашёл наиболее благоприятные условия для своего развития в оз. Мястро. Были привлечены данные по составляющим водного баланса каждого озера и по циклическому изменению солнечной активности в рассматриваемый период времени. Сопоставление всех перечисленных данных позволило предложить следующие интерпретации первых двух главных факторов, в наибольшей степени определивших динамику Нарочанских озёр в период 1978–2015 гг., когда их экосистемы, находящиеся в 1970-х гг. состоянии антропогенного эвтрофирования, прошли этапы целенаправленного деэвтрофирования, бентификации и стабилизации состояния.

Первый главный фактор, соответствующий первой главной компоненте и определявший динамику экосистем озёр Баторино, Мястро и Нарочь в 1978–2015 гг. на 63, 65 и 43 % соответственно, интерпретирован нами как устойчивость озёрной экосистемы к переменной биогенной нагрузке, находящаяся в обратной зависимости от степени трофности водоёма. Второй главный фактор, внесший от 15 до 22 % вклада в динамику экосистем Нарочанских озёр, интерпретирован нами как активность солнечного излучения, необходимого для создания первичной продукции водоёма.

Пространственно-временная изменчивость распределения икры балтийского шпрота в летние сезоны 1996 и 2020 гг.

Карасева Е. М.^{1,2}, Ежова Е. Е.²

¹Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»), Калининград, Россия

²Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

karasiova@rambler.ru

Шпрот *Sprattus sprattus balticus* в современный период является наиболее многочисленным видом пелагофильных рыб в Балтийском море. Основные районы его размножения находятся в глубоководных впадинах: от Гданьской впадины на юге до центральной части Готландской впадины на севере. Как сроки нереста, так и вклад отдельных нерестилищ в воспроизводство запаса подвержены значительным пространственно-временным флуктуациям, во многом определяющимся межгодовыми колебаниями абиотических условий воспроизводства. Балтийский шпрот имеет длительный нерестовый сезон — с февраля-марта по август. Ихтиопланктонные исследования по учёту численности пелагической икры шпрота дают возможность выявить современные изменения в сроках массового размножения и вклада различных нерестилищ в воспроизводство этого вида.

Цель настоящего исследования — по данным за летние сезоны 1996 г. (23 июля — 05 августа) и 2020 г. (03–15 июля) рассмотреть различия в пространственном распределении икры шпрота по трём нерестилищам: Гданьской впадине, а также южной и центральной частям Готландской впадины. С юга на север они охватывают район от 54°50' с. ш. до 58°00' с. ш. Ихтиопланктонные пробы собирали сетью ИКС-80 посредством облова слоя дно — поверхность на глубинах до 100 м и слоя до 140 м в глубоководной северной части моря.

Летом 1996 г численность икры шпрота увеличивалась с севера на юг, достигая максимума в Гданьской впадине. Средняя численность икры шпрота возрастала от 113 экз.·м⁻² в центральной части Готландской впадины (58°00'–56°30' с. ш.) до 291 экз.·м⁻² в Гданьской впадине (55°35'–54°50' с. ш.). Пространственная динамика икры шпрота в июле 2020 г. имела противоположную направленность, уменьшаясь с севера на юг — от 153 экз.·м⁻² в центре Готландской впадины до 7 экз.·м⁻² в Гданьской впадине. Численность икры шпрота в южной части Готландской впадины также была заметно ниже в 2020 г. — 134 и 79 экз.·м⁻² соответственно. Крайне низкий уровень численности икры шпрота в южном районе Восточной Балтики свидетельствовал о завершении в нём нереста шпрота.

Сопоставление полученных данных с результатами исторических исследований в 1968–1977 гг. [Грауман, 1980] показало, что пространственное распределение икры шпрота по нерестовым районам в 1996 г. было аналогично распределению, наблюдавшемуся после холодных зим в 1968–1971 гг. В 1996 г. процентный вклад районов в направлении с севера на юг составлял 21, 25 и 54 %; в июле 1968–1971 гг. это соотношение было очень схожим — 26, 32 и 42 % соответственно.

Между тем в доступных исторических материалах по численности и сезонному распределению икры шпрота за последние 50 лет не было отмечено ситуации с почти полным прекращением июльского нереста шпрота в Гданьской впадине. На основании гидрометеорологических данных предполагается, что в современный период пик нереста шпрота на юге Восточной Балтики сместился на более ранние сроки. Вероятной причиной являются современные климатические

изменения, одним из следствий которых было повышение температуры воздуха и уменьшение суровости зим, предшествующих началу сезона размножения балтийского шпрота.

Сбор данных 2020 г. выполнен по госзаданию ИО РАН № 0128-2021-0012; эти данные и фоновые данные ФГБНУ «ВНИРО» за 1996 г. анализировали в рамках госзадания ФГБНУ «ВНИРО» на 2021 г. № 076-00002-21-01.

Аэрофотосъёмка: история развития и современные методы, применяемые в биологических и экологических исследованиях (обзор)

Каткова-Жукоцкая О. А.¹, Катков-Жукоцкий П. С.²

¹Севастопольский государственный университет, базовая кафедра «Гидробиология и общая экология»,
Севастополь, Россия

²Независимый исследователь

citonica@mail.ru

В современных условиях процессы фотодокументирования и визуализации данных играют важную роль в решении различных теоретических и практических задач. Обеспечение оперативного мониторинга является важной составляющей биологических и экологических исследований. Широкое распространение получают методы дистанционного зондирования, одним из которых является аэрофотосъёмка (фотографирование территории с определённой высоты при помощи аэрофотоаппарата, установленного на атмосферном летательном аппарате, с целью получения, изучения и представления объективных пространственных данных) с использованием беспилотных летательных аппаратов (далее — БПЛА) с цифровой камерой и набором светофильтров для оптимизации съёмки в различных условиях. Применение современных информационных технологий существенно расширяет возможности традиционных подходов при изучении различных объектов. Компьютерные технологии предоставляют широкие возможности для обработки и визуализации результатов научных исследований. В данной работе представлен краткий обзор этапов развития аэрофотосъёмки в историческом масштабе, а также некоторых современных аэрометодов получения и обработки данных.

Исторические этапы развития аэрофотосъёмки включают несколько периодов, характеризующихся использованием определённых методов и средств для её осуществления. Первый аэрофотоснимок датируется 1858 г. (французский фотограф и воздухоплаватель Гаспар Феликс Турнашон (Надар) запечатлел вид на французскую деревню Пети-Бечетр с привязного воздушного шара). В 1901 г. российский учёный Ричард Юльевич Тиле выступил с докладом о выполненной им фототопографической съёмке русел рек с помощью фотоаппарата собственной конструкции — «панорамографа». С середины XIX в. по начало XX в. аэрофотосъёмку осуществляли с аэростатов, а также с использованием ракетных камер (А. Нобель, А. Муаль), воздушных змеев (Э. Д. Арчибальд, А. Батут) и птиц (Ю. г. Нойброннер).

В 1910 г. в Севастополе открылась офицерская школа лётчиков, были выполнены первые опытные съёмки с самолетов. Положено начало применению аэроснимков для создания топографических карт неисследованных районов. В 1919 г. опробована канадская программа картирования лесов с использованием аэросъёмки.

С 1930-х гг. аэрофотосъёмка применяется в геологии и при исследовании Арктики, а также для изучения лесов, пустынь, рек, болот. В 1935 г. проведены пионерные исследования А. Пуадэбара по применению аэрофотосъёмки в морской археологии. В 1940–1950-е гг. расширяется круг отраслей науки и практики, в которых применяются аэрофотоснимки, совершенствуется методика их дешифрирования. Применяется съёмка с использованием спектральнозональной плёнки.

В 1960–1970-е гг. разрабатываются основы дешифрирования снимков как метода географического исследования. Ландшафтный метод становится основным при географическом изучении

территории по аэроснимкам. Наиболее широкое развитие он получил при гидрогеологических изысканиях, почвенном и геоботаническом картографировании. Получены первые фотографические и телевизионные снимки из космоса. Формируется принцип многовариантности (множественности) в получении и использовании снимков: съёмка с разной высоты, различные носители, масштабы, методы обработки получаемой информации, участки спектра, в которых регистрируется излучение.

Совершенствованием способов получения и применения аэрокосмической информации во всех областях изучения и картографирования поверхности Земли характеризуются 1980-е гг. Широко внедряются в практику персональные компьютеры и геоинформационные технологии, развиваются методы компьютерной обработки снимков.

С конца XX в. и по настоящее время наблюдается скачок в развитии способов получения космической информации; существенно улучшается пространственное и спектральное разрешение оптико-электронных съёмочных систем. Наблюдается активное использование дистанционно управляемых БПЛА.

Аэрофотосъёмка с использованием БПЛА (как дистанционный метод исследований) включает несколько этапов — подготовительные работы, лётно-съёмочные работы и обработку полученных изображений, для которой широко применяются компьютерные технологии.

Возможности применения данного метода исследований имеют широкий диапазон:

- применение БПЛА для научной аэросъёмки (плановой и перспективной);
- применение БПЛА как средства дистанционного мониторинга (наряду с аэрофотосъёмкой с пилотируемых аппаратов и космической съёмкой);
- оперативное получение данных с высоким уровнем детализации;
- экологический мониторинг;
- биогеографические (ботанические и зоогеографические) исследования;
- наблюдение снегового и ледового покрова в гидрологии и гляциологии;
- применение в сфере охраны окружающей среды (в частности, водных ресурсов);
- изучение и оценка состояния экосистем ООПТ;
- возможность установки дополнительного съёмочного оборудования (мульти- и гиперспектральные камеры) и др.

Таким образом, в настоящее время аэрофотосъёмка с использованием БПЛА находит всё более широкое применение в биологических и экологических исследованиях, обеспечивая получение данных с высоким пространственным и временным разрешением, а также оперативной и актуальной информации. Компьютерные технологии и специализированные программные пакеты позволяют проводить обработку и анализ изображений, полученных при исследованиях. Результаты фотодокументирования с применением БПЛА могут быть использованы в научной, эколого-просветительской и образовательной деятельности.

Аммонифицирующая способность биофлокулянт-продуцирующих микроорганизмов, выделенных из гидроэкосистем Арктического региона

Кожухова Е. В., Макаревич Е. В., Литвинова М. Ю., Мищенко Е. С.

ФГАОУ ВО «Мурманский государственный технический университет», Мурманск, Россия

kramarenkoev@mstu.edu.ru

Состоянию наземных и водных экосистем Арктического региона в последнее время уделяется пристальное внимание, поскольку хозяйственная деятельность человечества привела к кризисной экологической обстановке. Большими темпами происходят трансформация и утрата многих экосистем и, как следствие, изменение и сокращение полярного биоразнообразия. Результаты исследований в области процессов самоочищения в высокоширотных водоёмах демонстрируют тенденцию увеличения длительности периода очищения водоёмов собственными силами [Дау-вальтер, 2012]. Причинами данного обстоятельства являются в том числе объёмы загрязняющих веществ, которые с каждым годом растут и накапливаются далеко за пределами допустимых концентраций.

Бесконтрольное попадание в водоёмы недоочищенных или неочищенных вовсе стоков влечёт за собой накопление в природных водах аллохтонной микрофлоры сточных вод. Это резко изменяет микробный биоценоз и санитарное состояние водоёмов. Биологическая инвазия является одной из серьёзнейших экологических проблем, поскольку появление несвойственных биотопу видов приводит к крупным экологическим изменениям в среде. Постепенному вытеснению аборигенной микрофлоры способствует такое обстоятельство, как упрощение системы потребления питательных веществ за счёт постоянного поступления в гидроэкосистемы достаточных концентраций самых разнообразных соединений. Известно, что чем выше потребность организма в разнообразных питательных веществах, тем ниже уровень его биосинтетического потенциала [Гусев, 2003]. Видовое перераспределение в северных водоёмах в сторону преобладания высокотрофных микроорганизмов повлечёт за собой снижение биосинтетической деятельности и потенциала деградации гидроэкосистем. А ведь уникальность северного природного микробиоценоза заключается в неограниченных способностях, в том числе биосинтетических. И для сохранения биоэкологического и биотехнологического потенциала микробных сообществ водной среды Арктического региона необходим поиск перспективных и безопасных решений данной проблемы.

Одним из таких решений является использование собственно автохтонной микрофлоры сточных вод и активного ила (далее — АИ) очистных сооружений, обладающей, помимо прочего, способностью к относительно быстрому осаждению в процессах очистки загрязнённых вод. Несмотря на сложность состава биоценоза АИ, основными группами микроорганизмов являются флокулирующие и нитчатые бактерии [Денисов, 2011]. Так называемые биофлокулы представляют собой желеподобную массу геля экзобиополимерного происхождения с вкраплениями бактериальных клеток. Микроорганизмы, продуцирующие внеклеточные полимеры, играют исключительную роль в процессах очистки загрязнённых вод. По всей видимости, эти уникальные объекты водных биоценозов являются одним из важнейших звеньев в процессах преобразования веществ в целом. Способность к окислению, трансформации, аккумуляции и утилизации различных органических и минеральных веществ наряду с седиментационной активностью даёт им колоссальное преимущество перед другими микроорганизмами. Немаловажной является и их способность со-

хранять данные физиологические свойства в условиях постоянных низких плюсовых температур [Ильинский, 2017].

На протяжении нескольких лет нашим коллективом изучался биоэкологический потенциал выделенных нами же культур микроорганизмов, обитающих в природных и искусственных гидроэкосистемах Арктического региона. Пять бактериальных штаммов при культивировании в условиях, имитирующих условия обитания объектов исследования, показали способность не только к флокулообразованию, но и к окислению углеводов и аккумуляции органических и минеральных форм фосфора [Makarevich, 2019 ; Kramarenko, 2019 ; Kozhukhova, 2020]. Любой природный или искусственный консорциум является неоднородным в видовом отношении сообществом, содержащим различные физиологические группы микроорганизмов. Каждая группа имеет определённую функциональную направленность при реализации биохимических процессов усвоения органических веществ, и в первую очередь — азотсодержащих соединений. Данный факт послужил толчком для продолжения исследования потенциала изучаемых биофлокулянт-продуцирующих микроорганизмов (далее — БПМ). И на этот раз целью эксперимента стал анализ аммонифицирующей способности объектов исследования, поскольку в группу аминокетотрофов, использующих в своём метаболизме азот сложных белковых субстратов и пептонов, входит широкий спектр аммонифицирующих микроорганизмов, в том числе представители семейства Pseudomonadaceae [Исмаилова, 2014].

В условиях лаборатории бактерии *P. lundensis*, *A. eucrenophyla* и *P. fragi* шт. № 1–3 культивировались в экспериментальных питательных средах № 1–4, нагруженных пептоном. Среда № 1 использовалась в качестве эталонной, поскольку именно в ней, по мнению ряда авторов, БПМ способны проявлять высокую флокулирующую активность [Gao, 2006]. Остальные среды имитировали гидрохимический состав источников выделения БПМ — загрязнённые городскими стоками воды Варничного ручья и бытовые стоки до (БСВ_д) и после (БСВ_п) биоочистки соответственно. В ходе эксперимента изучались интенсивность роста культур, способность к флокулообразованию и протеолизу пептона под воздействием низких плюсовых температур.

В ходе эксперимента наблюдалось незначительное удлинение лаг-фазы, поскольку, помимо адаптации к составу сред, богатых питательными веществами, БПМ приспосабливались и к низкой температуре. Первые признаки роста в средах появились в первые же сутки культивирования во всех культуральных смесях, кроме, содержащих *Ps. fragi* шт. № 2 (видимый рост на 2-е сутки). В среднем скорость роста всех культивируемых штаммов составила $1,5 \cdot 10^8$ кл. в $1 \text{ мл} \cdot \text{сут}^{-1}$. Интенсивнее росла культура *Ps. lundensis* (средняя скорость роста $2,7 \cdot 10^8$ кл. $\cdot \text{сут}^{-1}$), показав максимальную концентрацию клеток ($4,5 \cdot 10^9$ кл. $\cdot \text{мл}^{-1}$) в среде № 2. Наименее активной оказалась культура *A. eucrenophyla*, выделенная из АИ очистных сооружений. Также в процессе культивирования нами выявилась интересная закономерность: максимальные концентрации клеток некоторых БПМ наблюдались в тех же средах, ранее в которых (без добавления пептона) БПМ давали флокулирующую активность свыше 50 %. Наименее благоприятной для активного роста и размножения культур БПМ оказалась среда № 3, основа которой соответствовала составу БСВ_п. В ходе эксперимента хлопьеобразование в культуральных жидкостях появилось не ранее 7-х суток культивирования. В АИ по мере снижения концентрации питательных веществ за счёт поглощения их активно растущим бактериоценозом начинают стремительно развиваться процессы селекции микроорганизмов, которые приводят к преимущественному росту флокулирующих бактерий [Денисов, 2011]. Активнее в процессе хлопьеобразования участвовала культура *Ps. lundensis*. Из 5 культур БПМ лишь *A. eucrenophyla* не обладала способностью к флокулообразованию на протяжении всего периода культивирования. Интенсивнее всего данный процесс происходил в среде № 2, менее —

в среде № 3. Оценивая способность БПМ к протеолизу пептона, нужно отметить, что все без исключения культуры дали положительный результат (в культуральных жидкостях присутствовали процессы аммонификации и повышалась концентрация ионов аммония как основного конечного продукта). Лидировала по-прежнему культура *P. lundensis*, показав наивысшие в рамках данного эксперимента значения массовой концентрации NH_4^+ во всех средах (в среднем концентрация NH_4^+ увеличилась до отметки в $68,3 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$). Наименее активной в отношении процессов аммонификации оказалась культура *A. eucrenophyla* ($4,2 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1} \text{ NH}_4^+$). В культуральных жидкостях, в которых в процессе эксперимента присутствовало флокулообразование, отмечался уровень аммония не ниже $20 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$, в отличие от остальных бактериальных смесей. Исключение составила лишь одна культура, *P. fragi* шт. № 2, при культивировании которой в среде № 3 (соответствующая составу БСВ_п) концентрация NH_4^+ на конец аммонификации составила $21,58 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$. Среди всех сред наиболее благоприятной являлась среда № 2 (NH_4^+ в среднем достигал значения в $43 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$).

Популяции *Gammarus lacustris* как основа формирования фаунистических комплексов малых лесостепных озёр Западной Сибири

Козлов О. В., Аршевский С. В., Шаров А. В., Накоскин А. Н., Филистеев О. В., Павленко А. В.

ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет», Курган, Россия

hydrobiology@list.ru

Озёра лесостепной зоны юга Западной Сибири значительно различаются по минерализации и химическому составу природных вод. Наибольшую распространённость имеют мезотрофные солоноватые бессточные водоёмы площадью до 2 км² и средней глубиной 2–3 м. Для них характерны зимние и летние заморы с резким снижением концентрации растворённого в воде кислорода по причине практического прекращения газообмена между воздушной и водной фазами в зимний период и повышения температуры водной среды до критической в летний период наряду с активным микробиологическим потреблением кислорода. Именно гидрохимия и физико-географические особенности озёрных котловин формируют фаунистические комплексы, видами-эдификаторами в которых выступают популяции не столько позвоночных гидробионтов (различных видов рыб), сколько беспозвоночных, прежде всего ракообразных.

Так называемые амфиподные фаунистические комплексы в малых озёрах исследуемого региона характерны для тех экосистем, в которых доминирующими являются популяции разноногих раков *Gammarus lacustris* (G. O. Sars, 1863). Такие водоёмы, общая площадь которых приближается к 400 км², достаточно типичны для лесостепной зоны Западной Сибири.

В отличие от популяций этого же вида в озёрах Северной Америки, Западной Европы и европейской части России, где озёрного бокоплава *G. lacustris* по образу жизни относят к типичным бентосным организмам, в озёрах Западной Сибири он активно перемещается по всей толще воды в ходе вертикальных и горизонтальных суточных и сезонных миграций. Причинами их могут служить кислородный и температурный режимы водоёмов, а также концентрация пищевых объектов. В зимний и ранневесенний периоды наибольшая плотность популяции наблюдается по периметру водоёмов в прибрежной части на расстоянии 50–100 м от берега озера. В эти сезоны практически вся популяция озёрного бокоплава ведёт nektonный образ жизни у нижней поверхности льда, что обусловлено чуть более высокой концентрацией (0,2 мг·л⁻¹) растворённого кислорода в этой зоне. Заморные явления *G. lacustris* переносит, достаточно хорошо адаптируясь к ним.

Жизненный цикл этого вида гаммарид в озёрах региона завершается через 12–13 месяцев. За этот период наблюдается появление двух молодых генераций (в мае — июне и августе — начале сентября). При массовой гибели взрослых особей, максимально достигающих к концу жизненного цикла длины тела 15,6 мм и индивидуальной массы 0,091 г, в середине-конце июня в донные осадки может поступать до 250 г·м⁻² седиментационного детрита. Ростовые процессы в популяциях данного вида гаммарид протекают с периодическими линьками (в среднем 6–7 за сезон), которые обеспечивают дополнительное поступление органических веществ в экосистему водоёма. Для озёр Западной Сибири в зависимости от площади водоёма характерен 3–4-летний цикл развития популяций озёрного бокоплава. Максимальная численность и биомасса популяции достигаются в конце цикла и определяются ресурсной базой водоёма, формирующей поддерживающую ёмкость среды. При её превышении отмечаются резкое снижение относительной плотности популяции, а также линейных размеров и индивидуальной массы особей *G. lacustris*.

В экосистемах малых озёр лесостепной зоны Западной Сибири при плотности популяций озёрного бокоплава выше 60–80 особей на м³ (170–190 особей в столбе воды над м² дна с учётом обитающих в грунте водоёма) складываются характерные фаунистические комплексы [Никольский, 1947] со своей структурой и вариантами биотических отношений на разных трофических уровнях. Данный вид ракообразных не только доминирует в экосистеме и формирует высший трофический уровень, но и определяет структуру и возможность существования комплекса видов позвоночных и беспозвоночных гидробионтов. При наличии в лимноэкосистеме представителей ихтиофауны (*Carassius gibelio*, *Cyprinus carpio*, *Coregonus peled*) особи *G. lacustris* активно регулируют их численность, переходя от типичной для вида детритофагии к активному хищничеству и используя в качестве источников питания икру, молодых и ослабленных взрослых особей рыб. При таком воздействии популяции рыб в амфиподных озёрах находятся в угнетённом состоянии и не имеют возможности выступать основой высшего трофического уровня консументов. Эту трофическую нишу с успехом осваивают гаммариды.

Часто в описываемых лимноэкосистемах трофическую конкуренцию озёрному бокоплаву составляют бентосные личинки амфибионтных насекомых, таких как представители семейства Chironomidae. Численность и относительная биомасса популяций хирономид в исследованных водоёмах прямо пропорциональны жесткости воды и концентрации ионов Ca²⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, Mg²⁺. Они во многом определяют динамику количественных показателей зообентоса. Как правило, к концу весны (конец мая — начало июня) количественные показатели популяций хирономид бывают высокими, так как среди них преобладают старшие возрастные группы личинок. К концу лета наблюдается снижение биомассы популяций, несколько компенсируемое ростом молодых особей. В сентябре при снижении скорости ростовых процессов хирономид происходит стабилизация популяционных показателей. Этот процесс наблюдается на протяжении осени до начала ледостава в октябре-ноябре.

Ещё один трофический уровень в малых амфиподных озёрах формируют планктонные хищные личинки комаров-хаборид (*Chaoborus crystallinus*, *Chaoborus flavicans*) и веслоногие ракообразные (*Cyclops strenuus*, *Eudiaptomus gracilis*, *Acanthodiptomus denticornis*). Виды планктонных Cladocera нехарактерны для описываемых озёр и встречаются редко, так как пресс хищников слишком велик для их нормального развития. Видовое разнообразие в зоопланктоценозах в заморных малых озёрах невелико. Количество видов-зоопланктеров может составлять всего 3–4, в отличие от количества в лимноэкосистемах, где не наблюдается снижение концентрации растворённого кислорода к концу зимнего периода.

Большинство амфиподных озёр относятся к β-мезосапробными мезотрофным водоёмам, на что частично указывает содержание в их воде факультативно анаэробных микроорганизмов совместно с аэробными мезофильными бактериями. Наличие спорозоносных форм, преобладающих над бесспорными, характеризует невысокую первичную продукцию и скорость оборачиваемости биомассы в этих лимноэкосистемах.

Расширение направлений использования малых озёр лесостепной зоны Западной Сибири даёт возможность использовать амфиподные озёра как для промысла ресурсов беспозвоночных (*G. lacustris*), так и для товарного рыбоводства. Следует учитывать особенности видового состава зоопланктоценозов, их структурные особенности и видовое разнообразие для получения наибольшего экономического и экологического эффекта при внедрении видов-вселенцев. Целесообразно периодически проводить зарыбление озёр мальками гибридов сиговых рыб, которые при высоких показателях роста и потребительских качествах способны менять потребление тех или иных видов естественных кормов в зависимости от уровня развития зоопланктона в разные сезоны года.

Видовой состав эпилитных лишайников на некоторых военных укреплениях Северной стороны г. Севастополя

Королькова Е. О., Толпышева Т. Ю., Щепкина Э. П.

Московский педагогический государственный университет

Korol-k@mail.ru

Лишайники в процессе своей эволюции освоили различные субстраты, естественные и рукотворные. В течение длительного времени основное внимание при изучении флор уделялось лишайникам, произрастающим на субстратах естественного происхождения. Работ, посвящённых исследованию лишайников, которые растут на созданных человеком субстратах, значительно меньше. На территории Крыма подобного анализа не проводили.

Изучен видовой состав лишайников на береговых батареях № 16 и 24, построенных в начале XX в. (строили с 1908 по 1912 г.) для обороны с севера г. Севастополя. Батареи входят в состав форта «Хрулёв» (немецкое название форта — «Шишков»). Батареи расположены между посёлками Учкучевка и Любимовка. В ходе обороны г. Севастополя в 1941–1942 гг. батареи использовались в качестве опорного пункта советской пехоты. Во время наступления фашистов эти батареи подверглись массированному артобстрелу. Во время военных действий в Великой Отечественной войне лишайники были уничтожены. Заселение лишайниками батарей могло начаться только после окончания военных действий. В настоящее время батареи форта не используются.

Лишайники были собраны летом 2020 г. Большая часть образцов собрана с крыш батарей, несколько образцов — со стен. Собирали отколовшиеся в результате естественной эрозии кусочки бетона с наибольшим разнообразием лишайников. На стенах батарей лишайники встречаются, начиная с высоты 2 м и выше; в нижней части стен лишайники отсутствуют. Бетон в нижней и верхней части батарей отличается: визуально в нижней части батарей он выглядит более плотным. Возможно также, что низ батарей красили. Лишайники определяли в лаборатории стандартными методами.

На батареях выявлены лишайники, относящиеся к разным систематическим группам, — виды из семейств Lecanogaceae, Teloschistaceae, Verrucariaceae, Physciaceae, Collemataceae и Aspicillaceae. Все виды из этих семейств, найденные на батареях, имеют накипной таллом. Исключение — *Lathagrium cristatum* (сем. Collemataceae), у которого таллом листоватый. Все найденные виды лишайников широко распространены в Голарктике, встречаются в Крыму, в том числе на Южном берегу Крыма. Среди них есть ксерофиты (виды, приспособившиеся к тёплым и сухим местообитаниям степного пояса) и мезоксерофиты (их распространение связано со степным поясом, но растут они обычно в затенённых местообитаниях, где выше влажность). Известно, что эпилитные лишайники участвуют в биологическом выветривании горных пород. Можно предположить, что поселившиеся на батареях лишайники способствуют отслоению верхних слоёв бетона, то есть очень медленному разрушению сооружений форта.

Биологическая продуктивность растительности болот Западной Сибири

Косых Н. П.

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия

npkosykh@mail.ru

В последнее время большое внимание уделяется изучению болотных экосистем. Болота являются экосистемами, которые обеспечивают постоянный и долговременный сток углерода и накапливают его в виде органического вещества в торфе. В Западной Сибири болотные экосистемы занимают почти 34 % площади. На территории Западной Сибири широкому распространению болот способствуют геоморфологические условия, выровненный характер поверхности и слабая дренированность. Наименьшая заболоченность отмечается на севере Западной Сибири в зоне тундры и на юге в зоне степей [Peregón et al., 2008]. В таёжной зоне заболоченность достигает максимальной величины. Рост торфяников как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении в современных условиях обеспечивается высокой продукцией болотных экосистем при замедленном разложении растительных остатков.

В экосистемах в зависимости от условий среды запасы живой фитомассы могут изменяться в широких пределах — от $770 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ в травяно-моховых олиготрофных фитоценозах до $3300 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ в травяно-моховых эвтрофных сообществах. Самые низкие запасы живой фитомассы характерны для травяно-моховых олиготрофных экосистем. Независимо от того, в какой зоне они расположены, запасы живой фитомассы в них в 3 раза меньше по сравнению с другими растительными сообществами. Основной вклад в запасы фитомассы вносят мхи (до 45 %) и подземные органы (до 50 %); вклад надземных органов трав и кустарничков минимален и не превышает 5 %. Эти экосистемы постоянно находятся в условиях избыточного увлажнения и недостаточного питательного режима, лимитирующих продукцию, что и определяет в них самые низкие запасы живой фитомассы и продукцию. Травяно-моховые мезотрофные и эвтрофные болотные экосистемы формируют максимальные запасы живой фитомассы и продукции. Эти экосистемы находятся в сходных с олиготрофными сообществами условиях водного режима и рельефа. Однако более высокая трофность их местообитаний обеспечивает высокое видовое разнообразие растительного покрова, что в целом приводит к развитию высокопродуктивных сообществ. В исследованных нами экосистемах максимальный запас отмечен в эвтрофных и мезотрофных болотах юга Западной Сибири. В сосново-кустарничково-сфагновых сообществах, которые достигают наибольшего распространения в рядах олиготрофных болот и на грядах грядово-мочажинных болот, запасы живой фитомассы изменяются от 1390 до $2300 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$. В этих экосистемах основной вклад в запас живой фитомассы вносят подземные органы кустарничков. Запасы фитомассы приземного слоя мхов и лишайников достигают 35 %. Вклад трав минимален. Кустарничково-лишайниково-сфагновые сообщества развиваются на мерзлых буграх плоскобугристых болот северной тайги и лесотундры. Запасы живой фитомассы бугров отмечены в пределах 1460 – $3300 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ и формируются в основном за счёт корней кустарничков, мхов и лишайников. В приземном слое, где доминируют мхи и лишайники, запасы фитомассы высоки во всех подзонах, но максимального значения достигают в северной тайге и лесотундре. На буграх надземный слой, сформированный в основном многолетними частями кустарничков и их листьями, снижается до минимального значения. Несмотря на то, что запасы многолетних частей кустарничков уменьшаются здесь в два

раза, запасы листьев кустарничков практически равны или несколько меньше, чем запасы листьев на грядах и в рядах северной, средней и южной тайги.

Продукция растительности в экосистемах болот складывается из прироста следующих фракций растительного вещества: надземной фитомассы (зелёной фитомассы сфагновых мхов, лишайников, трав и кустарничков, однолетних побегов кустарничков) и подземной фитомассы (корней, узлов кущения, корневищ трав и кустарничков). В экосистемах болот продукция в среднем изменяется от 350 до 2400 г·м⁻² в год и определяется трофностью экосистемы и климатом. На высоких элементах рельефа продукция составляет 560–580 г·м⁻² в год. Таким образом, запасы фитомассы и продукция в экосистемах болот определяются биологией доминирующих видов, условиями водно-минерального питания и климатом. На уровне зоны запасы фитомассы и продукция зависят от фитоценоза, трофности и топографии. При недостаточном водно-минеральном питании развиваются экосистемы с олиготрофным типом растительности, для которых характерны малый запас фитомассы и низкая продукция. В экосистемах мезотрофных и евтрофных болот отмечаются максимальные запасы и высокая продукция. На повышенных элементах рельефа в экосистемах гряд, бугров и рядов развиваются средние по запасам и продукции сообщества с преобладанием кустарничковой растительности. В целом с севера на юг повышается величина чистой первичной продукции. Доля подземных органов в продукции максимальна на рядах и в мезотрофных мочажинах, доля продукции мхов — на грядах и в олиготрофных мочажинах.

Влияние гидрометеорологических и гидрохимических факторов на распределение компонентов экосистемы Чёрного моря

Крашенинникова С. Б.¹, Шокурова И. Г.², Минкина Н. И.¹, Самышев Э. З.¹

¹ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

²ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН», Севастополь, Россия

svetlanabk@mail.ru

Исследование пространственно-временной изменчивости компонентов экосистемы и их трофических связей в верхнем фотическом слое в Чёрном море в условиях изменяющихся гидрологических (температура, солёность, градиенты плотности), гидрометеорологических (скорость ветра, «экмановская накачка», прибрежный апвеллинг) и гидрохимических (биогены, поллютанты) факторов является весьма актуальным [Крашенинникова и др., 2019 ; Минкина, 2020]. Кроме того, трофические связи внутри экосистемы и сезонные вариации гидрометеорологических условий приводят к изменениям не только численности, но и видов фитопланктона в течение всего года [Mikaelyan et al., 2018].

В настоящей работе предпринята попытка комплексного подхода к учёту факторов среды, влияющих на основные компоненты экосистемы, такие как фитопланктон, ракообразный эпи- и батипланктон, желетельные организмы. Исследования проводились на примере данных комплексных съёмок, выполненных в марте, мае и июле 1992 г. Также в работе использовались данные атмосферного реанализа ERA-Interim, позволившие учесть наибольшее число факторов среды и наиболее полно проанализировать их влияние на распределение основных компонентов экосистемы. Распределение концентрации биогенных элементов и биомассы фитопланктона сопоставлялось с гидрометеорологическими факторами. Плотностные фронты определялись путём вычисления горизонтальных градиентов плотности морской воды. Плотность рассчитывалась на основе уравнения ЮНЕСКО по данным о температуре и солёности, предварительно интерполированным на регулярную сетку методом оптимальной интерполяции [Гандин, 1963].

По данным комплексных съёмок показано, что распределение биогенных элементов и биомассы фитопланктона хорошо согласуется с пространственно-временной изменчивостью вертикальной экмановской скорости, возникающей за счёт неоднородности поля ветра. Усиление экмановского подъёма вод в марте сопровождалось высокой концентрацией биогенных элементов и, как следствие, высокими значениями биомассы фитопланктона. Высокие концентрации биогенных элементов в июле в основном были обнаружены в центральной и восточной частях моря, где отмечались высокие значения экмановской вертикальной скорости, по величине не уступающие мартовским.

Оценки межгодовой изменчивости вертикальной экмановской скорости показали, что летом в восточной глубоководной части Чёрного моря, в отличие от западной, преобладает подъём вод, обусловленный неоднородностью поля скорости ветра над морем, что может вносить значимый вклад в увеличение продуктивности в этой части моря. По расчётам на основе гидрологических данных получено, что в западной части моря и на северо-западном шельфе присутствует плотностной фронт за счёт стока рек Дунай и Днепр, где наблюдается высокое содержание биогенных элементов.

Работа выполнена в рамках тем государственного задания ФИЦ ИнБЮМ (№ 0556-2021-0003) и ФГБУН ФИЦ МГИ (№ 0555-2021-0002).

Оценка динамики углерода в аридных и семиаридных зонах с помощью модели глобального цикла углерода ВЦ РАН имени А. А. Дородницына

Курбатова А. И.¹, Тарко А. М.², Слабоспицкая А. С.¹

¹Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

²Вычислительный центр имени А. А. Дородницына РАН ФИЦ «Информатика и управление» РАН, Москва, Россия

kurbatova-ai@rudn.ru

Основная цель данного исследования — оценка текущих и будущих изменений углеродных бассейнов экосистем в Иордании при прогнозируемых климатических воздействиях. Воздействие земель и растительности во всей региональной экосистеме на углеродный баланс было оценено в системе атмосфера — растение — почва (АРП) с использованием методов дистанционного зондирования и математического моделирования глобальных углеродных циклов. Оценка растительного покрова Иордании в различных биогеографических зонах страны проводилась с использованием спутниковых снимков с пространственным разрешением 30 м, на основании которых был рассчитан нормализованный индекс разницы растительности (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI). Результаты моделирования показали несколько закономерностей, имеющих место в экосистемах под влиянием выбросов CO₂ и других антропогенных воздействий. Комбинируя значения NDVI с пространственной моделью глобального цикла углерода в системе атмосфера — растения — почва, мы провели оценку зависимости гумуса и биомассы растительности от накопления углекислого газа в атмосфере. Результаты моделирования углерода в гумусе и биомассе за период с 2000 по 2060 г. показали экспоненциальную тенденцию к увеличению; это означает, что способность секвестрации углерода со временем усиливается.

Аридные территории ($0,05 < \text{индекс аридности (ИА)} < 0,2$) составляют около 7 % от всей поверхности суши; фактическое среднее количество осадков по меньшей мере в 20 раз ниже потенциальных потерь влаги на эвапотранспирацию и позволяет поддерживать только минимальную растительность. Если отталкиваться от этих определений, то засушливые районы составляют приблизительно 39–45 % всей поверхности суши.

Экосистемы засушливых земель определяются как регионы, в которых отношение общего годового количества осадков к потенциальной эвапотранспирации (ПЭТ, или индекс засушливости, AI) колеблется от 0,05 до 0,65, и включают засушливые субгумидные регионы (AI 0,50–0,65), охватывающие 9,9 %, полузасушливые районы (AI 0,20–0,50), занимающие 17,7 %, засушливые районы (AI 0,05–0,20), охватывающие 12,0 %, и гиперзасушливые районы (AI 0,05), занимающие 7,5 % площади суши. Эти регионы занимают около 47,2 % площади суши, или около 6,15 млрд га, преимущественно в Северной и Юго-Западной Африке, Юго-Западной и Центральной Азии, Северо-Западной Индии и Пакистане, на Юго-Западе Соединённых Штатов Америки, Мексике, западной части Южной Америки и Австралии. Почвы засушливых земель мира содержат 241 мкг почвенного органического углерода (ПОУ), что примерно в 40 раз больше, чем то, что было добавлено в атмосферу в результате антропогенной деятельности и оценивалось в 6,3 мкг углерода в год в течение 1990-х гг. Кроме того, почвы засушливых земель содержат по крайней мере столько же неорганического углерода, сколько и запасов ПОУ. Управление углеродным стоком в экосистемах засушливых земель может сыграть важную роль в сокращении выбросов углерода.

Скорость обогащения атмосферы CO₂ обусловлена большой площадью территорий; таким образом, эти резервуары углерода в почве засушливых районов оказывают сильное влияние на глобальный цикл углерода. Однако деградация земель и опустынивание широко распространены в данных регионах и часто приводят к выбросам CO₂ в атмосферу.

Страны засушливых регионов сталкиваются с большими трудностями из-за деградации земель, что приводит к утратам в биоразнообразии, к нехватке водных и пищевых ресурсов.

Полузасушливые экосистемы особенно интересны с точки зрения биогеохимического круговорота, ключевыми абиотическими переменными, контролирующими биогеохимические резервуары и процессы (хранение углерода и азота, NPP и динамика обмена питательных веществ), доступностью воды и температуры, так как они меняются во времени и пространстве, а также текстурой почвы, поскольку она меняется в зависимости от ландшафта. Пустыни покрывают значительную часть наземных экосистем. Данные по чистому газообмену CO₂ в пустынях Мохаве и Гурбантунгут (Китай) с использованием метода вихревой ковариации для измерения и расчёта вертикальных турбулентных потоков в пограничных слоях атмосферы предполагают, что пустыни выступают в роли «большого углеродного стока». Поток углерода между почвой пустыни и атмосферой меньше, чем между почвами, богатыми органическими веществами, и атмосферой. Тем не менее следует отметить, что способность накапливать углерод в экосистемах с низким содержанием органических веществ, а именно в засушливых и полузасушливых регионах, ещё недостаточно исследована. Следовательно, данный фактор предопределяет важность изучения поглощения углерода в системе атмосфера — растение — почва в аридных регионах мира.

Возможности применения спектральных индексов для определения степени эвтрофирования водоёмов Кировской области

Кутявина Т. И.¹, Рутман В. В.¹, Ашихмина Т. Я.^{1,2}

¹Вятский государственный университет, Киров, Россия

²Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, Сыктывкар, Россия

kutyavinati@gmail.com

В настоящее время антропогенная эвтрофикация является важнейшим фактором негативного воздействия человеческой деятельности на продуктивность и экологическое состояние водных объектов. При эвтрофикации часто наблюдаются массовое развитие фитопланктона (цветение воды) и зарастание водоёмов макрофитами. Использование данных дистанционного зондирования Земли (далее — ДЗЗ) позволяет обнаруживать массовые скопления фитопланктона и заросли макрофитов в водоёмах [Лаврова и др., 2014 ; Binding et al., 2018], а также оценивать и прогнозировать биопродуктивность водоёма [Чернецкий и др., 2004 ; Пак, Абакумов, 2014].

Для развития региональных алгоритмов диагностики процессов эвтрофирования водоёмов Кировской области методами ДЗЗ нами были проведены расчёты спектральных индексов, наиболее часто применяемых для изучения водных объектов: индексы концентрации хлорофилла *a*, цвета и мутности воды, NDVI, NDWI, NDAI, MCARI. В работе использованы космоснимки, сделанные со спутников Landsat 5 и Sentinel-2, которые размещены в свободном доступе на сайте <https://earthexplorer.usgs.gov/>. В качестве материала для дешифрирования данных ДЗЗ задействованы следующие каналы спутников: синий (BLUE), дальний инфракрасный (SWIR), зелёный (GREEN), красный (RED) и ближний инфракрасный (NIR). По рассчитанным значениям спектральных индексов в программном продукте QGIS построены индексные изображения и составлены относительные шкалы для каждого индекса. Для подтверждения и корректировки данных дешифрирования снимков использовали результаты биоиндикационных исследований, батиметрической съёмки, альгологического и химического анализов воды из четырёх крупнейших водохранилищ Кировской области, полученные во время наземных полевых наблюдений на водоёмах.

Индекс концентрации хлорофилла *a* и NDAI успешно применены для обнаружения участков массового развития фитопланктона в Белохолуницком, Омутнинском, Большом Кирсинском и Чернохолуницком водохранилищах Кировской области. Отмечено, что участки цветения воды, выделенные на индексных изображениях по максимальным значениям индексов концентрации хлорофилла *a* и NDAI, совпадают с участками, для которых характерны высокие значения индекса мутности. Учитывая, что главной причиной повышенной мутности и цветности водных масс часто является массовое развитие фитопланктона [Тихомиров и др., 2016], индекс мутности воды можно использовать как косвенный признак массового развития фитопланктона в водоёмах Кировской области. Применение MCARI позволило чётко отделить водные пространства от суши и выделить надводную растительность в акваториях изучаемых водоёмов. С помощью NDVI наиболее точно, по сравнению с другими индексами, определены границы изучаемых водохранилищ, участки цветения воды и зарастания акваторий макрофитами. Данные, полученные методами ДЗЗ, согласуются с данными, полученными при проведении наземных полевых исследований, и могут быть использованы для определения степени эвтрофирования водоёмов Кировской области.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых учёных — кандидатов наук (МК-5830.2021.1.5).

Методические подходы к организации комплексных исследований крупных эстуарных экосистем на примере Обской губы

Лапин С. А.

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), Москва,
Россия
sal58@mail.ru

Крупные эстуарные экосистемы являются сложноорганизованными водными объектами, функционирование которых определяется значительным количеством действующих факторов. В рамках данной системы выделяются морские и пресноводные водные массы, между которыми в большой акватории происходит их постоянное взаимодействие. Исследование таких экосистем привлекает специалистов — океанологов и гидрологов суши, методические подходы которых настолько разнятся, что зачастую создаётся ощущение, что исследуются различные объекты. Кроме того, большая протяжённость объекта исследований, его удалённость от каких-либо коммуникаций и природная труднодоступность значительную часть года приводят к тому, что большинство работ носят дискретный характер как в части исследованной акватории, так и в части освещённости сезонных изменений. Всё это приводит к серьёзным ошибкам в последующем анализе. Нельзя не упомянуть и о политико-экономических аспектах проблемы. Дорогостоящие полевые работы в последние годы проводятся преимущественно в рамках так называемого производственно-экологического мониторинга по заказу компаний, которые связаны с эксплуатацией природных богатств, разрабатываемых в рамках экосистемы. Результаты таких работ, являясь собственностью заказчика, публично не доступны; соответственно, нет возможности ни оценить качество исследований, ни пополнить научную копилку данных. Вывод неутешителен: проводимые исследования часто бессистемны, однако даже их итоги, как правило, малодоступны. Преодолеть данный казус сложно, но к этому необходимо стремиться. Наиболее доступный путь в этом направлении — методическая осмысленность исследований.

Рассмотрим функционирование эстуарной системы на примере Обской губы. Гигантский водоём меридиональной протяжённостью в 800 км и шириной от 30 до 90 км является завершающей компонентой не менее гигантского Обского бассейна площадью около 3 млн км². Объём губы превышает 400 км³ и соизмерим со среднегодовым стоком из неё, оцениваемым в 530 км³. Обская губа представляет собой затопленную долину древней Оби и подобна водохранилищу многолетнего регулирования, существенно трансформирующему поступающий в неё речной сток.

Южная часть губы до траверса мыса Трёхбугорный (в месте слияния с Тазовской губой) круглогодично пресноводна; в северной её части (в месте расширения над обским баром) постоянно располагается клин солёных вод Карского моря, который с момента завершения периода открытой воды (июль — октябрь) испытывает в зимнее время ежегодные перемещения на юг. Максимально в зафиксированном случае это расстояние составляет около 300 км до уже упомянутого мыса Трёхбугорный. Акватория Обской губы весьма неоднородна, её характеристики сильно изменчивы как в продольном, так и в поперечном измерении. Особенно изменчива фронтальная зона взаимодействия солёных и пресных вод. Характер этого взаимодействия зависит от многих обстоятельств: водности текущего и предшествующего годов, особенностей местных и глобальных метеорологических условий, специфики батиметрии дна и приливно-отливных воздействий.

Все эти факторы, постоянно взаимодействуя, определяют текущую достаточно динамичную картину. Соответственно упомянутым физическим факторам среды меняются её гидрохимические, биохимические, а следом и гидробиологические параметры.

Приведённый весьма беглый и поверхностный анализ эстуарной экосистемы Обской губы имел своей целью показать, насколько малоинформативным, путаным, а зачастую и откровенно ошибочным может быть анализ процессов в губе на базе представлений о ней как о морском заливе, посредством данных с небольшого количества дискретных станций, взятых, например, по середине губы в её северной части. Далее данные этих станций, собранные в многолетние ряды, становятся основой для моделирования с предсказуемым результатом. Такой подход ещё в какой-то степени можно считать возможным для относительно однородной среды, но никак не для Обской губы, главной чертой которой является исключительная акваториальная изменчивость.

Из всего вышесказанного логично вытекают следующие предложения по организации комплексных исследований больших эстуарных систем:

1. Планирование исследований должно базироваться на всестороннем анализе режимных особенностей объекта с обязательным учётом сезонной специфики.
2. Сетка станций должна покрывать большую часть акватории, обязательно включая в себя русловые и морские ложбины. Их густота не самоцель, а необходимость осветить все аспекты функционирования объекта, особенно в области фронтальной зоны.
3. Важнейшим моментом съёмки является готовность к внесению оперативных изменений в предварительно утверждённый план, если такая необходимость становится очевидной по результатам получаемой в ходе экспедиции информации.

Отдельная тема — объём параметров комплексной съёмки. Он должен быть сбалансированным, так как перегрузка избыточными исследованиями порождает сумбур и резко снижает качество всей работы. Базовые исследования по сетке станций должны включать зондирование водной толщи от поверхности до дна (минимально температура — солёность). Далее по его результатам назначаются горизонты отбора проб на гидрохимический анализ (кислород и основные биогенные элементы). Минимальное количество горизонтов — у поверхности и дна в пресноводной части; в контактной области добавляется третий горизонт — над слоем скачка. Завершаются работы на комплексной станции отбором проб на фито-, зоопланктон и бентос. На отдельных выбранных станциях дополнительно отбираются пробы для определения хлорофилла *a* и первичной продукции. При необходимости возможен забор проб на токсикологические параметры (минимально фенол и нефтепродукты). Важно отметить, что весь объём гидрохимических исследований необходимо делать в лаборатории на борту. Часто применяемые сегодня варианты замораживания проб с последующей их обработкой в стационарных лабораториях на берегу в лучшем случае сильно снижают качество работ, а зачастую делают всю трудоёмкую работу напрасной.

Утяжелять набор исследований выше предложенного нецелесообразно, так как это делает съёмку сильно затянутой, и стремление к квазидномоментности исследований быстроменяющейся среды становится всё более иллюзорным.

Понятно, что возможность проведения крупномасштабной съёмки представляется нечасто, но тем более важно максимально использовать открывающиеся редкие возможности.

Учесть очень важные сезонные аспекты, особенно в зимний период, могут помочь долговременные автоматические станции, устанавливаемые на дне. Такой опыт уже есть.

Как упоминалось ранее, большинство полевых исследований инициируется производственными компаниями в непосредственной близости от мест своего воздействия на объект. В этой связи крайне важно объединять усилия различных мониторинговых экспедиций разных компаний в одну совместную программу. К сожалению, это пока не удаётся, что сильно снижает общий КПД от вложенных средств, а ведомственная разобщённость и принадлежность полученных данных делают исследования малоэффективными.

Структура фитопланктона Чёрного моря в весенний период

Ли Р. И.¹, Сысоева И. В.¹, Сысоев А. А.¹, Латушкин А. А.²

¹ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

²ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН», Севастополь, Россия

raisa-lee@yandex.ru

Фитопланктонное сообщество имеет большое значение для функционирования экосистемы Чёрного моря и является энергетическим фундаментом, на котором базируется вся остальная пищевая надстройка. Фитопланктон состоит из множества микроскопических водорослей — представителей различных отделов. От качественных и количественных изменений этих водорослей зависит развитие организмов других трофических уровней. Это приводит к необходимости продолжения изучения структуры и видового состава, а также их количественных изменений. На протяжении многих лет ведутся исследования фитопланктона в глубоководных и прибрежных районах Чёрного моря [Морозова-Водяницкая, 1948, 1950, 1957 ; Белогорская, Кондратьева, 1961, 1965 ; Суханова и др., 1980, 1987, 1988 ; Микаэлян и др., 1992, 2007, 2011 ; Георгиева, Сеничкина, 1996 ; Stelmakh, Georgieva, 2014 ; Stelmakh, Gorbunova, 2019 ; Финенко и др., 2021]. Известно, что наибольшее видовое разнообразие фитопланктона отмечено поздней осенью и в начале зимы. Максимальная численность и биомасса наблюдались в весенний период. Видовой состав, численность и биомасса фитопланктона характерны для каждого сезона и не повторяются, так как зависят от абиотических факторов — температуры воды, а также гидрологических и гидрохимических условий.

Цель работы — изучение видового разнообразия и количественных характеристик фитопланктона Чёрного моря в весенний период.

Исследование основано на материалах, собранных в экспедициях на НИС «Профессор Водяницкий» в апреле 2016 г. и в период 28 марта — 4 апреля 2017 г. вдоль 12-мильной зоны Крымского побережья в поверхностном слое вод Чёрного моря от Каркинитского залива до Керченского пролива.

Весной 2016 г. в пробах фитопланктона определены 81 вид и внутривидовой таксон, которые относились к отделам: Miozoa (динофитовые водоросли, 46 %), Bacillariophyta (36 %), Haptophyta (8 %), Ochrophyta (3 %), Chlorophyta (3 %), Euglenophyta (1 %), Cercozoa (1 %) и Eukaryota unassigned phylum (1 %). Доминирующими видами по биомассе и численности были: динофитовые водоросли (*Gymnodinium variable* E. C. Herdman, 1924, *Fthalacroma rotundatum* (Claparède & Lachmann) Kofoid & J. R. Michener, 1911, *Scrippsiella acuminata* (Ehrenberg) Kretschmann, Elbrächter, Zinssmeister, S. Soehner, Kirsch, Kusber & Gottschling, 2015, *Prorocentrum bidens* J. Schiller, 1928, *Tripos muelleri* Bory, 1826, *Tripos furca* (Ehrenberg) F. Gómez, 2013, *Protooperidinium crassipes* (Kofoid) Balech, 1974, *Protooperidinium divergens* (Ehrenberg) Balech, 1974, *Protooperidinium pallidum* (Ostenfeld) Balech, 1973); диатомовые водоросли (*Chaetoceros curvisetus* Cleve, 1889, *Chaetoceros insignis* Müller Melchers, 1955, *Dactyliosolen fragilissimus* (Bergon) Hasle in Hasle & Syvertsen, 1996, *Pseudo-nitzschia delicatissima* (Cleve) Heiden in Heiden et Kolbe 1928, *Pseudo-nitzschia seriata* (Cleve) H. Peragallo in H. Peragallo & M. Peragallo, 1899) и гаптофитовая водоросль (*Emiliania huxleyi* (Lohmann) W. W. Hay & H. P. Mohler in W. W. Hay & al., 1967). Средняя общая биомасса микроводорослей составила 94,4 мг·л⁻¹, средняя численность — 38440 кл·л⁻¹. Температура воды на станциях изменялась от +10 до +12,4 °С.

В весеннем фитопланктоне 2017 г. присутствовали 70 видов и разновидностей планктонных водорослей из 8 отделов: Miozoa (54 %), Bacillariophyta (32 %), Ochrophyta (4,5 %), Haptophyta (3 %), Chlorophyta (1,5 %), Cercozoa (1,5 %), Cryptophyta (1,5 %) и Euglenophyta (1,5 %). Наибольший количественный вклад в суммарную биомассу и численность в этот сезон года внесли динофитовые водоросли (*Gonyaulax minima* Matzenauer, 1933, *Protoperdinium brevipes* (Paulsen) Balech, 1974, *Scrippsiella acuminata*, *Protoperdinium pellucidum* Bergh, 1881 и *Tripos muelleri*) и диатомовые водоросли (*Hyalodiscus ambiguus* (Grunow) Tempère & Peragallo, 1889, *Chaetoceros affinis* Lauder, 1864, *Chaetoceros curvisetus* и *Coscinodiscus jonesianus* (Greville) Ostefeld, 1915). Средние значения биомассы и численности в ранневесенний период составили 77,47 мг·л⁻¹ и 24320 кл·л⁻¹. Температура воды варьировала от +7,7 до +9,3 °С.

Таким образом, в весенний период 2016 и 2017 гг. в фитопланктонном сообществе Чёрного моря было идентифицировано 126 видов водорослей, принадлежащих к 9 отделам, 14 классам, 36 порядкам, 56 семействам и 71 родам. Коэффициент флористического сходства Чекановского — Сёренсена составил 0,62. Наибольший вклад в видовое богатство и количественные показатели внесли динофитовые водоросли. Весенний период 2016 г. охарактеризован большим видовым разнообразием; значения численности и биомассы также были выше, чем в 2017 г. Одна из причин таких отличий, возможно, связана с температурой воды: апрель 2017 г. характеризуется самой низкой температурой поверхностного слоя воды Чёрного моря за последние десять лет.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по темам «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом» (№ 121041400077-1) и «Структурно-функциональная организация, продуктивность и устойчивость морских пелагических экосистем» (№ 121040600178-6) и государственного задания ФИЦ МГИ по теме «Оперативная океанология» (№ 0827-2018-0002).

Оценка динамики характеристик дождевых паводков и водности в бассейнах рек Касмала и Майма в летне-осеннюю межень

Лубенец Л. Ф.¹, Черных Д. В.^{1,2}, Коломейцев А. А.¹

¹Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия

²ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет», Барнаул, Россия

lilia_lubenets@mail.ru

Для рек со значительной долей снегового питания и ярко выраженным весенним половодьем гидрологический год принято делить на три сезона — многоводный (весенний) и два маловодных (летне-осенний, следующий за весенним половодьем, и зимний) [Владимиров, 1990 ; Волчек, Грядунова, 2010 ; Методические..., 2005 ; Чеботарев, 1978].

Летне-осенняя межень характеризуется наличием относительно малых, устойчивых по величине расходов воды [Волчек, Грядунова, 2010]. Водность рек, у которых отсутствует ледниковое питание, в этот период напрямую связана с количеством и временем выпадения обильных осадков. Дождевые паводки являются важной характеристикой режима стока таких рек и могут вызывать опасные гидрологические явления. Большое значение имеет также температура воздуха, определяющая фазовое состояние осадков. В Алтайском регионе, к примеру, в 2014 г. необычно высокая июньская температура воздуха способствовала интенсивному притоку талых вод из средней полосы гор, но главным образом продолжительные ливни обусловили проявление экстремальной гидрологической ситуации.

В качестве модельных определены два речных бассейна — Касмалы и Маймы. Бассейн реки Касмала полностью расположен в пределах южно-лесостепной подзоны Западно-Сибирской равнины. Река Майма дренирует территорию северной периферии Алтая, а бассейн её не выходит за пределы лесостепных и лесных низкогорий. Близкие зональные условия теплообеспеченности, но различия в геолого-геоморфологическом строении и эволюции ландшафтов обуславливают идеальные возможности для сравнительных оценок с целью анализа колебаний характеристик дождевых паводков и многолетней динамики водности рек Касмала и Майма как основы для диагностики возникновения опасных гидрологических явлений на юге Западной Сибири в летне-осеннюю межень.

Исследование ограничивалось периодом 1998–2017 гг., и в ходе него решались следующие задачи:

- характеристика динамики летне-осенней межени (сроки и продолжительность) на реках Касмала и Майма за рассматриваемый период;
- анализ параметров, характеризующих атмосферные осадки и паводки на модельных объектах во время летне-осенней межени;
- определение модульных коэффициентов стока рек и характеристика многолетней динамики их водности в летне-осеннюю межень.

Летне-осенняя межень на реке Касмала обычно наступает в третьей декаде мая (26 % случаев за весь период), первой (53 %) или второй (4 %) декадах июня. Средняя дата наступления летне-осеннего сезона — 1 июня. Заканчивается летне-осенняя межень в третьей декаде октября (35 %), первой (45 %) или второй (10 %) декадах ноября, единично — в первой декаде октября (2013 г.)

и в третьей декаде ноября (2002 г.). Средняя дата окончания сезона за весь рассматриваемый период — 30 октября.

На реке Майма летне-осенняя межень начинается раньше, чем на реке Касмала, — в мае; чаще всего это вторая декада (40 %), третья (45 %), реже первая (10 %). Средняя дата наступления — 20 мая. Окончание межени происходит во вторую (10 %) и третью (35 %) декады октября, первую (30 %) и вторую (25 %) декады ноября. Средняя дата окончания за весь рассматриваемый период — 1 ноября.

За период 1998–2017 гг. продолжительность летне-осенней межени на реке Касмала в среднем составляет 156 дней и имеет неочевидную тенденцию к сокращению. Это происходит как за счёт незначительного смещения дат начала сезона в сторону более поздних сроков, так и за счёт более раннего окончания сезона.

Продолжительность летне-осенней межени на реке Майма в среднем больше, чем на реке Касмала, — 169 дней. Она имеет тенденцию к увеличению к концу рассматриваемого периода, причём на более ранние сроки смещаются даты начала, а на более поздние — даты окончания.

На рассматриваемых реках летне-осенняя межень осложняется дождевыми паводками. На реке Касмала среднее количество таких паводков — 5, на реке Майма — 10. Линейный тренд количества паводков за рассматриваемый период для обеих рек нисходящий. При этом продолжительность фазы дождей за сезон на реках обнаруживает тенденцию к росту. В среднем на Касмале дожди идут 81 день, на Майме — 100 дней. Таким образом, на реках отмечается общая тенденция: количество паводков становится к концу рассматриваемого периода меньше, а продолжительность их — больше.

С другой стороны, в динамике таких показателей, как сумма осадков и слой дождевого стока за летне-осеннюю межень, на рассматриваемых реках обнаруживаются противоположные тенденции. На равнинной Касмале оба показателя (в среднем 210 мм и 0,71 мм соответственно) к концу рассматриваемого периода снижаются, а на низкогорной реке Майма (в среднем 480 мм и 41 мм соответственно) значения возрастают. Низкие значения коэффициента стока за летне-осеннюю межень на Касмале вполне объяснимы. Во-первых, современная долина реки Касмала наследует древнюю одноименную ложбину стока. Ширина последней намного превосходит ширину современной долины. Так как ложбина древнего стока сложена песками, подавляющая часть атмосферных осадков, попадая на земную поверхность, не стекает, а просачивается через толщу песков, пополняя горизонты подземных вод. Во-вторых, большинство притоков Касмалы перегорожены дамбами, и значительную часть года они практически не имеют стока.

Водность обеих рек в летне-осеннюю межень имеет тенденцию к увеличению. На Касмале из 20 анализируемых лет к многоводным отнесены 6, к маловодным — 3. На Майме выделяются 4 многоводных сезона и 2 маловодных. Межень 1998 г. была маловодной, а 2013 г. — многоводной на обеих реках. Для периода 1998–2009 гг. характерны более высокие значения водности реки Касмала по сравнению с водностью реки Майма; для периода 2010–2017 гг. наблюдается обратная ситуация. Увеличение слоя стока и коэффициента водности на Майме обусловлено увеличением количества осадков в бассейне за сезон. На Касмале при неизменности количества осадков коэффициент водности и слой стока постепенно уменьшаются. Кроме того, выделяется период синхронного падения коэффициента водности на обеих реках с 2005 по 2012 г. с некоторым повышением водности в 2009 и 2010 гг. Интересно то, что в первой части периода коэффициенты водности на реке Касмала выше, чем на реке Майма, а во второй — наоборот.

Таким образом, результаты проведённой в период 1998–2017 гг. оценки динамики характеристик дождевых паводков и водности рек Касмала и Майма в летне-осеннюю межень показали следующее:

1. Продолжительность летне-осенней межени на Касмале меньше (156 дней), чем на Майме (169 дней), и на Касмале к концу периода имеет неочевидную тенденцию к сокращению, а на Майме — к увеличению.
2. На рассматриваемых реках отмечается общая тенденция: количество паводков к 2017 г. уменьшается, а продолжительность их увеличивается.
3. В рассматриваемом регионе продолжительность и интенсивность периода дождей непосредственно влияют на водность рек в летне-осеннюю межень. Как правило, в годы, для которых были отмечены продолжительные периоды без дождей, также выделялись маловодные летне-осенние межени в обоих бассейнах.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института водных и экологических проблем СО РАН (№ 1021032422891-7).

К вопросу о структуре агроэкосистем

Лунева Н. Н.

Всероссийский институт защиты растений, Пушкин, Россия

natalja.luneva2010@yandex.ru

Одним из видов наземных экосистем являются агроэкосистемы, масштаб которых может определяться теплицей, полем или территорией сельскохозяйственного предприятия [Зубков, 1995 ; Зейналов, Чурилина, 2012]. Одни исследователи считают, что целостная агроэкосистема формируется на уровне севооборота, подразумевая под этим только совокупность контуров полей, на которых культуры сменяют друг друга [Марков, 1978 ; Зубков, 1982, 1992 ; Шпанев, 2013]; другие же полагают, что агроэкосистема не ограничивается сеgetальными местообитаниями (полями), а включает и другие прилегающие сельскохозяйственные угодья и лесополосы [Бодренков, 1970 ; Бусарова, 2006]. Существует подход, связывающий агроэкосистему с агроландшафтным уровнем [Новожилов, 1996, 1997 ; Павлюшин, Воронин, 2004, 2007], который включает всё разнообразие земель сельскохозяйственного назначения.

Агроландшафт представляет собой изменённый сельскохозяйственной деятельностью природный ландшафт, включающий не только территорию пахотных земель, но и все местообитания, предназначенные для организации деятельности, которая направлена на производство сельскохозяйственной продукции [Николаев, 1987, 1999]. Под агроэкосистемой понимается экосистема агроландшафта, включающая агрофитоценозы (растительные сообщества пахотных земель) и фитоценозы синантропные (растительные сообщества рудеральных местообитаний, молодых залежей и маловозрастных посевов многолетних кормовых трав) и синантропизированные (растительные сообщества на пастбищах, старых залежах и в старовозрастных посевах многолетних трав) [Миркин и др., 2003]. Общей чертой этих растительных сообществ является то, что они формируются на разных типах вторичных местообитаний, то есть местообитаний с нарушенным растительным и почвенным покровом, что является фактором, определяющим и объединяющим все сорные растения [Лунева, 2018].

Агроэкосистема характеризуется теми же свойствами, что и естественная (природная) экологическая система [Харт, 1987], и в её структуре возможно выделение разных уровней. В масштабе региона или области (макроуровень) формируется агроэкосистема крупного агроландшафтного комплекса [Жученко, 1990], вписывающегося в границы природного ландшафта региона (области). Она включает совокупности сорных растений всех упомянутых выше местообитаний на всей территории региона (области). Являясь производным природного ландшафта, выделяемого на основе геолого-морфологических и природно-климатических факторов, агроландшафт также подчиняется этому принципу [Латыпова, 2016], и его подразделения вписываются в границы подразделений природных ландшафтов. Поэтому понятию агроландшафтов более мелкого масштаба, чем область (мезоуровень), соответствуют выделяемые в пределах областей на основе природно-климатических факторов агроклиматические районы [Журина, 2002]. Агроэкосистема мезоуровня включает все растительные сообщества вторичных местообитаний, расположенных в пределах агроклиматического района. Элементарная агроэкосистема соответствует уровню элементарного агроландшафта, которым является агроландшафт отдельного сельскохозяйственного предприятия, и включает совокупность агрофитоценозов и фитоценозов всех вторичных местообитаний, расположенных в его пределах. Таким образом, трёхуровневая система агроландшафтов

включает трёхуровневую систему агроэкосистем, а совокупности агрофитоценозов и фитоценозов на трёх уровнях (макро-, мезо-, микро-) представляют собой фракталы [Миркин и др., 2003], то есть самоподобные системы, где каждый фрагмент дублируется в уменьшающемся масштабе [Гелашвили и др., 2013].

Подход к сорным растениям как к растениям вторичных местообитаний с нарушенным растительным и почвенным покровом [Лулева, 2018] не только значительно расширяет группу сорных растений (включая в неё не только растения полей), но и позволяет объединить их и выделить из региональной флоры особый экологический элемент [Камелин, 2017] — сорную флору [Лулева, 2020, 2021]. Границы флоры определяются границами природных ландшафтов, а границы сорной флоры описываются границами агроландшафтов. С другой стороны, дифференциация агроландшафтов обуславливает выделение уровней агроэкосистем. Следовательно, иерархические подразделения сорной флоры являются производными от подразделений агроэкосистем и агроландшафтов. Вот почему критерием выделения уровней фитосанитарного районирования в отношении сорных растений является разноуровневая структура сорной флоры [Лулева, 2020]. Формирование агроландшафтов, агроэкосистем и сорной флоры обусловлено совместным влиянием как природных, так и антропогенных факторов, поэтому учёт равноценного и незаменимого их воздействия является принципом фитосанитарного районирования в отношении сорных растений.

Выделение и характеристика уровней фитосанитарного районирования — это выделение и описание трёх уровней двух групп фракталов. Первая группа фракталов — агрофитоценозы — на макроуровне формируется из видов региональной сорной флоры в виде сегетальной флоры региональной (областной) агроэкосистемы, которая, в свою очередь, распадается на несколько сегетальных флор агроэкосистем агроклиматических районов, каждая из которых, в свою очередь, распадается на несколько сегетальных флор элементарных агроэкосистем, соответствующих отдельному сельскохозяйственному предприятию. Каждый подуровень сегетальной флоры складывается из территориальной совокупности видов сорных растений каждого подуровня, приуроченных к территории полей. Аналогичная картина складывается и во второй группе фракталов — фитоценозах.

Всегда был актуальным вопрос о выделении агроэкосистемы нижнего уровня, и, как было сказано выше, он решался по-разному: агроэкосистемой считалось и поле, и севооборот. Однако с принятием подхода к агроэкосистеме как к экосистеме агроландшафта, решение становится однозначным: понятию элементарного агроландшафта (и элементарной агроэкосистемы), включающего в состав своей территории не только сегетальные местообитания (поля), но и все другие типы вторичных местообитаний, предназначенные для осуществления действий, которые направлены на получение продукции, отвечает территория отдельного сельскохозяйственного предприятия. Кроме того, как сегетальная, так и рудеральная флоры отдельного сельскохозяйственного предприятия имеют структуру, аналогичную структуре таковых флор агроклиматического района, в который входит это предприятие территориально, а совокупность сорных растений отдельного поля или отдельного рудерального местообитания такой структуре не соответствует [Лулева, 2020]. Совокупность полей севооборота, объединяя лишь агрофитоценозы, представляет только сегетальную флору, а в структуру агроэкосистемы должна входить также сорная флора, складывающаяся из видов сорных растений и других вторичных местообитаний [Миркин и др., 2003].

Обращение к структуре сорной флоры на разных уровнях агроэкосистем, базирующейся на разных уровнях агроландшафтов, объясняет стабильность присутствия видов сорных растений на этих территориях, поскольку агрофитоценозы, состав которых определяется возделываемой культурой и технологией её возделывания, а также фитоценозы, складывающиеся под воз-

действием антропогенных факторов, формируются из видов сорной флоры, которая стабильна в каждом регионе. На этом зиждется разработка многолетнего и долгосрочного прогноза распространения сорных растений для региона, агроклиматического района и отдельного хозяйства [Лулева, 2019] как в целом, так и для групп культур (сплошного сева и пропашных) [Лулева, 2020] и отдельных культур.

Мониторинг состояния эндемичной спонгиофауны озера Байкал в условиях массовой эпизоотии в местах с разной антропогенной нагрузкой

Майкова О. О., Букшук Н. А., Кравцова Л. С., Небесных И. А., Ханаев И. В.

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

maikova@lin.irk.ru

В последнее десятилетие стали очевидны изменения в структуре бентосных сообществ Байкала. Большинство изменений носят локальный характер и привязаны к населённым пунктам в прибрежной зоне. С 2010 г. всё чаще и чаще в Байкале стали встречаться больные губки.

Для мониторинга состояния спонгиофауны в 2015 г. нами были организованы на дне Байкала трансекты, вдоль которых проводятся наблюдения, сбор и анализ больных губок, анализ проективного покрытия дна больными и здоровыми губками. Мы показали, что губки болеют по всему Байкалу, но степень и интенсивность заболеваний разная в зависимости от районов озера и глубин. Процент проективного покрытия дна больными и здоровыми губками изменяется по котловинам. В южной котловине количество больных губок относительно здоровых (1 м²) варьировало от 22,3 до 51,4 %, в центральной — от 8,4 до 11 %, в северной — от 8,5 до 11 %. На примере залива Лиственничный видно, что антропогенный фактор существенно усугубляет ситуацию. Здесь поражение ветвистых губок составляло 100 %, корковых — до 50 %, глобульных — до 38 % [Khanaev et al., 2018]. В этой работе акцент сделан на сравнении динамики изменения проективного покрытия дна здоровыми и больными губками в двух местах, кардинально отличающихся по уровню антропогенной нагрузки. Для сравнения взяты два места — антропогенно неблагоприятный залив Лиственничный (трансекты № 9–11) и возле мыса Елохин (трансекта № 7), где влияние человека минимально.

За период с 2016 по 2020 г. собрано и проанализировано в заливе Лиственничный (трансекты № 9–11) 208 образцов больных губок, в районе мыса Елохин (трансекта № 7) — 132 образца. В выборке поражённых губок, собранных в заливе Лиственничный, идентифицировано 10 видов, а в выборке собранных в районе мыса Елохин — 7 видов. Видовой состав поражённых губок на 91–70 % соответствует перечню описанных ранее в данных местах видов. Из обитающих в районе Елохина видов губок в выборке поражённых особей отсутствовали *Baikalospongia martinsoni*, *B. recta* и *Swartschewskia papyracea*. В заливе Лиственничный в выборке больных губок отсутствовал вид *Rezinkovia echinata*. К наиболее массовым видам губок в Байкале относятся *B. bacillifera*, *B. intermedia* и *Lubomirskia baicalensis*, и мы наблюдаем их преобладание в выборках больных губок. Меньшее количество *L. baicalensis* в выборке больных губок в заливе Лиственничный (12 %) по сравнению с таковым из Елохина (42 %) объясняется тем, что на момент начала мониторинга в 2015 г. в заливе Лиственничный численность *L. baicalensis* уже была значительно снижена из-за её массового заболевания и гибели [Khanaev et al., 2018]. К достаточно распространённым видам ещё относятся *L. abietina*, *L. incrustans* и *S. papyracea*. Если *L. abietina* в выборках больных губок тоже представлена достаточно хорошо (10–22 %), то образцов *L. incrustans* и *S. papyracea* очень мало или вообще нет, что может свидетельствовать об их меньшей подверженности заболеваниям или даже об относительной устойчивости к ним. Отсутствие видов *B. martinsoni*, *B. recta* и *R. echinata* в выборках больных губок связано с их малочисленностью.

Во обеих точках сбора обнаружены все 5 типов поражения. Три типа поражения — биоплёнка, некроз и пятна — встречены у 24–32,5 % особей в обоих исследованных местах. Обесцвечивание обнаружено у 31 особи (23,5 %) возле мыса Елохин по сравнению с 4 (2 %) в заливе Лиственничный, причём из этой 31 обесцвеченной особи 22 принадлежат ветвистой губке *L. baicalensis*, тогда как в заливе Лиственничный этого вида с обесцвечиванием вообще не было, а были в основном с некрозом (18 особей) и биопленкой (20 особей). Объяснить всё можно тем, что, по нашим наблюдениям, обесцвечивание достаточно быстро переходит в некроз и ведёт к гибели особи; скорее всего, этот процесс в заливе Лиственничный гораздо быстрее, чем возле Елохина. Налёт преобладает в заливе Лиственничный: здесь он обнаружен у 64 особей (31 %) по сравнению с 17 особями (13 %) возле Елохина.

Проективное покрытие дна губками измерялось с учётом форм тела, а не видов губок, поскольку виды определить визуально под водой невозможно. Для видовой идентификации необходимо проводить морфологический анализ в лаборатории. Все виды байкальских эндемичных губок представлены в виде корковой, глобульной или ветвистой формы тела.

Площадь проективного покрытия дна неповреждёнными губками корковой формы в районе мыса Елохин сократилась в 3,4 раза (с 26 до 3,4 %), а в заливе Лиственничный — в 2,7 раза (с 3,4 до 1,25 %). Площадь покрытия неповреждёнными губками ветвистой формы в районе Елохина сократилась в 2 раза (с 1,26 до 0,6 %), тогда как в заливе Лиственничный — в 5 раз (с 0,5 до 0,1 %). Проективное покрытие губками глобульных форм в районе мыса Елохин сократилось в 5,5 раза (с 2,73 до 0,5 %), а в заливе Лиственничный сокращение таковых не обнаружено, правда при очень низких значениях (0,5–0,6 %). При этом на фоне сокращения проективного покрытия дна неповреждёнными губками рост процента повреждённых наблюдается только для корковых форм в районе мыса Елохин (в 1,5 раза). Для остальных форм губок как в заливе Лиственничный, так и в районе мыса Елохин процент поражённых губок либо снизился (в 3 раза для корковых в заливе Лиственничный), либо не изменился.

Таким образом, мы наблюдаем значительное сокращение площади проективного покрытия дна неповреждёнными губками как в месте, испытывающем сильную антропогенную нагрузку (залив Лиственничный), так и в месте, где её практически нет (мыс Елохин). Однако мы можем с уверенностью говорить, что в заливе Лиственничный деградация спонгиофауны произошла за более короткий промежуток времени и сильнее. Наиболее подвержены всем типам поражений самые массовые виды (*L. baicalensis*, *B. intermedia* и *B. bacillifera*), при этом можно говорить о катастрофическом сокращении численности единственного в Байкале ветвистого вида — *L. baicalensis*. Мы предполагаем, что уже произошёл существенный сдвиг в видовом разнообразии байкальских эндемичных губок.

Работа проведена при поддержке гранта РФФИ № 19-04-00787 (рук. — Майкова О. О.)

Термохалинные характеристики и пространственное распределение хлорофилла *a* в Карском море

Макаревич П. Р.¹, Водопьянова В. В.^{1*}, Булавина А. С.¹, Махотин М. С.²

¹Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, Россия

²Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

vodopyanova@mmbi.info

Одной из важнейших гидрологических структур Карского моря является поверхностный опреснённый слой (далее — ПОС). В зависимости от преобладающих в определённый период времени гидрологических и метеорологических процессов распространение опреснённых вод может происходить по трём различным сценариям: западному, центральному или восточному. При западном типе распространения слой опреснённых вод достигает восточного побережья арх. Новая Земля; при центральном опреснённые воды проникают далеко на север; при восточном речные воды вдоль берега переносятся на восток, достигая арх. Северная Земля, и выносятся в море Лаптевых. Мощность опреснённого слоя варьирует от 5 до 20 м. Изучение продукционного потенциала и содержания хлорофилла *a* в Карском море ведётся с 1980-х гг., однако эффект, оказываемый на фитопланктонное сообщество возможными сценариями распространения ПОС, в достаточной степени не изучен.

Целью исследования являлось определение направления распространения ПОС в Карском море в период изысканий и степени его воздействия на пространственное распределение хлорофилла *a*.

Научные изыскания в Карском море проводились в августе — сентябре 2013 г. в ходе экспедиции «Ямал — Арктика — 2013». В открытом море было выполнено 3 широтных разреза, включающих 48 гидрологических станций, а также 45 станций в заливах Карского моря и на выходе из них. Пробы на хлорофилл отобраны на 43 станциях. Отбор морской воды и обработку проб проводили по стандартным гидробиологическим методикам. Концентрацию хлорофилла *a* (Схл) определяли спектрофотометрическим методом. Температуру (Т, °С) и солёность (S, PSU) водных масс устанавливали с помощью STD-зонда SBE 19plus.

В период исследований в Карском море наблюдалось распространение ПОС по центральному типу, преимущественно на север. По изогалине 25 PSU была проведена граница ПОС на поверхности моря. Разрез I был выполнен в северной части Карского моря на 77° с. ш. В западной части разрез пересекает южную оконечность жёлоба Святой Анны, глубины достигают 520 м. Восточная часть разреза проходит через относительно мелководный участок моря с глубинами до 100 м. По жёлобу Святой Анны, на глубинах более 150 м, в Карское море из Арктического бассейна проникали трансформированные атлантические воды. Они имели высокую солёность (34,9 PSU) и температуру, близкую к 0 °С. ПОС не достигал широты разреза I. На этом разрезе Схл в поверхностном слое не превышала 0,60 мг·м⁻³ (среднее (0,45 ± 0,16) мг·м⁻³). В слое 0–50 м хлорофилл был распределён относительно равномерно. На глубоководных станциях (на глубинах от 75 м) концентрация хлорофилла *a* снижалась. На разрезах II и III все станции отбора проб на хлорофилл находились в пределах ПОС. На этих станциях водная толща имела двухслойное строение. Толщина ПОС варьировала от 10 до 17 м. На разрезе II Схл в поверхностном слое максимально достигала 1,77 мг·м⁻³, на разрезе III — 1,25 мг·м⁻³. Вертикальное распределение хлорофилла *a* на большинстве станций разрезов II и III отражало связь с толщиной ПОС

(0 м — $(1,04 \pm 0,27)$ мг·м⁻³; 5 м — $(0,97 \pm 0,27)$ мг·м⁻³; 10 м — $(0,69 \pm 0,36)$ мг·м⁻³). Под ПОС концентрации значительно снижались (20 м — $(0,31 \pm 0,17)$ мг·м⁻³). В заливах Карского моря всю верхнюю часть занимал тёплый слабосоленоватый слой распреснённых речным стоком вод, в то время как придонная область была занята холодным солёным клином. При движении вглубь заливов влияние морских вод в придонных слоях ослабевало. На станциях, расположенных вблизи выходов из Обского и Енисейского заливов, придонный слой имел самые низкие значения температуры (вплоть до отрицательных) и солёность, достигающую 32,5 PSU. В Обской губе проникновение морских вод в придонных слоях происходило более интенсивно вдоль восточного берега. На станциях в Обской губе содержание хлорофилла *a* в поверхностном слое максимально достигало $4,22$ мг·м⁻³ (0 м — $(2,70 \pm 1,11)$ мг·м⁻³; 5 м — $(2,42 \pm 0,99)$ мг·м⁻³). В Енисейском заливе максимальная Схл в поверхностном слое составила $3,22$ мг·м⁻³ (0 м — $(2,51 \pm 1,12)$ мг·м⁻³; 5 м — $(2,63 \pm 0,98)$ мг·м⁻³; 10 м — $(2,29 \pm 0,87)$ мг·м⁻³). Воды Гыданской губы были слабо стратифицированы. В Гыданской губе максимум Схл в поверхностном слое не превышал $2,60$ мг·м⁻³ (0 м — $(2,11 \pm 0,42)$ мг·м⁻³; 5 м — $(2,06 \pm 0,38)$ мг·м⁻³). На всех станциях, выполненных в заливах Карского моря, хлорофилл *a* в слое ПОС распределялся достаточно однородно. Ниже ПОС Схл снижалась до $0,46$ – $0,89$ мг·м⁻³.

Авторы выражают признательность сотруднику лаборатории планктона ММБИ РАН Широколовой Т. И. за отбор проб в полевых условиях.

Еловые леса Печорского бассейна как эталон коренных фитоценозов европейской тайги

Манов А. В., Бобкова К. С.

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия

manov@ib.komisc.ru

В настоящее время всё большее внимание у исследователей природы тёмнохвойной тайги уделяется естественным и близким к ним насаждениям в связи с их неуклонным истощением в процессе промышленного освоения и с массовым усыханием (в последний период). В вопросе важности сохранения этих лесов акцент сделан на их видовом разнообразии и адаптивной способности к условиям изменяющегося климата.

По трактовке ОСТА «Лесоводство. Термины и определения» [1998]: «Коренной древостой — древостой коренного типа леса. Коренной тип леса — тип леса, объединяющий леса, характеризующиеся естественно сложившимся составом лесной растительности, соответствующей относительно стабильным лесорастительным условиям определённого типа».

Печорский бассейн — водосборная площадь размером 32,2 млн га — расположен на северо-востоке европейской части России. Лесопокрываемая площадь бассейна составляет около 17 млн га, из которой 35 % относится к притундровой зоне, 34 % — к подзоне северной и 31 % — к подзоне средней тайги [Бобкова, 2003]. В бассейне реки Печоры расположены самые крупные резерваты тёмнохвойной тайги на европейском севере (Национальный парк «Югыд ва» и Печоро-Илычский заповедник). Леса бассейна, занимающие доминирующее положение в растительном покрове, выполняют важную роль в регулировании углеродно-кислородного баланса атмосферы Северного полушария и участвуют в средообразовании Субарктики и Арктики.

Большая протяжённость Печорского бассейна с юга на север (750 км), а в нижнем течении и с запада на восток (700 км), а также различия в физико-географических условиях создают разные климатические условия региона. Климат бассейна формируется преимущественно под воздействием арктических и атлантических воздушных масс, с продвижением к истокам реки усиливается его континентальность. Зима многоснежная, продолжительная, морозная, лето короткое, умеренно тёплое, в северных регионах прохладное. Весна и осень длительные, холодные, однако прибрежные районы нижней Печоры из-за больших масс тёплой воды, поступающей с юга, долгое время подпитываются теплом. Многоводная река, обширные и многочисленные болота, а также обилие осадков на фоне слабого испарения обуславливают избыточную влажность климата бассейна. Световой период с июня по июль длится круглые сутки, что обуславливает увеличение суммы ФАР, снижая перепады температуры в течение суток.

Суровые климатические условия обуславливают бедность и влажность почв региона. Формирование почв идёт в условиях переизбытка влаги, особенно в еловых сообществах в подзоне северной тайги и притундровой зоне.

В растительном покрове Печорского бассейна преобладают хвойные леса (85,3 % лесопокрываемой площади), из них 63,0 % занимают ельники. Ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.) формирует смешанные по видовому составу разновозрастные древостои и, как эдификатор, трансформирует экологические условия для развития подчинённых ярусов растительности. Благодаря своей экологической пластичности ель распространена по всей территории бассейна, за исключением площадей с мощными песчаными грунтами.

В рассматриваемом регионе чистые еловые древостои формируются редко. С елью практически всегда присутствуют *Betula pendula* Roth и *B. pubescens* Ehrh., в притундровой зоне и в горах Урала — *B. tortuosa* Ledeb. В примеси встречаются *Pinus sylvestris* L., *Abies sibirica* Ledeb., *Pinus sibirica* Du Tour, *Larix sibirica* Ledeb. и *Populus tremula* L.

Притундровые еловые леса характеризуются небольшим разнообразием древесных растений. При господстве ели всегда присутствует берёза, реже сосна, лиственница, осина. Возраст деревьев древостоев колеблется от 60 до 310 лет. Древостои низкопродуктивные V–Va (Vб) класса бонитета с широким диапазоном запасов древесины от 17 до 144 (266) м³·га⁻¹. В древостоях много сухостойных деревьев и валежа, объём древесины которых составляет от 6 до 45 % общего стволового запаса. Естественное возобновление под пологом ельников происходит удовлетворительно; количество подроста составляет от 0,5 до 7,0 тыс. шт.·га⁻¹, его слагают те же породы, что и древостой. Нижние ярусы растительности разных типов леса характеризуются небольшим разнообразием. Встречаются 3–6 видов кустарничков, 3–7 видов травянистых растений, 4–10 видов мхов, 2–6 видов кустистых лишайников.

Подзона северной тайги. Ельники невысокой продуктивности IV–V (Va) класса бонитета. Они формируют смешанные по составу и сложные по форме разновозрастные древостои с непрерывным лесовозобновительным процессом. В предгорьях Урала в составе насаждений встречается кедр. Деревья древостоев возрастом от 55 до 320 лет. Запасы древесины в пределах 58–255 м³·га⁻¹. Сухостоя и валежа гораздо меньше, чем в притундровых и среднетаёжных ельниках, они составляют 9–16 % от общего стволового запаса. Подрост преимущественно состоит из тех же видов древесных растений, что и древостой. Его численность под пологом северотаёжных ельников колеблется от 0,9 до 5,8 тыс. шт.·га⁻¹. Развитие нижних ярусов растительности определяется условиями произрастания. Они представлены 4–6 видами кустарничков, 7–11 видами травянистых растений, 6–9 видами мхов.

Подзона средней тайги. Среднетаёжные ельники характеризуются бóльшим типологическим разнообразием, чем северотаёжные и тем более притундровые. Древостои в основном IV–V (реже III) класса бонитета, смешанные по составу, сложные по строению. В составе насаждений могут встречаться все лесообразующие породы. Деревья древостоев имеют возраст в пределах от 35 до 250 (кедр — 300 и более) лет, они формируют запас древесины от 165 до 343 м³·га⁻¹. Довольно много сухостойных деревьев и валежа, их запас составляет 21–38 % от общего стволового запаса. Подрост — 2,5–5,1 тыс. шт.·га⁻¹, он состоит из тех же пород, что и древостой. Растения почвенного покрова представлены 4–6 видами кустарничков, 7–12 видами травянистых растений, 6–9 видами мхов. В коренных ельниках Печорского бассейна развиваются древостои разной возрастной структуры: абсолютно разновозрастные, циклично разновозрастные, в редких случаях условно разновозрастные, так как имеют деревья в каждом возрастном поколении древостоя. Морфометрические показатели деревьев характеризуются высокой лабильностью, что создает сложную структуру вертикального полога древостоев. Для ельников, развивающихся в естественных природных условиях, характерным является «регулярный по низу» и «симметричный тип» вертикальной структуры. По мере роста и отпада деревьев их положение на площади меняется. Для древесных растений, появившихся на этапе поселения, характерно групповое размещение на площади. С развитием древостоя при увеличении размеров деревьев степень их сгруппированности снижается. Деревья, образующие древесный ярус, имеют случайный характер размещения на площади. Небольшие скопления в составе древостоя могут образовывать деревья пихты и берёзы, что связано с их генезисом. Пространственные взаимоотношения между деревьями проявляются лишь в молодом возрасте.

Отпад деревьев происходит постепенно после гибели отдельных экземпляров, достигших предельного возраста или поражённых энтомо- или фитовредителями. Лесовозобновительный процесс в коренных ельниках непрерывен. Смена поколений в них происходит постепенно. Во всех типах леса имеется подрост разного количества, состава, возраста. Он часто имеет групповое распределение на площади в связи с появлением его в окнах, которые возникают после отпада деревьев. В таком состоянии динамического равновесия ельники могут находиться неопределённо долго.

Итоги и перспективы гидробиологических исследований пелагического редоксклина и субкислородного слоя Чёрного моря

Мельников В. В.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

sevlin@rambler.ru

Почти 120 лет назад выдающийся учёный Н. И. Андрусов [1894] впервые показал, что высшие формы жизни в Чёрном море находятся в поверхностном слое до 80–200 м. Ниже вся толща вод до дна содержит сероводород, в котором могут обитать лишь некоторые виды бактерий. Предполагалось, что в зоне контакта кислорода и сероводорода происходит смешение вод с формированием особого смешанного, или С-слоя (толщиной 30–50 м), в котором, как писал Б. Н. Скопинцев [1975], происходит непосредственное равновесное взаимодействие O_2 и H_2S . Эти представления (в виде научной парадигмы) стали основой обширного количества исследований, среди которых ключевую роль сыграли крупные комплексные экспедиции ИО АН СССР в Чёрном море (64-й рейс НИС «Витязь» в 1978 г., 6-й рейс нового НИС «Витязь» в 1984 г., 7-й и 8-й рейсы НИС «Рифт» в 1985–1986 гг.). Они позволили получить принципиально новые сведения об особенностях структуры и функционировании экосистем глубоководных районов, дали толчок разработке новых методик и определили перспективные направления дальнейших исследований [монографии «Экосистемы...», 1980 ; «Современное состояние...», 1987 ; «Структура и продукционные характеристики...», 1989]. Итогом этих работ стало важнейшее гидробиологическое открытие: в нижнем слое кислородной зоны были обнаружены узкие по вертикали плотные слои планктона с различным составом [Виноградов, Шушкина, 1982 ; Виноградов и др., 1986, 1987а, б ; Флинт, 1989]. Впервые были определены предельные концентрации кислорода для распределения различных групп гидробионтов. Было доказано, что химические и бактериальные процессы в зоне редоксклина обеспечивают стабильность существования С-слоя [Сорокин, 1982 ; Волков, 1984], что подтверждалось измерениями скорости окисления сероводорода и данными о возможностях бактериопланктона, поэтому казалось, что теоретический вопрос взаимодействия кислорода и сероводорода в глубинах моря уже полностью решен.

Однако в 1988 г. выяснилось, что С-слоя вообще не существует: между кислородной зоной и сероводородными водами находится субкислородный слой, в котором нет ни кислорода, ни сероводорода [Murray et al., 1995]. Это открытие почти 15 лет не признавалось научным миром, пока не стало общепризнанным [Konovalov et al., 2005]. В результате произошло революционное изменение представлений о двухслойном море на представления о трёхслойном море [Murray et al., 1989 ; Konovalov et al., 2005]. Выяснилось, что причиной этих концептуальных изменений стали неточности метода Винклера, который в XX в. использовался для измерений концентрации кислорода в водах Чёрного моря. Этот метод основан на использовании окислительно-восстановительных свойств марганца: в щелочной среде $Mn(II)$ окислялся кислородом с образованием взвеси $Mn(IV)$, которая затем восстанавливалась в кислой среде иодидом, а йод потом оттитровывался [Стунжас, 2018]. Однако в Чёрном море на границе между кислородной и сероводородной зонами этот метод давал настолько большую погрешность, что кислород «обнаруживался» даже в сероводородном слое. Оказалось, что виной всему был бактериальный хемосинтез с выделением ионов марганца, который и завышал результаты измерений методом Винкле-

ра. Потребовались принципиально новые датчики для измерения концентраций кислорода, которые были бы свободны от ошибок метода Винклера. Такие (оптические) датчики разработаны лишь 15 лет назад; впервые они были использованы биологами в ходе широкомасштабных исследований глубин Чёрного моря, проводимых специалистами ИнБЮМ под руководством академиков Г. Г. Поликарпова и В. Н. Егорова [Егоров и др., 2011], и сотрудниками Института Балтийского моря (Warnemünde) в 15/1 рейсе НИС Maria S. Merian (Германия) в 2010 г. Наблюдения из подводной лодки с люминесцентными датчиками кислорода, выполненные М. Б. Гулиным, впервые позволили достоверно описать предельные глубины обитания рыб Чёрного моря [Заика, Гулин, 2011]. Продолжение этих работ в 33-м рейсе того же судна в 2013 г. В. В. Мельниковым совместно с коллегами из IOW привело к другому важному открытию [Melnikov et al., 2021a]: выяснилось, что плотные скопления зоопланктона в зоне редоксклина могут служить важным источником пищи для черноморского шпрота *Sprattus sprattus phalericus*. Оказалось, что эти рыбы обладают удивительной способностью «нырять» в практически бескислородную зону ($0,2 \text{ мл} \cdot \text{л}^{-1}$) и активно охотиться на «спящих» днём веслоногих рачков. При этом рыбы проходят сначала через слой других хищников — гребневиков *Pleurobrachia pileus*, которые при размерах около 2 см имеют полуметровые ажурные ловчие щупальца. Если рыбы совершают активные броски вниз, чтобы поймать веслоногих, то гребневиков совершают медленные суточные миграции и днём образуют плотный слой над скоплениями рачков. Исследование такого поведения гребневиков привело к новому открытию [Melnikov et al., 2021b]: оказалось, что их скопления существенно изменяют биофизические свойства среды (в дневное время слой, где они концентрируются, начинает светиться). У поверхности биолюминесценция наблюдается только ночью, днём она угасает. Впервые было установлено, что у нижней границы кислородной зоны Чёрного моря всё наоборот: свечение усиливается днём, когда там концентрируется зоопланктон [Мельников и др., 2019].

Всё описанное выше касается нижней части кислородной зоны. Ещё немного глубже начинается практически не исследованный биологами субкислородный слой (30–50 м), в котором нет ни кислорода, ни сероводорода. По данным учёных из Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde, в этом слое наблюдаются скопления бактерий рода *Sulfurimonas* [Han, Herner, 2015], происходят интенсивные процессы хемосинтеза за счёт окисления H_2S с помощью MnO_2 [Henkel et al., 2019]. Нижний пик максимума фосфатов в субкислородном слое связан с деятельностью крупных магнитотактических бактерий рода *Magnetococcus*, которые перемещаются вверх и вниз в пределах субкислородной зоны, захватывая фосфаты в верхней части и высвобождая на нижней границе [Schulz-Vogt et al., 2019]. Исследования отдела радиационной и химической биологии ИнБЮМ показали, что в Чёрном море обнаружена закономерная связь между максимумами бактериального хемосинтеза и фосфатов вне зависимости от глубин залегания. Суммарная валовая продукция углерода в слое хемосинтеза достигала $250\text{--}450 \text{ мг} \cdot \text{С} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$ [Поликарпов и др., 1990].

Иными словами, выяснилось, что в субкислородном слое имеется достаточно сложно организованная структура вертикального распределения жизни, которая больше похожа на внеземную жизнь, поскольку процветает и интенсивно развивается при полном отсутствии кислорода. Чтобы понять хотя бы основные закономерности вертикального распределения этой жизни, в 117-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» этот слой впервые исследовался на предмет изучения вертикального распределения АТФ (универсального источника энергии для всех биохимических процессов, протекающих в живых системах) и фоновых характеристик среды. В результате впервые были получены интегральные профили распределения жизни в этом слое.

Оценка степени засоленности почв Володарского района Астраханской области

Менделева В. П., Волкова И. В., Баранова Ю. И.

Астраханский государственный технический университет, Институт рыбного хозяйства, биологии
и природопользования, Астрахань, Россия

cherepaha.lokwood77@gmail.com

Засоление почв относится к проблемам засушливых регионов, приводящим к опустыниванию земель. Накопление таких легкорастворимых солей, как хлориды, сульфаты, бикарбонаты натрия, кальция и магния, приводит к ухудшению плодородных качеств почвы, которая затем превращается в солонцы и бесплодные солончаки. Источником поступления солей в почву являются преимущественно минерализованные грунтовые воды. Этот процесс называют первичным засолением.

Вторичное засоление в большинстве случаев связано с хозяйственной деятельностью человека, когда в сельскохозяйственный оборот вводятся земли, которые имеют тенденцию к засолению в случае их обводнения. Основная причина вторичного засоления — попадание солей с поливной водой. Вся вода, полученная из рек или грунтовых вод, содержит водорастворимые соли. Они остаются в почве после того, как вода испаряется. В отсутствие естественного дренажа (как в переувлажнённых почвах) и без надлежащей промывки происходит сильное засоление почвы и снижение урожайности в долгосрочной перспективе.

Большая часть воды, используемой для орошения, имеет более высокое содержание соли, чем в вышеприведённом примере. Во многих ирригационных системах используется гораздо больший годовой запас воды. Для сахарного тростника, например, требуется около $20000 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ воды в год. В результате орошаемые площади часто получают более $3000 \text{ кг} \cdot \text{га}^{-1}$ соли в год, а некоторые получают до $10\,000 \text{ кг} \cdot \text{га}^{-1}$ в год [Oosterbaan, 2020].

К регионам России, которым свойственна проблема засоления почв, относится и Астраханская область, находящаяся в юго-восточной части Восточно-Европейской равнины. Область лежит ниже уровня моря, поскольку расположена в Прикаспийской низменности. Климатические условия области аридные, что способствует образованию на территории зон пустынь и полупустынь. В летний период температура достигает $+45 \dots +50 \text{ }^\circ\text{C}$, что может способствовать развитию засухи [Синцов, 2012].

Как было сказано ранее, вторичное засоление — это результат неправильной ирригационной системы; оно приводит к выводу используемых пахотных почв из оборота. Оценка содержания водорастворимых солей в заброшенных пахотных землях необходима прежде всего для мероприятий по восстановлению деградированных почв, а также при проведении мониторинга окружающей среды.

Целью данной работы было изучить наличие водорастворимых солей в почве засоленных пахотных земель Астраханской области Володарского района.

Данный район выбран неслучайно: с 2012 по 2017 гг. большая часть незасоленных почв перешла в категории слабо и средnezасоленных. Площадь незасоленных почв в Володарском районе за два последних цикла обследования сократилась на 20,0 %, а очень сильнозасоленных — увеличилась на 9,1 % [Салина, 2020].

Для исследования выбрано 6 бывших пашен Астраханской области, расположенных в Володарском районе. Проба № 1 — с. Ильинка; № 2 — с. Ярки; № 3 — пашня, расположенная вблизи ерика Шарипкин; № 4 — с. Тюрино; № 5 — с. Марфино; № 6 — с. Марфино вблизи бэровского бугра Высокий.

Отбор проб почвы проводился согласно ГОСТ Р 58595-2019. Количественный и качественный анализ содержания бикарбонатов, хлоридов, сульфатов, натрия, кальция и магния в пробах почв с отобранных участков проведен по ГОСТ 26424-85.

Содержание бикарбонатов в почве варьировало от 0,012 до 0,027 %, хлоридов — от 0,011 до 0,783 %, сульфатов — от 0,024 до 0,600 %, катионов натрия — от 0,015 до 0,216 %, кальция — от 0,005 до 0,350 %, магния — от 0,003 до 0,094 %. Наибольшие показатели отмечены в пробе № 1, наименьшие — в пробах № 5 и 6.

Тип и степень засоления почв определяли по анионному составу согласно классификации Н. И. Базилевича и Е. И. Панковой [1970]. В исследуемых пробах почв засоление представлено сульфатно-хлоридным, хлоридным, хлоридно-сульфатным типом. По степени засоленности почва слабозасоленная, однако в пробе № 1 почва отмечена как сильнозасоленная.

На основании проведённых исследований почв Володарского района Астраханской области можно заключить, что по химизму преобладают почвы сульфатно-хлоридного и хлоридно-сульфатного типа засоления. Засоление с преобладанием хлористых солей чаще всего встречается в пониженных местах, куда соли выносятся с вышележащих участков. Накопление сульфатных солей в почве очень распространено. Значительное скопление их делает почву рыхлой, сухой и пылевой.

По катионному составу, согласно классификации Н. И. Базилевича и Е. И. Панковой [1970], преобладает кальциевое засоление. Одними из возможных причин избытка кальция в почве на пашнях являются избыточное внесение извести для раскисления субстрата и применение удобрения кальциевой селитры.

На поверхности почвы выявлено скопление солевой корки, что указывает на длительное испарение почвенной влаги при постоянном подтягивании засоленных растворов к поверхности, что характерно для аридных областей; при низком содержании солей у поверхности и накоплении их на некоторой глубине можно говорить о рассолении.

Установление нормы содержания водорастворимых солей в естественных почвах (не в лабораторных условиях) связано с проблемой: здесь всегда присутствует весьма сложная смесь солей, и простое и прямое перенесение показаний физиологических опытов оказывается невозможным.

Важным пунктом при оценке степени засоления почв является то, что вся система взаимодействия между солями оказывается не статической, а в высокой степени динамической. Основные черты состояния легкорастворимых солей в почве — их чрезвычайно быстрая подвижность и перемещаемость из горизонта в горизонт в связи с меняющимся режимом влажности почвы.

В силу этого всегда возможны следующие случаи. В начале анализа, например весной, почва содержит во всех горизонтах низкие количества солей, однако в дальнейшем всегда может произойти перераспределение солей, а значит, они сконцентрируются и показатели изменятся.

Такие случаи встречаются в сельском хозяйстве. Кроме этих перемещений количеств солей в почвах, одновременно широко реализуется и качественная динамика, то есть периодические изменения самого состава солей. Общей причиной этих изменений является то, что легкорастворимые соли легко реагируют со всеми другими элементами почвы, то есть с её труднорастворимыми солями и поглощающим комплексом по преимуществу, в силу чего почвенный раствор находится всегда в состоянии подвижного равновесия.

Структура лесной подстилки лиственничных экосистем криолитозоны Средней и Южной Сибири

Мухортова Л. В.¹, Сергеева О. В.¹, Кривобоков Л. В.¹, Осипенко Я. С.²

¹Институт леса имени В. Н. Сукачева СО РАН — обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН,
Красноярск, Россия

²Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

l.mukhortova@gmail.com

Лесная подстилка играет особую роль в функционировании лесных биогеоценозов. Являясь промежуточным звеном между растительностью и почвой, подстилка служит главным источником элементов питания растений. Она регулирует гидротермический режим почвы, обеспечивает влагой растения нижних ярусов, предохраняя от высыхания верхние минеральные горизонты почвы. Подстилка участвует в процессах гумусообразования. Её структура и функционирование поддерживаются за счёт регулярного поступления опада и частичного разложения уже аккумулятивной массы растительных остатков. Ежегодное поступление опада зависит от возраста и полноты древостоя, а также от внешних условий, в которых существует лесная экосистема.

Лиственница является наиболее распространённым лесообразующим видом на территории России: лиственничные леса занимают около 40 % всей покрытой лесами территории страны. В криолитозоне Средней Сибири лиственничники занимают от 84 % лесопокрытой площади в северной тайге до 93 % в лесотундровой зоне.

Экологическое значение лиственничников криолитозоны заключается в водорегуляции, поддержании уровня подземных вод и видового разнообразия, предотвращении прогрева почвы и, как следствие, разрушения мерзлоты [Зырянова, 2004]. Бореальные леса играют большую роль в аккумуляции углерода. Значительная часть общих запасов углерода в этих лесах аккумулируется именно в лесной подстилке благодаря медленной деструкции растительных остатков на поверхности почвы.

Целью данного исследования было сравнение запасов и структуры лесной подстилки, формирующейся в лиственничных лесах, которые произрастают в северной тайге Средней Сибири и в горно-таёжных лиственничниках Восточного Прибайкалья. Лесообразующим видом в обоих регионах является лиственница Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.), однако климатические условия и почвенный покров отличаются для этих двух регионов.

В результате проведённого анализа было установлено, что средние запасы лесной подстилки выше в горно-таёжных лиственничниках Прибайкалья. Эти запасы обусловлены, вероятно, в первую очередь большим поступлением растительных остатков на поверхность почвы, что связано, в свою очередь, с более высокой продуктивностью всех ярусов леса в этих условиях. Фракционный состав подстилки северных лиственничников характеризуется более высоким вкладом трудноразлагаемых фракций (ветви, шишки, кора, полуразложившаяся древесина, толстые корни, остатки мхов). Их доля составляет более 90 % слабонерастворившихся фракций. В горно-таёжных лиственничниках на долю трудноразлагаемых фракций приходится менее 80 % общих запасов слабонерастворившихся растительных остатков.

Такой состав запасов слаборазложившейся части лесной подстилки в северотаёжных лиственничниках обуславливает, наряду с климатическими факторами, более медленное разложение лесной подстилки в этих условиях. Значительная доля ферментированных растительных остатков по сравнению с гумифицированными в составе лесной подстилки в северотаёжных лиственничниках свидетельствует об аккумуляции не полностью разложившихся растительных остатков на поверхности почвы в этих условиях.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ (проект РФФ-MAFF/AFFRCS № 21-46-07002).

Динамика прибрежных экосистем Куршской лагуны Балтийского моря в голоцене

Напреенко М. Г.^{1,2*}, Напреенко-Дорохова Т. В.^{1,2}, Соснина И. А.^{1,2}, Сапожников Ф. В.¹

¹Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

²Балтийский федеральный университет имени И. Канта, Калининград, Россия

maxnpr@gmail.com

Вопрос о месте и характере сочленения Куршской косы с северным побережьем Самбийского полуострова давно привлекал внимание исследователей [Гуделис, 1959 ; Кабайлене, 1967 ; Бадюкова и др., 2007, 2010]. Существуют различные точки зрения на вопрос формирования и развития корневой части косы. Получить новые данные об изменениях природных условий этого района возможно при помощи комплексных палеогеографических исследований донных отложений Куршского залива в прибрежной зоне прикорневой части Куршской косы.

Исследования проводились в юго-западной части Куршского залива, у корня Куршской косы в сентябре 2018 г. и в январе — феврале 2021 г. Отбор донных отложений в сентябре 2018 г. осуществлялся с двухкорпусной мотолодки (катамарана) «З 60-34 ЖЕ» при помощи гравитационной трубы с внутренним диаметром 72 мм с использованием мягкого вкладыша. В ходе полевых работ была отобрана колонка ЗР-1 (54°57'55,6" с. ш., 20°32'54,00" в. д.) мощностью 90 см. Кроме того, в январе — феврале 2021 г. в этой же точке со льда осуществлён пробоотбор донных отложений ЗР-2 мощностью 400 см торфяным геологическим буром модели ТБГ-66 с полуцилиндрической пробоотборочной камерой длиной 100 см, диаметром 75 мм.

Для исследования отложений керна ЗР-1 применён комплекс методов:

- анализ магнитной восприимчивости;
- анализ потери массы вещества при прокаливании;
- палинологический анализ;
- диатомовый анализ;
- анализ макрофоссилий организмов;
- радиоуглеродное датирование четырёх образцов донных отложений методом ускорительной масс-спектрометрии. Калибровка данных выполнена с применением программы CALIB, версия 8.20, с использованием калибровочной кривой IntCal20.

Донные отложения в колонке ЗР-1 представлены двумя разными типами осадков: нижняя часть (89,5–50 см) сложена чередующимися торфяными и торфо-сапропелевыми отложениями, вышележащие отложения (50–25 см) представлены тёмно-оливковым илом, в котором имеется прослой с вкраплениями раковин моллюсков в интервале 38–40 см. Отложения верхних горизонтов (0–25 см) не были отобраны.

Возраст исследуемых отложений, согласно построенной возрастной модели, соответствует 6900–2800 кал. л. н.

По результатам анализа потери массы вещества при прокаливании выделено 2 зоны — с содержанием ОВ > 20 % (6900–5700 кал. л. н.) и с содержанием ОВ < 20 % (5700–2800 кал. л. н.), что хорошо согласуется с литологическим строением колонки ЗР-1. Таким образом, во второй половине атлантического периода водоём отличался более высокой биопродуктивностью, органи-

генное осадконакопление преобладало над минерагенным. Снижение концентрации ОВ говорит об изменениях, происходивших в процессах седиментации водоёма и формировании отложений в условиях низкой биопродуктивности. В суббореале увеличивается доля минерагенного осадконакопления.

По результатам анализа магнитной восприимчивости осадка заметна обратная тенденция: во второй половине атлантического периода (7000–5700 кал. л. н.) наблюдаются более низкие значения, что свидетельствует о низкой концентрации магнитных минералов и отсутствии привноса терригенного материала; это подтверждается литологическим составом отложений (торфосапропель и торф). Начиная с 6100 кал. л. н. значения магнитной восприимчивости постепенно возрастают вследствие смены режима седиментогенеза (затопление территории) и привноса терригенного материала с водосбора лагуны. Около 4250 кал. л. н. отмечается максимальное значение магнитной восприимчивости. Выше по разрезу значения постепенно снижаются за счёт усиления биогенного осадконакопления и отсутствия поступления терригенного материала. В целом отложения юго-западной части Куршского залива можно охарактеризовать как слабомагнитные.

На основании палинологического анализа выявлены основные направления развития растительного покрова в среднем и позднем голоцене в корневой части косы:

- 6900–5900 кал. л. н. — господство широколиственных лесов неморального комплекса (*Quercetum mixtum*) с одновременным развитием лесоболотных сообществ влажных черноольшаников на прибрежных участках;
- 5900–4200 кал. л. н. — формирование лесов паркового типа, начало антропогенного влияния; одновременно продолжалось развитие черноольшаников;
- 4200–2800 кал. л. н. — перестройка разреженных дубрав в сомкнутые елово-широколиственные леса с грабом, увеличение площади черноольшаников;
- 2800–1400 кал. л. н. — развитие вторичных смешанных лесов, сокращение площади черноольшаников, развитие земледелия;
- 1400–700 кал. л. н. — сокращение площади лесов, увеличение доли сельскохозяйственных территорий;
- 700–400 кал. л. н. — сильная антропогенная трансформация растительности; фрагментация лесного покрова изучаемой территории.

По результатам диатомового анализа выделено 3 этапа формирования прибрежного участка в юго-западной части Куршской лагуны:

- 1) 6900–6000 кал. л. н. — прибрежная мелководная зона с поясами макрофитов;
- 2) 6000–2200 кал. л. н. — прибрежный обводнённый участок (переходный этап);
- 3) 2200–460 кал. л. н. — открытый участок лагуны.

Анализ макрофоссилий донных отложений Куршского залива предоставил дополнительные данные об изменениях уровня обводнённости прибрежных экосистем и периоде перехода от болотных биогеоценозов к водным.

Результаты комплексного анализа донных отложений в юго-западной акватории Куршского залива у прикорневой части Куршской косы позволили охарактеризовать исследованный участок как лагунную береговую зону, подверженную периодическим подтоплениям и обмелениям в среднем голоцене и характеризующуюся постоянной гидрологической обстановкой в позднем голоцене.

Полевые работы и обобщение данных выполнены в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0128-2021-0012); пробоподготовка, анализ содержания органического вещества, датирование осадка из горизонтов 34–36 и 44–46 см — при поддержке БФУ имени И. Канта; диатомовый, палинологический и фитолитный анализы, датирование осадка из горизонта 52–54 см, интерпретация данных — при поддержке гранта РФ 18-77-10016; датирование осадка из горизонта 87–89,5 см — за счёт средств гранта РФФИ № 18-05-80087.

Бентос северо-востока Баренцева моря: современное состояние и многолетняя динамика

Павлова Л. В., Фролов А. А., Зимина О. Л., Евсеева О. Ю., Дикаева Д. Р., Румянцева З. Ю.,
Пантелеева Н. Н.

Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, Россия

sea1234@mail.ru

Район между архипелагами Земля Франца-Иосифа и Новая Земля, включающий западный склон жёлоба Святой Анны, относится к слабо изученным и малопродуктивным областям Баренцева моря. Он характеризуется распространением специфичных коричневых донных осадков и низкими показателями биомассы бентоса [Зенкевич, 1947]. Первые количественные сборы зообентоса, результаты которых были опубликованы, выполнены в данном районе в 1931–1932 гг. [Броцкая, Зенкевич, 1939]. Затем сборы были выполнены в 1991–1994 гг. ВНИИОкеангеология [Киуко, Pogrebov, 1997 ; Васильев и др., 2013], а в 1995 г. — Мурманским морским биологическим институтом РАН [Научный отчёт..., 1996].

Условия существования бентоса между Землёй Франца-Иосифа и Новой Землёй довольно динамичны. На своеобразии состава и обилия донной фауны накладываются отпечаток рассечённый рельеф, сложное взаимодействие различных водных масс, присклоновое течение, определённый ледовый режим и близость глубоководного бассейна Северного Ледовитого океана. Слабая изученность бентоса и планы разработки углеводородных ресурсов в этой труднодоступной области Баренцева моря делают необходимыми получение современной информации о донной биоте и исследование закономерностей её распределения.

Современное состояние зообентоса между архипелагами Земля Франца-Иосифа и Новая Земля было исследовано ММБИ в октябре — ноябре 2019 г. на НИС «Дальние Зеленцы». На 9 дночерпательных (27 проб) и 5 траловых станциях, выполненных на глубине 186–507 м, обнаружено как минимум 226 видов. Донная фауна в районе исследования формировалась под влиянием прибрежных фаун архипелагов, арктического бассейна, водных масс, течений и степени вертикального перемешивания водных масс. Бентос был представлен преимущественно мелкими свободноживущими подвижными или малоподвижными организмами, среди которых по количеству видов незначительно преобладали представители эпифауны (53 %). В составе донного населения присутствовали, хоть и в небольшом количестве, абиссальные виды-мигранты, поднимавшиеся до глубины 400–500 м. Обилие, таксономическая, экологическая, трофическая структура макробентоса были пространственно изменчивы.

Фоновые виды в данном районе — полихеты *Prionospio cirrifera*, кумовые раки *Ektonodiatylis nimia*, двустворчатые моллюски *Yoldiella nana* и *Mendicula ferruginosa*. Средние показатели обилия бентоса — $(42 \pm 9) \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ и $(2450 \pm 610) \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-2}$, α -разнообразия — 64 вида на $0,3 \text{ м}^2$, биоразнообразия H' — 4,25 (по численности). По значениям биомассы район исследования занимает промежуточное положение между северными шельфами Баренцева и Карского морей. В среднем основу биомассы формировали иглокожие (44 %), что характерно для фауны коричневых илов Баренцева и Карского морей [Броцкая, Зенкевич, 1939 ; Зенкевич, 1977], а также полихеты (38 %). По относительной интенсивности метаболизма в районе исследования доминировали полихеты *Spiochaetopterus typicus* (23 %), по биомассе — *S. typicus* и офиуры *Ophiopleura borealis* (по 21 % от средних значений). Поскольку пролив между архипелагами Земля Франца-Иосифа

и Новая Земля — место стока атлантических вод из Баренцева моря [Loeng et al., 1997 ; Schauer et al., 2002 ; Воды Баренцева моря..., 2016], здесь, благодаря постоянному склоновому течению, хорошо развиты поселения сестонофагов (45 % от средней биомассы макробентоса).

Распределение донных сообществ в районе исследования определялось структурой водных масс, степенью вертикального перемешивания, наличием или отсутствием фронтальных зон, то есть условиями транзита и накопления органического вещества. В арктических водных массах развивалось низкопродуктивное сообщество доминирующих по уровню метаболизма плотоядных полихет *Aglaophamus malmgreni* с невысокими показателями обилия — (27 ± 19) г·м⁻² и (1010 ± 140) экз·м⁻². В трансформированных баренцевоморских водах со слабым вертикальным перемешиванием отмечены сообщества полихет *S. typicus* $[(47 \pm 13)$ г·м⁻² и (1230 ± 87) экз·м⁻²] и двустворчатых моллюсков *Y. pana* $[(39 \pm 18)$ г·м⁻² и (3030 ± 590) экз·м⁻²]. В районе фронтальных зон и повышенной аккумуляции органического вещества в донных осадках (южная часть жёлоба Святой Анны) в трансформированных баренцевоморских водах формировалось более продуктивное сообщество полихет *S. typicus* — *Maldane sarsi* $[(55 \pm 17)$ г·м⁻² и (5110 ± 340) экз·м⁻²]. Для этого сообщества характерны самая высокая биомасса инфуны и полидоминантная трофическая структура.

Также следует отметить, что район исследования по условной границе 78°30' с. ш. разделяется на два участка с разными видовым составом, плотностью поселения и индексами биоразнообразия. Севернее этой границы развиты очень обильные поселения фораминифер, что может быть следствием замедленной скорости седиментации взвешенного вещества в данном районе, зообентос отличается низкой плотностью поселения (в среднем (1150 ± 100) экз·м⁻²) и более высоким средним весом организмов (0,03 г). Южнее условной границы поселения фораминифер были развиты слабо, численность бентоса была в 4 раза выше, что свидетельствует о более успешном размножении, а средний вес организмов — в 3 раза ниже. В составе фауны в массе встречались некоторые типично прибрежные виды двустворчатых моллюсков и полихет. Биомасса же севернее $[(39 \pm 13)$ г·м⁻²] и южнее $[(48 \pm 13)$ г·м⁻²] условной границы статистически значимо не различалась, как и уровень α -разнообразия.

Были оценены многолетние изменения бентоса между архипелагами Земля Франца-Иосифа и Новая Земля в сравнении с опубликованными результатами исследований 1991–1994 гг., выполненных по схожей сетке станций [Киуко, Pogrebov, 1997 ; Васильев и др., 2013]. Отмечено увеличение площади дна, занятой неподвижными или подвижными сестонофагами, а также всеядными организмами. Изменение трофической структуры могло произойти вследствие небольшого увеличения скорости присклонового течения, которое, в свою очередь, произошло из-за усиленной адвекции атлантических вод в Баренцево море с 2000-х гг. В настоящее время биомасса бентоса выше, чем в 1990-х гг., когда на большей площади дна она составляла 8 г·м⁻² и только на северо-западе района исследования достигала 36 г·м⁻² [Киуко, Pogrebov, 1997 ; Васильев и др., 2013]. Потепление Арктики, начавшееся с начала 1990-х гг., сопровождалось сокращением площади льда [Arthun et al., 2012 ; Думанская, 2014], ростом первичной продукции фитоценозов [Arrigo, Dijken, 2015 ; Lewis et al., 2020] и увеличением зимней вентиляции водной толщи Северного Ледовитого океана вследствие уменьшения толщины промежуточного слоя атлантических вод [Polyakov et al., 2017]. Это могло привести к увеличению объёмов оседающего на дно органического вещества, что способствовало росту суммарной биомассы бентоса.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 0228-2019-0025 по теме НИР «Донные сообщества Баренцева моря, его водосборного бассейна и сопредельных вод: экология, биоразнообразие, роль чужеродных видов».

Распределение солнечной радиации в пологах многоклеточных водорослей и морских трав

Празукин А. В.¹, Фирсов Ю. К.¹, Латушкин А. А.², Чепыженко А. А.²

¹ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

²ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН», Севастополь, Россия

prazukin@mail.ru

Цистозира (многоклеточные водоросли) и zostера (морские травы), обитающие в разных экологических условиях побережья, формируют устойчивые растительные пологи. Распределение фотосинтетически активной радиации (далее — ФАР) в пологе во многом будет зависеть от его пространственной структуры, которая, в свою очередь, определяется биологическими особенностями растений и факторами внешней среды. У нас имеется определенный опыт в изучении пространственной структуры пологов водных растений и их оптических свойств [Празукин, 2005, 2015; Празукин и Фирсов, 2013, 2016; Празукин и др., 2020; Prazukin et al., 2019, 2020a, 2020b]. В настоящем сообщении приводятся результаты исследований распределения ФАР в пологе бурой водоросли *Cystoseira crinita* (Desf.) Borg и в пологе *Zostera noltii* Hornemann в мелководных участках побережья при разной высоте солнца над горизонтом.

С помощью прибора, разработанного сотрудниками Морского гидрофизического института РАН [Латушкин и др. 2019], в зондирующем режиме измеряли значения ФАР (I_{PAR} , $\text{мкЭ}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$) от поверхности воды до дна, с высоким разрешением по глубине (0,01 м).

В пологе *C. crinita* в период наших исследований наблюдался одномодальный тип вертикального распределения биомассы с максимумом ($283,381 \text{ г сух. массы}\cdot\text{м}^{-2}$ ($\Delta h = 5 \text{ см}$); $SD = 43,219$; $CV = 0,153$) в его верхней части. Профиль вертикальной интенсивности ФАР в пологе *C. crinita* меняется в течение светового дня. В 9 часов утра интенсивность ФАР в пологе снижалась линейно с $657,6 \text{ мкЭ}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ в верхней части полога до $123,45 \text{ мкЭ}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ в его нижней части на глубине 20 см. В 11 часов дня высокая интенсивность ФАР ($564,98 - 828,12 \text{ мкЭ}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$) отмечалась по всей глубине полога, а в 18 часов, когда солнце находилось низко над горизонтом, в пологе регистрировался самый низкий уровень ФАР ($2,59 - 269,41 \text{ мкЭ}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$).

В отсутствие направленного движения воды стебли и листья *Z. noltii* в пологе преимущественно располагались вертикально относительно друг друга. Для полога *Z. noltii* характерен одномодальный тип вертикального распределения биомассы с максимумом ($65,7 \text{ г сух. массы}\cdot\text{м}^{-2}$ ($\Delta h = 5 \text{ см}$); $SD = 8,68$; $CV = 0,13$) в его нижней части. В 12 часов в пологе наблюдается максимальный уровень приходящей интенсивности ФАР и минимум взаимного затенения растений. ФАР при незначительных потерях интенсивности (12,3 %) проходит на глубину 17 см. На глубине 25 см её абсолютные значения достигают $375,3 \text{ мкЭ}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$, это 36,8 % от уровня значений приходящей ФАР. В 8 часов создаются такие условия, при которых интенсивность ФАР в пологе снижается линейно ($I_{PAR} = 753,37 - 28,605Z$). В 18:37 солнце находится низко над горизонтом, в этих условиях регистрируются наиболее низкий уровень поступающей ФАР и максимально наблюдаемый уровень взаимного затенения растений в пологе. В этом случае интенсивность ФАР на глубине 21 см сокращается до низких значений ($6,4 \text{ мкЭ}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$) и составляет 1,6 % от уровня приходящей ФАР.

Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта РФФИ р_а № 18-45-920044 и частично в рамках госзаданий ФИЦ ИНБЮМ № 121041500203-3 и ФГБУН ФИЦ МГИ № 0555-2021-0003.

Биогеохимическая обстановка водосборных бассейнов как один из основных факторов формирования микроэлементного состава поверхностных вод притоков Телецкого озера

**Пузанов А. В., Бабошкина С. В., Двуреченская С. Я., Рождественская Т. А., Балыкин С. Н.,
Балыкин Д. Н., Салтыков А. В., Трошкова И. А.**

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия

serafima_dv@mail.ru

Рациональное использование водных ресурсов требует более глубокого понимания почвенных процессов, поскольку формирование химического состава поверхностных и подземных вод любых водоёмов и водотоков тесно связано с функционированием почвенного покрова водосборной территории. Все водные объекты являются составной частью географического ландшафта, поэтому их микроэлементный состав зависит во многом от биогеохимических процессов на водосборе.

Цель работы — изучить содержание и распределение микроэлементов в системе вода — взвешенное вещество в водах притоков Телецкого озера и установить связь физико-химического состава вод притоков с биогеохимическими особенностями и физико-химическим составом почв их водосборных бассейнов.

Озеро Телецкое — крупнейший водоём Алтая, одно из глубочайших озёр России, с 1998 г. является объектом Всемирного природного наследия ЮНЕСКО. Располагается в Северо-Восточной Алтайской провинции среди высоких горных хребтов на высоте 434 м над уровнем моря. Бассейн Телецкого озера является одним из основных туристических и рекреационных районов Алтая. Часть его территории входит в Алтайский государственный природный заповедник, другая часть (пос. Артыбаш, Яйлю, водопад Корбу, бассейн рек Чулышман и Башкаус) в летний период подвергаются возрастающей с каждым годом антропогенной нагрузке.

Объектами исследования являлись притоки озера Телецкое — реки Чулышман, Самыш, Колдор, Большие Чили (западные притоки), Кыга, Кокши, Камга (восточные притоки). Также были отобраны пробы воды в самом озере — в его южной (1,5 км от устья р. Чулышман) и северно-западной (исток р. Бия) частях. Кроме того, были исследованы верхние горизонты почв в приустьевой части рек (притоков озера) на содержание микроэлементов в их водных вытяжках.

Воды изученных нами притоков оз. Телецкое отличаются невысоким суммарным содержанием растворимых солей, в среднем $(0,18 \pm 0,02) \text{ г} \cdot \text{дм}^{-3}$, и относятся, по классификации О. А. Алёкина, к классу как гидрокарбонатных, так и хлоридно-сульфатных кальциевых вод. Варьирование значений суммарного содержания растворимых солей вод притоков оз. Телецкое незначительное ($C_v = 28 \%$ по общей минерализации). По содержанию водорастворимых форм металлов воды притоков оз. Телецкое отвечают экологическим и санитарно-гигиеническим требованиям: концентрации микроэлементов практически не превышают ПДК для вод объектов хозяйственно-питьевого назначения и среднемировые содержания в речных водах, за исключением более высоких, по сравнению со среднемировыми значениями, концентраций хрома и никеля. Отметим, что значения концентраций растворимых форм хрома в притоках оз. Телецкое в целом соответствуют содержанию его растворимых форм в водах притоков р. Майма (Северный Алтай) и в водах р. Обь в среднем и нижнем её течении. Содержание растворимых форм никеля в водах притоков оз. Телецкое не превышает его концентраций в природных водах других провинций Алтая.

Установлено, что в водах притоков озера в составе водорастворимых соединений находятся 64 % от общего содержания железа, 85 % цинка и 91 % хрома; хром и цинк имеют одни из самых высоких коэффициентов водной миграции, а высокая подвижность железа объясняется подходящей для этого обстановкой (кислой реакцией среды и периодически возникающими восстановительными условиями) в почвенном покрове заболоченных участков, которые часто встречаются в бассейнах притоков озера.

Более половины от общего содержания свинца, марганца и меди мигрирует в водах притоков Телецкого озера в форме взвеси.

В западных притоках озера общее содержание взвешенного вещества, а также доля взвешенных форм элементов от их общего содержания существенно выше, чем в водах восточных притоков озера, что объясняется большим распространением на западном берегу зрелых, сформированных почв, которые содержат больше денудационного материала и вносят более значимый вклад в формирование речных взвесей и гидрохимического стока.

Крутые склоны и низкое содержание сорбирующих веществ в каменистых слаборазвитых почвах восточных берегов озера Телецкое благоприятствуют более интенсивному выносу растворимых в данной биогеохимической обстановке форм элементов, что выражено, например, в более активном поступлении в речную сеть водорастворимого железа.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института водных и экологических проблем СО РАН. Научная программа IX.134.1 «Исследование палео- и современных изменений состояния водоёмов и водотоков Сибири, анализ природных и антропогенных изменений для стратегии охраны, использования и обеспечения безопасности водных ресурсов Сибири», проект № 0383-2019-0005.

Посттехногенное развитие водной и наземной экосистем на территории хвостохранилища Тырнаузского горно-обогатительного комбината (Центральный Кавказ)

Реутова Т. В., Дреева Ф. Р., Реутова Н. В.

Федеральный научный центр «Кабардино-Балкарский научный центр РАН», Центр географических исследований, Нальчик, Россия

reuttat@yandex.ru

После экстенсивного развития горнорудной промышленности 1940–1960-х гг. на всей территории страны остались отвалы, заброшенные рудники и места складирования отходов обогатительных фабрик. Мониторинг их трансформации под воздействием абиотических и биотических факторов представляет большой интерес как в плане оценки современного экологического состояния, так и для фундаментальных исследований толерантности разных видов, их возможностей к приспособлению и путей развития экосистем на полностью разрушенных человеком ландшафтах.

Изучаемое нами хвостохранилище расположено в межгорной котловине, образованной Северо-Юрской депрессией, в левобережье р. Баксан между 60-м и 63-м км от истока в пойме её притока р. Гижгит, воды которой были отведены в тоннель. С середины 1960-х и до 1990-х гг. в него перекачивали в виде пульпы отходы обогатительной фабрики Тырнаузского горно-обогатительного комбината (далее — ТГОК), занимавшегося разработкой W-Mo месторождения. Для складирования отходов бывшее русло реки перегораживали мощными земляными дамбами с сетью дренажных труб. После заполнения одной площадки, отступив на 30–50 м, возводили следующую дамбу. Ещё во время функционирования на образовавшихся ступенях проводили рекультивацию: насыпали слой грунта и высаживали облепиху (типичный представитель местной флоры). Дренажные воды фильтровались через тело хвостохранилища и поступали в р. Баксан. В момент прекращения деятельности ТГОК верхняя терраса представляла собой обширный постепенно высыхающий водоём. Высохшие участки подвергались ветровой эрозии, но всё же стали заселяться рудеральной растительностью. Рекультивацию этого последнего участка, которая заключалась в подсыпке грунта, взятого с соседних склонов, проводили уже в 2000-е гг. В процессе обмеления в период 2010–2012 гг. произошло разделение на два озера в понижениях рельефа. Одно из них, основное, получает питание от нескольких небольших ручьёв, бывших притоков р. Гижгит. Для другого в северной части хвостохранилища единственный источник питания — атмосферные осадки, которых в этом районе, находящемся в «дождевой тени» Скалистого хребта, выпадает 300–400 мм в год. Воды обоих озёр продолжают испаряться и фильтроваться через хемозём, но основное, возможно, со временем стабилизирует свой уровень. Таким образом, на территории хвостохранилища образовалось несколько биоценозов: две водных экосистемы, одна околородная вдоль нижней террасы в месте выхода дренажных вод, растительное сообщество, сложившееся после рекультивации 1970–1980-х гг. на старых террасах, и самая молодая экосистема, развивающаяся на верхней террасе.

Наблюдение за развитием экосистем на территории хвостохранилища мы осуществляем с 2003 г. При первом посещении на его верхней части находился единый обширный водоём с широкой полосой подсыхающего пляжа, воздух над которым был настолько загрязнён аэрозольными частицами мелкодисперсного хемозёма, что это значительно понижало видимость. При каждом

усилении ветра столбы аэрозоля поднимались на десятки метров. Вдоль стенки верхней дамбы начала развиваться растительность, но проективное покрытие не достигало 10–15 %, а ближе к водоёму имелись только отдельные растения, в основном семейств астровых, злаковых и бобовых. На нижних ступенях имелись густые заросли облепихи высотой до 3 м, среди них отдельные экземпляры березы и сосны. Травянистый покров был достаточно развит, его основу составляли растения, характерные для зоны сухих горных степей. Вдоль нижней кромки хвостохранилища выходы дренажных вод образовали неширокий мелкий ручей, вокруг которого сложилось сообщество водолюбивых растений (кипрей, рогоз, осоки, хвоци, ситник и др.).

Проведённый в 2014 г. рентгенофлуоресцентный анализ хемозёма и грунта из насыпного слоя показал, что по содержанию Mn и Cu отличий не наблюдается, в хемозёме содержится меньше Al, K, Sr, Cr по сравнению с грунтом. Группу элементов, концентрации которых были заметно выше в хемозёме, составили Zn (2,05 vs 0,92 г·кг⁻¹), Pb (0,28 vs 0,09 г·кг⁻¹), As (0,58 vs 0,18 г·кг⁻¹), Mo (0,71 vs 0,27 г·кг⁻¹), Bi (0,10 vs 0 г·кг⁻¹), W (4,14 vs 0 г·кг⁻¹) и Ca (283,5 vs 131,6 г·кг⁻¹). Во время наблюдений неоднократно проводили анализ воды в двух озёрах, дренажном ручье и р. Гижгит.

Основные показатели химического состава этих водных объектов в среднем составили (основное озеро — остаточное озеро — дренажная вода — р. Гижгит соответственно):

pH 8,5 – 9,0 – 9,7 – 8,2;
HCO₃⁻ 216 – 358 – 220 – 205 мг·л⁻¹;
SO₄²⁻ 97,8 – 578,1 – 266,2 – 27,5 мг·л⁻¹;
Cl⁻ 12,6 – 25,5 – 114,1 – 5,6 мг·л⁻¹;
Na⁺ 21,3 – 333,8 – 262,3 – 5,3 мг·л⁻¹;
K⁺ 4,8 – 17,0 – 6,9 – 1,8 мг·л⁻¹;
Mg²⁺ 31,5 – 21,3 – 0,5 – 19,2 мг·л⁻¹;
Ca²⁺ 36,5 – 25,3 – 16,0 – 38,0 мг·л⁻¹;
F⁻ 0,75 – 8,88 – 6,94 – 0,12 мг·л⁻¹;
Sr²⁺ 1,10 – 0,17 – 0,07 – 0,11 мг·л⁻¹;
Li⁺ 26 – 32 – 13 – 26 мкг·л⁻¹;
Zn 35,1 – 74,9 – 28,0 – 31,2 мкг·л⁻¹;
Pb 0,72 – 1,10 – 0,36 – 0,41 мкг·л⁻¹;
Ni 1,28 – 1,22 – 0,77 – 1,23 мкг·л⁻¹;
Mo 36,2 – 1120,6 – 1263,1 – 1,14 мкг·л⁻¹;
Mn 5,0 – 27,3 – 11,3 – 3,3 мкг·л⁻¹;
Cu 4,4 – 1,8 – 2,1 – 1,9 мкг·л⁻¹;
Cr 0,4 – 1,8 – 0,3 – 0,6 мкг·л⁻¹;
Cd 0,06 – 0,09 – 0,03 – 0,03 мкг·л⁻¹;
As 11,0 – 426,1 – 112,5 – 0,8 мкг·л⁻¹;
Al 79,9 – 466,1 – 42,4 – 35,6 мкг·л⁻¹;
Ag 0,19 – 0,30 – 0,23 – 0,11 мкг·л⁻¹.

Очевидны резкие отличия в составе вод, особенно для двух озёр. Остаточное озеро в значительной степени обогащено многими токсичными элементами, жизнь в нём отсутствует. В то же время основное озеро постепенно приобретает черты естественного водоёма, несмотря на повышенные концентрации некоторых компонентов химического состава, на мелководье развиваются высшие водные растения, прижилась запущенная рыба. По многим показателям (сверхвысокие концентрации F, As, Mo) дренажные воды и вода остаточного озера схожи. Тем не менее существующее в ручье и около него растительное сообщество как в время первого обследования,

так и в 2020 г. не выглядело угнетённым. Однако в 2017–2020 гг. посадки облепихи на нижних террасах начали погибать, хотя травянистый покров продолжает развиваться. На верхней террасе в настоящее время облепиха самопроизвольно расселяется, но кусты невысокие, и уже отмечается сухостой, хотя растения молодые. Здесь увеличивается степень проективного покрытия травянистыми растениями. На многих участках она достигла 60–70 %, что иногда наблюдается в природных ландшафтах зоны сухих горных степей, в которой и расположено хвостохранилище. Неожиданно то, что техногенный почвенный покров оказался благоприятным для одного эндемичного вида, представителя голосеменных растений, почти исчезнувшего в своей естественной среде обитания. На всей рекультивированной площади начала распространяться и активно плодоносить эфедра, и теперь хвостохранилище стало процветающим резерватом этого редкого растения. Проведённый в 2003–2005 гг. сравнительный анализ содержания Мо в ряде видов растений из фоновых районов и хвостохранилища показал, что коэффициент аккумуляции в листьях облепихи составил 50–100, а в побегах эфедры не достигал 2–2,5.

Несмотря на неблагоприятный геохимический фон, происходит заселение импактной территории, образующиеся экосистемы со временем становятся похожими на типичные для геоклиматической зоны, но некоторые виды получают преимущества. Иногда наблюдается и положительный эффект. Необходимо проводить регулярный комплексный мониторинг этого и других посттехногенных ландшафтов и обеспечить их изоляцию. Например, в последнее время развитию экосистем на изучаемой территории снова препятствует антропогенный фактор. Озеро превратилось в достопримечательность и активно посещается туристами, экскурсантами, рыбаками; на террасах пасётся скот.

О факторах естественной смертности пинагора у Мурманского побережья Баренцева моря

Русяев С. М.¹, Зырянов С. В.²

¹Магаданский филиал ФГБНУ «ВНИРО», Магадан, Россия

²Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО», Мурманск, Россия

lpb@magadanniro.ru

Пинагор (*Cyclopterus lumpus*) — вид бореального комплекса [Андрияшев, 1954], занимающий в экосистеме Баренцева моря уникальную нишу из-за значительного потребления гребневиков [Rusyaev, Orlov, 2014] и ярко выраженного миграционного цикла берег — море».

Распределение, биологические особенности и некоторые характеристики популяции этой рыбы в российских водах Баренцева моря достаточно хорошо изучены [Кудрявцева, 2005 ; Русяев, 2013], что позволяет сосредоточить усилия на уточнении популяционных параметров.

Однако для уточнения базовых параметров популяции (численность, продуктивность) требуются расчёт темпов роста и пополнения, а также оценка степени смертности, вызванной промыслом, хищничеством или иными причинами. Особую сложность для исследователя представляет оценка естественной смертности рыб из-за малого объёма знаний о её причинах, поэтому, для изучения этой проблемы ценность приобретает и простой фактологический материал.

При проведении в 2007–2011 гг. водолазных съёмок численности пинагора на полигоне в губе Ура выявлено четыре случая гибели самцов пинагора, обнаруженных непосредственно у кладок (доля погибших самцов — 7,1 %). Погибшие самцы не имели признаков повреждения тканей, а кладки икры, оставшиеся без охраны, не имели признаков разорения, что с высокой вероятностью отвергает версию нападения хищников. Поэтому в качестве основной версии гибели самцов пинагора принята гипотеза истощения рыб [Шатуновский, 1979]. Вероятно, истощение самца пинагора возникает из-за значительных энергетических затрат на охрану кладки при одновременном снижении потребления пищи. Так, многолетний анализ питания пойманных на нерестилищах самцов пинагора ($n = 29$) фиксирует крайне низкий средний балл наполнения желудка — 0,63 (при максимуме этого показателя в 4,21 в период нагульных миграций). Гипотезу о значительном сезонном истощении пинагора подкрепляет и факт устойчивого снижения содержания жира в мышцах и печени этой рыбы в зимне-весенний период [Константинова, 2009]. Очевидно, предваряющая нерест миграция требует значительных энергетических затрат этой рыбы, не имеющей выдающихся плавательных способностей, но преодолевающей на пути к нерестилищам мощное стационарное Мурманское течение.

Гибель самцов пинагора по причине истощения приводит и к гибели эмбрионов от потери охраняющей особи, увеличивая степень естественной смертности в его популяции.

Высокая анатомическая защищённость пинагора (форма тела, экзоскелет) уже в возрасте 4 лет исключает его поедание большинством баренцевоморских видов рыб, но не гарантирует безопасности половозрелых рыб от крупных хищников. Так, в период специализированного сетного промысла пинагора на Мурманском побережье Баренцева моря (1996–2008) визуально подтверждены рыбаками случаи «высасывания» икры самок пинагора, предположительно обыкновенными тюленями (*Phoca vitulina*). Обнаруженные в штормовых выбросах у губы Дворовой экземпляры половозрелых самок пинагора (без икры) имели надкусанный вентральный участок тела, наименее защищённый костными образованиями. В губе Дроздовка отмечалось постоянное контроли-

рование выставленных порядков сетей морскими зайцами (*Erignathus barbatus*,), что примерно на 20 % снижало результативность лова пинагора. Для наиболее многочисленного вида тюленей на Мурманском побережье — серого тюленя (*Halichoerus grypus*) — имеется наибольшее число наблюдений поимки пинагоров. Откусывая лицевую часть, серый тюлень быстро раздирает пинагора на части и съедает мясо.

Совокупная численность постоянно обитающих видов ластоногих на Мурманском побережье довольно высока. Если обыкновенный тюлень, общая численность которого на Мурмане оценена в 400–500 особей [Зурапов & Egorov, 2010], в своём распределении локализован на нескольких ограниченных участках, обычно привязанных к устьям рек или к отдельным заливам, то морской заяц и серый тюлень распределяются по всему побережью достаточно равномерно. Численность морского зайца здесь колеблется от 500–600 особей до 1000–1200 в период весенней миграции. Наибольшую численность на побережье Мурмана создаёт серый тюлень — до 4000 особей или несколько меньше [Зурапов & Mishin, 2007]. Несмотря на то, что численность тюленей и морского зайца на побережье меняется по годам и сезонам, что влияет на точность оценки, можно утверждать: ластоногие являются главной причиной смертности пинагора (из-за них гибнут не менее 10 % нерестящихся особей этого вида на Мурманском побережье).

На сетном промысле пинагора у Мурманского побережья зарегистрированы неоднократные случаи прилова гренландской полярной акулы (*Somniosus microcephalus*). Ограниченная подвижность самок пинагора, обременённых икрой, и повышенная плотность их скоплений в весенний период на глубинах 3–7 м делают эту рыбу наиболее уязвимой для акулы. Наличие пинагора в рационе гренландской акулы, отмеченное зарубежными исследователями [McMeans et al., 2010 ; Nielsen et al., 2013], зафиксировано и нами. Однако трёхкратное снижение встречаемости гренландской акулы в южной части Баренцева моря с 1930-х гг. [данные архивов Тралфлота за 1932–1941 гг. ; Русяев, Орлов, 2013] снижает влияние фактора хищничества акулы на численность пинагора.

Отмечен случай добычи самца пинагора орланом-белохвостом (*Haliaeetus albicilla*) на фукусном мелководье губы Ивановская [архив отчётов ПИНРО], но данных о роли птиц этого вида в хищничестве по пинагору недостаточно. Тем не менее этот факт отчётливо демонстрирует неразрывность связи компонентов прибрежных экосистем и важность целостной информации, необходимой для подобных исследований.

Всесторонний учёт вышеуказанных причин гибели пинагора в период нереста позволяет сделать предварительную и пока безальтернативную оценку (в отсутствие промысла пинагора) естественной смертности части популяции. Вероятно, степень естественной смертности половозрелых особей, в возрасте от 4 до 9 лет, в апреле — июле достигает 15 % от ежегодной численности нерестящегося пинагора на Мурмане [Русяев, 2011].

При наличии современных данных о промысловой смертности пинагора (например, о его прилове на донном траловом промысле) и данных о рационе морских млекопитающих возможна верификация параметра естественной смертности.

Уточнение популяционных параметров пинагора позволит точнее смоделировать его численность. В свою очередь, объективные знания о численности его популяции откроют путь к реализации модели хищник — жертва как к инструменту для более масштабных задач — изучения динамики и особенностей трофической связи пинагор — гребневик, оценки её роли в экосистеме.

Использование в моделях более высокого ранга объективных данных о численности (биомассе) и продуктивности популяций пинагора и гребневиков, а также об их взаимосвязи позволит расширить рамки применения экосистемного подхода при управлении рыболовством в Баренцевом

море.

Факторы, определяющие специфические изменения планктона при повышении количества рыб в крупном горном озере (Севан, Армения)

Сабитова Р. З.¹, Айрапетян² А. О., Косолапов Д. Б.¹, Сахарова Е. Г.¹, Косолапова Н. Г.¹,
Малин М. И.¹, Малина И. П.¹, Цветков А. И.¹, Крылов А. В.¹, Овсепян А. А.², Гамбарян Л. Р.²,
Мамян А. С.², Акопян С. А.²

¹Институт биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина РАН, Борок, Россия

²Институт гидроэкологии и ихтиологии НАН РА, Ереван, Республика Армения

sabrima@rambler.ru

В высокогорном озере Севан при увеличении плотности сига (*Coregonus lavaretus* L. s. l.) закономерно сокращались численность и биомасса зоопланктона за счёт постепенного снижения и исчезновения крупного представителя Cladocera — *Daphnia (Ctenodaphnia) magna* Straus. Снижение контроля сверху со стороны ракообразных привело к повышению количественных характеристик гетеротрофных нанофлагеллят, что, в свою очередь, определило сокращение численности и биомассы бактериопланктона. Вместе с тем в отдельные годы отмечен ряд особенностей трансформации планктона.

В июле 2018 г. при максимальной плотности сигов наблюдалось увеличение численности и биомассы планктонных беспозвоночных за счёт Cladocera — *D. hyalina* (Leydig) и *Diaphanosoma lacustris* Kořinek. Результаты нашего анализа показали, что причина таких изменений — особенности вертикального распределения рыб, в частности формирование их максимальной плотности на больших, чем обычно, глубинах. Такое распределение сигов спровоцировано увеличением их плотности, обеднением кормовой базы при исчезновении крупной *Daphnia magna*, увеличением обилия придонных амфипод, а также высокой температурой воды. При увеличении количественных характеристик ветвистоусых ракообразных в этих условиях наблюдалось повышение биомассы фитопланктона. На наш взгляд, это определялось возросшим количеством регенерируемого Cladocera фосфора на фоне высокой температуры воды, что не только компенсировало выедание водорослей беспозвоночными, но и стимулировало повышение их биомассы.

В октябре пресс рыб на беспозвоночных в толще воды усилился, что также связано с особенностями их вертикального распределения — с формированием максимальной плотности в более верхних, чем обычно, слоях столба воды из-за дефицита кислорода в придонной зоне. Активное выедание закономерно привело к сокращению численности и биомассы зоопланктона за счёт *Diaphanosoma lacustris* и *Daphnia hyalina* и к повышению обилия Rotifera. Однако снижение количества фильтратов не привело к увеличению биомассы и изменениям структуры фитопланктона, что мы также связываем с уменьшением поступления фосфора, экскретируемого Cladocera.

Таким образом, изменения зоопланктона и контролируемых им групп организмов при увеличении плотности рыбного населения зависят от вертикального распределения планктофагов, определяемого температурой воды, концентрацией кислорода и количественными характеристиками кормовых объектов. Для фитопланктона оз. Севан фосфор, регенерируемый Cladocera, имеет ведущее значение и в отдельные сезоны способен стимулировать развитие водорослей, компенсируя их выедание и способствуя повышению биомассы.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (18-54-05003 Арм_а) и в рамках государственных заданий (№ АААА-А18-118012690106-7, АААА-А18-118012690096-1, АААА-А18-118012690102-9, АААА-А18-118012690098-5).

Динамика изменений некоторых лимнологических параметров озера Никоновское (Валаамский архипелаг)

Семенов Д. А.¹, Воякина Е. Ю.^{1,2}

¹Российский государственный гидрометеорологический университет, экологический факультет,
Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН —
Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург, Россия

no.compassion@yandex.ru

Валаамский архипелаг расположен в северо-западной части Ладожского озера на территории Республики Карелия (61°22' с. ш., 30°56' в. д). В состав архипелага входят свыше 50 островов общей площадью 3600 га. Крупнейшим островом архипелага является остров Валаам, занимающий территорию около 2845 га. Остров Валаам расположен на стыке южнотаёжной и среднетаёжной подзон таёжной зоны.

На территории острова Валаам находятся 11 внутренних озёр, 10 из которых относятся к малым лесным. Крупнейшими внутренними озёрами Валаама являются Сисяярви и Лещевое, связанные с Ладожским озером и являющиеся слабопроточными. Образование озёр на Валааме связано с выраженной расчленённостью рельефа. Расположение внутренних озёр острова привязано к межсельговым понижениям. Для озёр Валаама характерны повышенное содержание органического вещества, железа и минеральных форм фосфора, а также высокая минерализация. Большинство озёр Валаама относятся к нейтральному мезополигумозному типу. По показателям трофности большую часть озёр можно отнести к мезотрофным с чертами эвтрофии и мезотрофным типам [Степанова, 2010].

Никоновское озеро — одно из самых малых по площади ($S = 0,011 \text{ км}^2$). Средняя глубина в озере составляет 2,5 м, а максимальная — около 4 м. При этом площадь водосбора сравнительно с самим озером довольно большая ($S = 0,2 \text{ км}^2$). Практически со всех сторон озеро окружено лесом, однако в юго-восточной части водосбора Никоновского озера расположены сельскохозяйственные поля.

В 2007 г. на полях начали проводить мелиоративные работы, связанные с осушением. Площадь проведения мелиоративных работ составила 15 % от общей площади водосбора. Мелиорация проводилась с использованием экскаватора, дренажные каналы были углублены на 1,5–2,0 м. В результате этого в озеро началось поступление минеральных взвесей [Степанова, 2016].

Мониторинг на Никоновском озере проводится с конца 1990-х гг. [Воякина, 2007]. Прозрачность — один из основных параметров, отражающих изменения в озере. Данные по прозрачности представлены с 1997 г. Среднесезонные значения прозрачности сильно различаются от года к году. В целом можно сказать, что до 2006 г. наблюдались высокие значения прозрачности в озере (среднемноголетние значения прозрачности до 2006 г. составляли около 0,80 м; максимальное значение было зафиксировано в 2000 г. и составило 1,20 м). В 2006 г., например, среднее за сезон значение прозрачности в озере составило 0,90 м. В 2007 г. после проведения мелиоративных работ на поле среднее значение прозрачности резко упало до 0,48 м. Значения прозрачности снижались до 2010 г. Минимальные средние значения зафиксированы в 2009 и 2010 гг. и составили 0,33 м. С 2011 г. наблюдается тенденция к увеличению значений прозрачности в озере. В 2019 и 2020 гг. среднесезонные значения прозрачности были 0,65 м и 0,61 м соответственно.

Несмотря на то, что мониторинговые исследования цветности воды были начаты только в 2007 г., можно отметить определённую динамику изменений. До 2012 г. наблюдалось увеличение средних значений цветности, после чего её значения стали уменьшаться. Максимальное значение цветности воды на поверхности составило 285° Pt-Co в 2010 г. В 2020 г. цветность воды на поверхности была уже 128° Pt-Co.

Мутность воды в Никоновском озере начала измеряться только в 2015 г., поэтому длинных рядов данных по этому параметру не имеется. Между тем в последние годы наблюдается тенденция к её снижению. Так, максимальное среднее значение мутности воды на поверхности в Никоновском озере было зафиксировано в 2016 г. и составило 26,5 ЕМФ. В 2020 г. значение мутности было 14,7 ЕМФ на поверхности.

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что мелиоративные работы на полях, начатые в 2007 г., повлияли на некоторые гидрофизические и гидрохимические характеристики озера Никоновское. В настоящее время отмечена тенденция к самоочищению озера. Необходимо продолжать мониторинговые исследования озера Никоновское: оно уязвимо, и любое антропогенное воздействие может повлиять на его лимнологические характеристики, что, в свою очередь, может негативно сказаться на биоте озера.

Влияние холодных зим на сезонную сукцессию фитопланктона и структуру поля биолюминесценции в шельфовой зоне в районе Севастополя

Серикова И. М.¹, Брянцева Ю. В.², Евстигнеев В. П.³, Пионтковский С. А.³, Жук В. Ф.¹,
Георгиева Е. Ю.¹, Минский И. А.¹

¹ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

²Институт ботаники имени Н. Г. Холодного НАН Украины, Киев, Украина

³Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

irasimwin@yandex.ru

По результатам 6-летнего (2009–2014) биофизического мониторинга в прибрежной зоне Севастополя проанализированы сезонная и межгодовая динамика структуры поля биолюминесценции (далее — ПБ) наряду с сукцессией основных групп фитопланктона. Целью настоящего исследования явилась оценка влияния температурных условий предшествующего осенне-зимнего периода на структуру фитопланктонного сообщества и установление биофизического экспресс-индикатора такого влияния, в качестве которого рассматривается интегральный биолюминесцентный потенциал (далее — ИБП). Методика батифотометрического зондирования приборным комплексом «Сальпа» а также сопутствующего сбора и обработки проб фитопланктона опубликованы ранее [Serikova et al., 2016]. На основе среднемесячных данных спутниковых наблюдений за температурой поверхности моря (далее — ТПМ) выделены года с тёплым (2010 и 2013 гг.), умеренным (2009 и 2011 гг.) и холодным (2012 и 2014 гг.) осенне-зимними периодами. Соответствующие оценки отклонений ТПМ (dT), осреднённые за октябрь — февраль, составили: 0,78; 0,28; –0,65.

В ходе сукцессионного анализа были выделены две фазы сезонной сукцессии фитопланктона (весенне-летняя, с февраля по август, и осенне-зимняя, с сентября по январь), развитие которых отличалось в зависимости от предшествующих климатических условий. «Тёплые» годы характеризовались максимальным уровнем развития динофлагеллят, более ранним его началом и продолжительностью (на протяжении всей весенне-летней фазы), за исключением марта 2013 г., когда отмечена вспышка диатомовой водоросли *Pseudo-nitzschia seriata*. Абсолютного максимума за весь период наблюдений биомасса динофлагеллят достигла в апреле 2010 г. за счёт интенсивного развития нескольких видов: *Prorocentrum aporum*, *P. micans*, *P. bidens* и *Scrippsiella acuminata*. Апрельский пик биомассы динофлагеллят совпадал с максимумом ПБ, при этом биомасса автотрофного светящегося вида *S. acuminata* достигала своего абсолютного максимума — 129,85 мг·м⁻³.

В «холодные» 2012 и 2014 гг. уровень развития как диатомей, так и динофлагеллят был минимальным относительно других лет, со сдвигом периодов максимумов на более поздние месяцы, за исключением вспышки развития *Pseudosolenia calcar-avis* в июле 2014 г., обусловившей абсолютный максимум биомассы (989,4 мг·м⁻³) за весь период наблюдений. Динофлагелляты доминировали кратковременно (1–2 месяца) в первой фазе, в то время как период преобладания диатомей увеличился до 3–4 месяцев. Только в «холодные» годы среди доминантов появлялись представители мелкоклеточных диатомовых (в феврале и апреле), которые характеризуют начальную стадию сезонной сукцессии фитопланктона.

Наиболее показательные различия в протекании первой фазы сукцессии отмечены в апреле — мае: если в апреле «тёплых» лет доминирующими были динофлагелляты, то в «холодные» годы — диатомовые водоросли. Из числа доминантов в «холодные» годы выпадают такие светя-

щиеся виды, как *Lingulodinium polyedra*, *Ceratium tripos*, *Protoperidinium depressum* и *P. crassipes*. Видовое разнообразие светящихся динофлагеллят в эти годы было минимальным, как следствие, в весенний период ПБ в верхних слоях практически не развивается.

Что касается первой весенне-летней фазы сукцессии фитопланктона и его влияния на формирование ПБ, то здесь можно отметить разницу в характеристиках вертикального распределения ИБП в зависимости от условий предшествующего осенне-зимнего периода. Сопоставление многолетней динамики ИБП в слое 0–20 м с температурными отклонениями ТПМ за 6-летний период показало, что при положительных отклонениях dT в предшествующий осенне-зимний период развивается весенний максимум ПБ в ВКС, а при отрицательных такой максимум отсутствует. При этом в «холодные» 2012 и 2014 г. отрицательные зимние аномалии ТПМ привели к долгосрочным изменениям в структуре и интенсивности ПБ. В отличие от других лет, в 2014 г. сроки развития весеннего и осеннего максимумов содержания динофлагеллят были сдвинуты на месяц вперёд (на июнь и ноябрь соответственно), доминантами были *Protoceratium reticulatum* и *P. micans*. Из светящихся видов доминировал в оба периода *P. divergens*. В 2012 г. глубокое перемешивание холодных поверхностных вод в феврале привело к резким и долгосрочным изменениям в термохалинной структуре, особенно выраженным в нижних слоях. Сформировавшийся в зимний период холодный промежуточный слой (далее — ХПС) обнаруживался ниже горизонта 36 м во все месяцы вплоть до сентября. В мае и июне 2012 г. протяжённость ВКС составляла 10–15 м, но в нём не развились слои биолюминесценции. В то же время тонкие слои зарегистрированы в июне в слое 40–50 м, то есть в ХПС. Максимумы биомассы светящихся динофлагеллят в мае и июне 2012 г. были обусловлены видами *S. furca* и *P. steinii*, доминирующими, как правило, осенью и не типичными для весны и раннего лета.

Наши исследования в шельфовой зоне Чёрного моря показали, что в «тёплые» годы происходит интенсивное развитие как диатомовых, так и перидиниевых водорослей, с преобладанием последних в первую половину года и сдвигом сроков максимумов на более ранние месяцы. В эти годы отмечается более интенсивное развитие ПБ. В противоположность этому, в «холодные» годы снижается уровень развития и динофлагеллят, и диатомей, который был минимальным относительно других лет. В связи с этим в годы с холодными зимами нарушается сезонная динамика развития вертикальной структуры ПБ, и в результате весенний максимум интенсивности биолюминесценции в ВКС не развивается. Низкий уровень интенсивности ПБ сохраняется вплоть до наступления последнего (осеннего) этапа в развитии вертикальной структуры ПБ.

Для валидации и верификации полученных в настоящей работе выводов относительно средне- и долгосрочного влияния климатических аномалий на структурно-функциональные характеристики фитопланктонного сообщества требуется продолжение регулярного мониторинга в шельфовой зоне Крымского побережья. Интегральный биолюминесцентный потенциал в слоях естественной стратификации вод может выступать в роли биофизического экспресс-индикатора перестроек в структуре фитопланктона, вызванных влиянием климатических температурных аномалий. Также требуется проведение подробного анализа вертикального распределения фитоцена в толще воды с использованием современных методик экспресс-анализа, например визуализирующей проточной цитометрии (FlowCAM).

Работа выполнена в рамках госзаданий ФИЦ ИнБЮМ «Структурно-функциональная организация, продуктивность и устойчивость морских пелагических экосистем» (№ 121040600178-6) и «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом» (№ 121041400077-1), а также при финансовой поддержке проекта СевГУ № 42-01-09/90/2020-3.

Применение фенологических методов для экологического мониторинга

Скок Н. В., Иванова Ю. Р.

Уральский государственный педагогический университет, Екатеринбург, Россия

skok-nv-gbf@mail.ru

На сегодняшний день в геоботанике и фитоценологии наряду с характеристикой структуры и состава растительного сообщества рассматривается и его изменчивость, в том числе сезонная. С точки зрения географии, современные исследования динамики ландшафтов развиваются в тесной связи с биогеоценологией, геохимией и геофизикой ландшафта, опираются на данные индикационного ландшафтоведения, фенологии, отраслевых дисциплин и стремятся к широкому использованию физико-химического и математического анализа [Хромых, 2007]. Одним из видов циклической динамики ландшафтов является сезонная ритмика. Она выражается в чередовании сезонных фаз биотических компонентов, которые находятся в прямой зависимости от абиотических. Таким образом, при проведении фитофенологических исследований с точки зрения как геоботаники, так и ландшафтоведения важно изучение сезонного развития не только отдельных видов (например, доминантных), но и фоновых видов, важно знание о сезонном развитии фитоценоза в целом, как единого сложного организма, где каждый вид имеет свое значение.

Такого рода исследования, как правило, проводятся с помощью трёх методов: сезонных аспектов, фенологических кривых и фенологических спектров. Представители Уральской фенологической школы более 40 лет используют оригинальные количественные методы фитофенологических исследований. Полная классификация и частные случаи их применения на различных территориях содержатся в ранее опубликованных работах [Куприянова, Щенникова, 1982 ; Скок и др., 2014 ; Янцер, Скок, 2016]. Здесь же приведём краткий обзор возможностей этих методов.

Наиболее распространённым и относительно простым методом исследования, применяемым в основном для территорий со сложным рельефом, является описательный интегральный метод [Скок, 2010 ; Иванова, Скок, 2017]. Во время полевых наблюдений характеризуется временной показатель фенологического состояния изучаемого вида. Поскольку интегральные методы базируются на биномиальном распределении, при наличии двух точек сезонного развития процесса (двух зафиксированных наблюдений) на одной и той же территории становится возможным математически рассчитать ход сезонного развития изучаемого вида. Затруднение возникает при проведении масштабных исследований сезонного развития редко встречающихся видов: в некоторых случаях вид может быть не представлен на части изучаемой территории, что сводит на нет возможности сравнения.

Метод комплексных фенологических показателей (КФП) — относительно молодой по сравнению с предыдущим. Его разработка началась в 2000-х гг., а апробация продолжается до сих пор [Иванова, Скок, 2017 ; Иванова и др., 2017]. Главное отличие данного метода заключается в том, что исследуется не один или небольшая выборка видов, а весь фитоценоз. Далее составляется комплексная характеристика сезонного состояния растительного сообщества, что позволяет сравнивать геокомплексы с различным видовым составом. На данный момент существует теоретический вопрос оптимальности использования метода КФП на различных территориях, так как на уровне низших ландшафтных геокомплексов и высотных поясов метод показал высокую досто-

верность полученных различий, а на уровне ландшафтных районов Среднего Урала нами были получены противоречивые данные.

Существует и слабоизученная группа экометрических методов. Их сущность заключается в определении значения элемента места при заданных значениях времени и фенологического состояния объекта. На практике территория разбивается на зоны с разным фенологическим состоянием объекта. Первичный экометрический метод применяется для построения крупномасштабных карт, например карт мощности снежного покрова или карт распространения какого-либо сезонного явления по территории (зеленения берёзы, цветения черники, урожайности клюквы и т. д.). Экометрический интегральный метод, как очень трудоёмкий, до настоящего времени не применялся в исследованиях. Теоретически он пригоден для построения мелкомасштабных карт при условии использования уравнения линейной регрессии, описывающего зависимость сезонного состояния вида от широты, долготы и высоты местности.

Основатель Уральской фенологической школы Владимир Алексеевич Батманов считал, что для изучения крайних начальных или конечных фенологических состояний (раскрытие первых цветков при их потенциально очень большом количестве), а также редко встречающихся сезонных явлений (например, вторичного цветения) должно подойти распределение Пуассона. Данное предположение не подвергалось критическому анализу, и для его разработки требуются детальные исследования.

Несмотря на то, что данные методы были предложены и начали применяться уже в середине XX в., они до сих пор не получили широкого распространения, а большая часть исследователей и в настоящее время использует только классический метод.

Роль видов-вселенцев в структуре сообществ Таганрогского залива в 2014–2020 гг.

Смирнова Е. А.^{1,2}, Оганесян А. А.^{1,2}, Савикин А. И.²

¹Академия биологии и биотехнологии Южного федерального университета, Ростов-на-Дону, Россия

²Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук,

Ростов-на-Дону, Россия

ekaterina-smirnova-2000@inbox.ru

Проблема вселения чужеродных видов имеет крайне важное социально-экономическое и природоохранное значение. Несмотря на то, что большая часть РФ расположена в зонах умеренного и холодного климата, исследования показывают, что чужеродные виды с наибольшей интенсивностью проникают именно в южные регионы [Самые опасные..., 2018]. Массовым вселениям гидробионтов более подвержены мелководные, солоноватоводные, высокоэвтрофные акватории [Кочешкова, 2018]. Именно к таким водоёмам относится Азовское море. Таганрогский залив обособлен от Азовского моря как в гидрологическом, так и в фаунистическом отношении, поэтому большинством исследователей он рассматривается отдельно от собственно моря. При определении облика экосистемы таких водоёмов большое значение имеет целый ряд абиотических факторов, ведущими из которых для бентических сообществ являются солёность и распределение донных осадков.

В настоящее время в Таганрогском заливе процесс вселения экзотических видов идёт значительными темпами, вероятно, потому что многие суда не соблюдают требования по своевременной замене балластных вод, а это приводит к попаданию в экосистему-акцептор голопланктонных видов и планктонных личинок бентосных организмов [Сёмин и др., 2016]. Также необходимо отметить, что вселение и натурализация чужеродных видов происходят из-за коренной перестройки режима функционирования Таганрогского залива, в том числе его осолонения.

Именно поэтому одними из основных задач гидробиологии являются определение структуры фаунистических популяций, обнаружение чужеродных видов и уровня их воздействия на экосистемы.

Исследование основано на материале, собранном ЮНЦ РАН в ходе комплексных экспедиционных исследований Таганрогского залива на НИС «Профессор Панов» и НИС «Денеб» в 2014–2020 гг. Применялись стандартные гидробиологические методы отбора и обработки проб.

Вселение и успешная натурализация полихет рода *Laonome* Malmgren, 1866 в 2013 г. и рода *Marenzelleria* Mesnil, 1896 в 2014 г. указывают на уязвимость экосистемы Таганрогского залива к видам-вселенцам.

Стремительное распространение вида *Marenzelleria neglecta* Sikorski & Bick, 2004 вызвало потребность в проведении мониторинга в водах Таганрогского залива и в бассейне Азовского моря. Она впервые была обнаружена небольшой численностью (до 411 экз.·м⁻²) в Таганрогском заливе в 2014 г. и уже к 2015 г. стала доминантным видом (с плотностью населения до 6823 экз.·м⁻²) почти по всей акватории залива. В 2016–2017 гг. данная полихета встречалась в больших количествах (13882 экз.·м⁻²) в восточной части залива, образуя сообщества с Tubificidae Vejdovsky, 1884, *Alitta succinea* (Frey et Leuckart, 1847) или Chironomidae Macquart, 1838. Однако к 2019 г. плотность поселения в Таганрогском заливе *M. neglecta* стала заметно снижаться (до 400 экз.·м⁻²). Тенденции к сокращению численности сохранялись и в 2020 г. (наибольшая — 235 экз.·м⁻²). Между тем

на некоторых участках акватории этот вид остаётся субдоминантным в сообществах *A. succinea*, уступая ей по численности на ряде станций почти в 5 раз.

Вторая вселившаяся полихета — *Laonome хeprovala* Bick & Bastrop, 2018; впервые она была обнаружена в 2013 г. С 2014 г. представители этого рода регулярно встречались на станциях Таганрогского залива. По данным 2015 г., численность составляла 29–58 экз.·м⁻² [Сёмин и др., 2016]. Уже в 2017 г. представители встречались в восточной части залива (118 экз.·м⁻²) в сообществах с доминированием Tubificidae и Chironomidae. Так, полихеты рода *Laonome* натурализовались в новом местообитании, однако в пробах 2019 и 2020 г. особей этого рода нами обнаружено не было.

Таким образом, *Laonome хeprovala* смогли натурализоваться в Таганрогском заливе как второстепенные виды в составе сообществ, однако большого воздействия на экосистему не оказали. Представители же вида *Marenzelleria neglecta* были более успешны: их ареал обитания охватил весь Таганрогский залив, вид был доминантным в большей части сообществ с 2015 по 2019 г. Лёгкость проникновения *M. neglecta* в экосистему Таганрогского залива, как предполагают, обоснована совместным действием двух факторов — сравнительно немногочисленного видового разнообразия и, соответственно, наличия свободных экологических ниш, а также неустойчивых условий среды.

Адаптация фитопланктона Чёрного моря к климатическим изменениям и усиленной антропогенной нагрузке: гипотезы и факты

Стельмах Л. В., Мансурова И. М., Георгиева Е. Ю., Бабич И. И., Ковригина Н. П.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

lustelm@mail.ru

За последнее столетие в результате изменений климата температура поверхностных вод морей и океанов в глобальном масштабе повысилась приблизительно на 1 °C [Häder, Gao, 2015], что привело к усилению их термического расслоения и ослаблению восходящего потока биогенных веществ [Behrenfeld et al., 2006]. В результате этих процессов изменения наблюдаются и в фитопланктонном сообществе. В настоящее время существует две основные гипотезы о возможных путях его дальнейшей эволюции. В соответствии с первой, ослабление турбулентности и потока питательных веществ в поверхностные воды ведёт к сокращению доли диатомовых водорослей в первичной продукции и биомассе фитопланктона, а также объёма экспорта морской продукции [Voor et al., 2005 ; Laufkötter et al., 2016]. Однако, по другой гипотезе, по мере усиления стратификации водной толщи в фитопланктоне будет возрастать роль крупных диатомовых водорослей, которые могут успешно функционировать в обеднённых по биогенным веществам водах [Kemp, Villareal, 2018]. В пользу второй гипотезы могут свидетельствовать результаты исследований, выполненных в Чёрном море за последние 15 лет. Они показали наличие интенсивного развития в тёплое время года крупноклеточных видов диатомовых водорослей *Pseudosolenia calcar-avis* (Schultze) B. G. Sundström и *Proboscia alata* (Brightwell) Sundström не только в прибрежных водах, обогащённых биогенными веществами антропогенного происхождения, но и в глубоководной области, при низких их концентрациях. В последнем случае биомасса крупных видов может быть достаточно высокой, достигая 100–150 мг С·м⁻³, что вступает в противоречие с крайне низким содержанием минеральных форм азота в среде, и прежде всего нитратов. Причины такого явления до настоящего времени окончательно не выяснены. Мы полагаем, что данные виды водорослей, наряду с динофитовыми, обладают высокой степенью физиологической пластичности, что позволяет им успешно конкурировать с другими видами водорослей в водах с низким уровнем питательных веществ. Так, они способны накапливать внутри клеток большой запас биогенных элементов, позволяющий им сохранять свою жизнеспособность в течение длительного времени, осуществлять периодические вертикальные миграции для пополнения клеток биогенными веществами в нижних слоях. Динофитовые водоросли при неблагоприятных по питательным веществам условиям могут переходить к фаготрофии, а крупноклеточные виды диатомовых — использовать атмосферный азот за счёт их симбиоза с азотфиксирующими цианобактериями. На примере прибрежных вод Чёрного моря (район Севастополя) показано хроническое стимулирующее воздействие органических загрязняющих веществ на рост видов динофитовых водорослей, тогда как мелкоклеточные виды диатомовых испытывают чаще всего хроническое угнетающее действие этих веществ.

Слабое потребление крупных диатомовых зоопланктоном повышает их конкурентоспособность по сравнению с другими видами водорослей. В результате перечисленных выше процессов роль крупных видов диатомовых водорослей вместе с динофитовыми в формировании сезонных максимумов биомассы фитопланктона в Чёрном море в последние годы стала определяющей.

Между тем в конце прошлого столетия именно мелкоклеточные виды диатомовых водорослей создавали основную биомассу фитопланктона в сезонных максимумах как в глубоководной области моря, так и в его прибрежных районах. Преобладание в фитопланктоне мелкоклеточных видов водорослей способствует их интенсивному выеданию микрозоопланктоном, на долю которого, по нашим данным, приходится около 65 % потребления годовой первичной продукции. В случае доминирования крупных видов диатомовых водорослей доля потребленной микрозоопланктоном первичной продукции существенно ниже, что увеличивает её экспортную часть.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и администрации г. Севастополя в рамках научного проекта № 20-45-920002 «Стратегии адаптации фитопланктона и его потребление микрозоопланктоном под влиянием климатических изменений и антропогенной нагрузки на прибрежные экосистемы Чёрного моря (район Севастополя)», а также по теме государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом» (№ гос. регистрации 121041400077-1).

Структурно-функциональная роль офиур в донных сообществах арктических морей

Стратаненко Е. А.

Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

e.stratanenko@mail.ru

О количественном распределении змеехвосток в арктических морях известно не так много, имеющиеся материалы разрозненны и отдельно по рассматриваемой группе в публикациях не приводятся. Согласно литературным источникам [Сиренко, Алимов, 2004], в биоценозах морей арктического бассейна, начиная с глубин 60–550 м на участках дна с илистыми и илисто-песчаными грунтами, обеднёнными органическим веществом, офиуры зачастую выступают в качестве доминирующей группы зообентоса.

На основе анализа данных многолетних исследований количественного распределения бентоса в арктических морях России нами было выявлено, что наиболее высокая доля офиур в общей биомассе сообществ характерна для участков дна, расположенных вблизи юго-восточных берегов о-ва Шпицберген, в северо-западной части Баренцева моря, в Карском море в пределах желобов Святой Анны и Новоземельского и к северо-востоку от архипелага Северная Земля. Из 26 видов змеехвосток, обитающих в арктических морях России, 10 могут быть доминантами по биомассе в составе зообентоса: *Gorgonocephalus arcticus*, *G. eucnemis*, *Ophiocten sericeum*, *Ophiacantha bidentata*, *Ophiopleura borealis*, *Ophioscolex glacialis*, *Ophiura robusta*, *O. sarsii*, *Ophiopholis aculeata* и *Stegophiura nodosa*.

Кроме того, крупные скопления офиур могут быть важным регулятором численности беспозвоночных, поскольку при питании вместе с детритом и сестоном змеехвостки часто захватывают личинок и молодь планктонных и донных организмов. В то же время обнаружение офиур в составе пищевых комков демерсальных рыб и крабов показывает, что они и сами могут служить пищевым ресурсом для вышеназванных гидробионтов. Однако в настоящее время мало что известно об избирательности рыб по отношению к офиурам и о продукционных возможностях этих иглокожих. Непонятно, почему рыбы часто поедают змеехвосток, несмотря на их низкую калорийность.

Полученные нами Р/В-соотношения для массового вида *S. nodosa* в популяции у о-ва Долгий (юго-восток Баренцева моря) демонстрируют, что этот показатель, $0,300 \text{ год}^{-1}$, мало отличается от такового для зообентоса водоёма в целом, $0,25 \text{ год}^{-1}$ [Денисенко, 2013]. *Stegophiura nodosa* продуцирует органическое вещество в количествах, равных среднегодовой биомассе примерно за три с четвертью года, что не сильно отличается от скорости самовоспроизводства остальных гидробионтов, потребляемых бентосоядными рыбами. Тем не менее такая сбалансированность может быть нарушена в результате усиливающегося закисления Мирового океана, которое в наибольшей степени ощущается в высоких широтах. Недостаток минерализованного карбоната кальция в рационе рыб может вызвать чрезмерное потребление офиур и других иглокожих, и это негативно скажется на биопродукционных процессах и биоразнообразии приполярных морей в целом.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-05-60157 «Вековые изменения донных экосистем арктических морей России, современное состояние и прогноз» и в соответствии с госзаданием НИОКР № АААА-А19-119020690072-9 от 06.02.2019 «Таксономия, биоразнообразие и экология беспозвоночных российских и сопредельных вод Мирового океана, континентальных водоёмов и увлажнённых территорий».

Анализ пространственного и временного распределения частиц микропластика на ландшафтной основе (на примере Алтайского региона)

**Черных Д. В., Малыгина Н. С., Курятникова Н. А., Бирюков Р. Ю., Золотов Д. В.,
Першин Д. К., Митрофанова Е. Ю.**

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия

chernykhd@mail.ru

Многие природные и антропогенно обусловленные процессы предопределяются ландшафтной структурой, а глобальные потоки преломляются в ландшафтных границах. В рамках данного исследования сделана попытка выявить ландшафтные закономерности в дифференциации частиц микропластика на примере обширного внутриконтинентального региона, включающего юг Западно-Сибирской равнины и горы Русского Алтая.

Для задач исследования наиболее актуальными явились следующие положения ландшафтного подхода: 1) представление о полиструктурности ландшафтного пространства; 2) представления о границах как неотъемлемом атрибуте геопространства и о зонах мобилизации, транзита и разгрузки вещества; 3) представление об иерархическом устройстве пространства и ведущей роли различных факторов на разных уровнях его организации; 4) представление о послойной организации информации в ландшафтном пространстве и ландшафтно-интерпретационное картографирование.

Для проведения исследования было выбрано шесть ключевых территорий, для которых были подготовлены и адаптированы под задачи проекта ландшафтные карты: Центральный Алтай (ЦА), Северо-Восточный Алтай (СВА), Северо-Западный Алтай (СЗА), Предалтайская предгорная лесостепь (ПАЛС), лесостепная зона Западно-Сибирской равнины (ЗСЛС), степная зона Западно-Сибирской равнины (ЗСС). Выбранный для изучения регион характеризуется чрезвычайно контрастными ландшафтными обстановками. На относительно небольшом расстоянии (немногим более 500 км) диапазон абсолютных высот превышает 4000 м: абсолютная высота г. Белуха на Катунском хребте составляет 4506 м, а высота уреза воды в оз. Кучукское — 98 м.

Изначально адаптация ландшафтной основы включала интерпретацию положения выделов относительно направления господствующих воздушных потоков. В результате ландшафты ключевых территорий были разделены на четыре барьерно-экспозиционные группы: ландшафты свободной атмосферы (Б1), ландшафты барьерного подножия (Б2), ландшафты барьерной тени (Б3), внебарьерные ландшафты (Б4).

Затем ландшафты ключевых территорий были дифференцированы на группы по сложности вертикальной структуры в максимум сезонного развития [Беручашвили, 1990]. В соответствии с задачами в расчёт принимались лишь надземные геогоризонты с преобладанием фитомасс. Выделено три группы ландшафтов — простой (С1), средней (С2) и высокой (С3) сложности.

В результате адаптации ландшафтной основы значимая информация была организована в виде матричной легенды, были подготовлены ландшафтно-интерпретационные карты ключевых территорий.

Полевые исследования на ключевых территориях включали выбор на местности конкретных местоположений для отбора снега и установки пробоотборников с учётом репрезентативности провинциальных ландшафтных обстановок и характерных ландшафтных сопряжений; ландшафт-

ные и ботанические описания и отбор проб проведены согласно плану и схеме размещения полигонов.

В конце зимнего периода 2019/20 г. осуществлялся отбор снежного покрова. Для отбора атмосферных осадений в тёплый период в его начале были изготовлены и установлены пробоотборники, соответствующие международным рекомендациям, которые были собраны в конце тёплого периода.

Комбинация световой, флуоресцентной, сканирующей электронной микроскопии и рентгеновской спектроскопии позволила обнаружить частицы микропластика во всех пробах снежного покрова и в большинстве ловушек шести ключевых территорий.

Анализ особенностей и закономерностей распределения частиц и волокон микропластика осуществлялся на трёх уровнях: 1) на уровне ключевых территорий; 2) на уровне типологических групп ландшафтов в соответствии с разработанной классификацией; 3) на уровне конкретных ландшафтных сопряжений. На первом уровне была выявлена важная закономерность: шесть ключевых территорий чётко объединились в две группы по количеству определённых в них частиц микропластика. В первую вошли ЦА, СЗА и ЗСЛС, для которых характерно повышенное содержание микропластика в пробах снега и пониженное в атмосферных осадениях в тёплый период. Для второй группы (СВА, ПАЛС, ЗСС) характерна обратная ситуация. Такая группировка находит логичное объяснение в результатах, полученных в ходе сопряжённого анализа (включающего синоптический). Полученные на втором уровне рассмотрения выводы в настоящий момент носят предварительный характер, однако позволяют оптимизировать исследования в будущем. Во-первых, имеющийся объём данных не позволяет говорить о статистически значимых зависимостях между содержанием частиц микропластика и ландшафтными характеристиками. Во-вторых, в тех случаях, когда перенос и поступление частиц в ландшафт определяются воздушной миграцией, закономерности в распределении частиц антропогенного происхождения в значительной степени зависят от условий циркуляции в конкретный период. Иными словами, аналогичные в типологическом отношении ландшафты, но позиционно по отношению к господствующим ветрам расположенные неодинаково будут содержать разное количество микрочастиц. Это является следствием того, что позиционно-динамическая ландшафтная структура не совпадает с генетико-морфологической структурой. Роль барьерного фактора на этом уровне рассмотрения, видимо, несколько иная, чем на предыдущем, и из трёх групп, выделенных по уровню сложности вертикальной структуры в максимум сезонного развития, наибольшее количество микропластика в снежном покрове фиксируется у ландшафтов, в пределах которых доминируют абиогенные поверхности. На третьем (локальном) уровне, представленном характерными ландшафтными сопряжениями (катенами), роль воздушной миграции в транспорте вещества существенно меньше роли водной миграции.

Количество микропластика во всех пробах снежного покрова не превышает $40 \text{ шт.} \cdot \text{л}^{-1}$ и в среднем сопоставимо с результатами, приведёнными в публикациях для Гималаев (30 и $22 \text{ шт.} \cdot \text{л}^{-1}$), и почти в пять раз меньше, чем в снежном покрове Швейцарских Альп ($190 \text{ шт.} \cdot \text{л}^{-1}$).

При этом минимальное варьирование было характерно для ЦА, а сопоставимые максимальные значения количества идентифицированного микропластика в отдельных точках были получены для лесостепной и степной зон Западно-Сибирской равнины. Максимальное разнообразие микропластика (гранулы, волокна, плёнки, фрагменты и пеноматериал) было отмечено в снежном покрове ЦА, при этом в СВА и ЗСС было определено лишь четыре формы, то есть не были обнаружены волокна.

На основании полученных результатов по количеству микропластика в пробах атмосферного осаждения были рассчитаны потоки поступления микропластика на подстилающую поверхность для всех ключевых территорий исследования (то есть количество частиц или волокон, которые осаждались на площадь в 1 м² в среднем за один день). Максимальное количество микропластика в тёплый период осаждалось в ЗСС. Полученные значения довольно велики по сравнению с таковыми для других ключевых территорий, но сопоставимы с результатами для городских агломераций или существенно антропогенно нагруженных территорий, а также для районов с засушливым климатом.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проект № 19-05-50055.

Экология водоёмов: от нахождения среднего к пониманию уникального

Шадрин Н. В.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

snickolai@yandex.ru

В настоящее время биосфера быстро меняется в результате климатической вариабельности и, даже в большей степени, антропогенной деятельности. Вследствие этого экологические риски для поддержания нормальной жизнедеятельности людей увеличиваются, а шансы удовлетворить потребности растущего человечества в продовольствии, пресной воде и других ресурсах сокращаются. Разрушение ландшафтов и уменьшение устойчивости и продуктивности природных экосистем — результат неадекватного менеджмента окружающей среды, базирующегося на усреднённом понимании экосистем. Очевидно, что интегрированные управленческие подходы должны основываться только на адекватных экологических концепциях. В настоящее время происходит смена парадигм в концепциях экологии водоёмов, которая прошла сложный путь к тому, чтобы стать количественной наукой. Для этого ей пришлось долгое время усреднять и упрощать свой взгляд на уникальные биологические и экологические системы и процессы, так как без этого невозможно было найти общие закономерности и описать их количественно. Неизбежным следствием этого стал взгляд на природу через призму «среднего». Сейчас начинает осознаваться, что все биологические и экологические системы по своей сути являются уникальными. На это в своих работах 1950–1960 гг., в частности, уже указывал В. С. Ивлев, об этом несколько позже писал Г. Г. Винберг. Очевидно, что «средних» экосистем в природе нет. Для анализа и понимания реальных популяций и экосистем одних усреднённых зависимостей недостаточно, нужно как-то учитывать и их индивидуальность/уникальность. Именно поэтому в изучении и понимании экологических систем ключевыми понятиями становятся такие, как «нелинейность», «вероятность», «множественность», «критические значения», «точка невозврата» (tipping point), «альтернативные состояния», «неопределённость», «фрактальность», «сложность», «дополнительность», «самоорганизованная критичность» и т. д. Уровень осмысленности этих понятий в экологии ещё не высок, исследования в этом направлении только начинаются, но без развития их понимания предсказательная экология невозможна. Данный доклад, возможно, будет содействовать трансформации современных экологических концепций к включению в них элементов, отображающих уникальность экосистем. В настоящее время формируется индивидуальная медицина как важное направление медицинской науки и практики, ориентированное на необходимость учёта особенностей каждого пациента для выбора стратегии и тактики оптимального лечения. Вероятно, уместно ставить такую задачу и перед экологией — необходимость учёта индивидуальных особенностей водоёма при разработке стратегии и тактики его сохранения и устойчивого многоцелевого использования. В связи с поставленной задачей кратко рассматриваются следующие вопросы:

- 1) нелинейность взаимосвязей в водной экологии и изменчивость экологических «констант»;
- 2) неаддитивность свойств популяций и экосистем;
- 3) роль пространственной и временной неоднородности в поддержании устойчивости водных экосистем;
- 4) альтернативные состояния и адаптационный цикл; роль фактора случайности;
- 5) роль балансовых подходов в экологии на современном этапе.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ (проект № 18-16-00001).

Особенности развития подлёдного фитопланктона в небольших субарктических озёрах

Шаров А. Н.

Институт биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина РАН, Борок, Россия

sharov@ibiw.ru

Сегодня существуют серьёзные опасения по поводу потенциальных последствий быстрого потепления климата и, как следствие, уменьшения ледяного покрова в высокоширотных озёрах. Растёт интерес к изучению жизни подо льдом, в том числе фитопланктона. Многие факторы, которые контролируют и стимулируют рост фитопланктона подо льдом и сразу после его расплытия, ещё полностью не изучены. В олиготрофных водоёмах Севера европейской территории России сезонная динамика фитопланктона характеризуется одним весенним пиком биомассы. Весной подо льдом доминируют динофитовые и диатомовые водоросли. Исследования проводились в 2019–2021 гг. на озёрах Севера Карелии (оз. Кривое N66.3435°, E33.6375°; оз. Круглое N66.3429°, E33.6119°). Это типичные озёра севера Балтийского кристаллического щита, которые не подвержены прямому антропогенному влиянию.

Камеральная обработка проб льда показала, что в данных озёрах не обнаружено массовое развитие ледовой альгофлоры. Видимые замёрзшие включения имели, скорее всего, химическую природу, и не имели отношения к развитию водорослей. Видовой состав и количественные показатели альгофлоры льда не отличались от таковых в подлёдной воде.

В подлёдном фитопланктоне в период исследования доминировали цианобактерии, диатомовые и криптофитовые водоросли. Количественные показатели варьировали в диапазоне 0,003–0,083 мг·л⁻¹ в зимний период и составляли до 0,65 мг·л⁻¹ весной. Максимальная биомасса зарегистрирована в апреле — мае подо льдом. Весеннее цветение связано с развитием динофитовых водорослей *Peridinium aciculiferum*. Массовое развитие цианобактерий *Coelosphaerium kutzingianum* и *Phormidium irriguum* зафиксировано 30 марта 2020 г. подо льдом (60 см). Колонии цианобактерий были собраны в комочки светло-коричневого цвета длиной до 7 мм. Подобное явление было зарегистрировано впервые.

В среднем за вегетационный сезон биомасса фитопланктона составила (0,37 ± 0,05) мг·л⁻¹, что более чем в 2 раза превышает биомассу (0,15 ± 0,01) мг·л⁻¹, зафиксированную в первый этап исследований (1968–1972). При этом наблюдалась межгодовая вариабельность средней за сезон биомассы фитопланктона. Вместе с тем показатели фитопланктона остаются характерными для озёр, не подверженных значительному загрязнению и не находящихся под сильным антропогенным прессом. Климатическая изменчивость, в том числе в зимний период, влияет на развитие планктонных водорослей. Обнаружена корреляция средней за сезон биомассы фитопланктона с индексом североатлантического колебания (North Atlantic Oscillation, NAO). Криптофитовые водоросли, ранее не наблюдавшиеся в планктоне, *Cryptomonas obovata*, *C. marssonii*, *C. ovata*, *Kotma caudata* и *Katablepharis ovalis*, в последние годы стали широко распространённой группой. В летний и осенний период наблюдалось массовое развитие цианобактерий *Anabaena lemmermannii*, которые могут выделять высокотоксичные микросистины MC-LR.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 19-04-01000 и при поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания № 121051100099-5.

Динамика планктонных сообществ Чебоксарского водохранилища за 40-летний период его существования

Шурганова Г. В., Жихарев В. С., Гаврилко Д. Е., Кудрин И. А.

Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени Н. И. Лобачевского,
Институт биологии и биомедицины, Нижний Новгород, Россия

galina.nngu@mail.ru

Одной из принципиальных особенностей водохранилищ является высокая динамичность их развития. При этом существует уникальная возможность на протяжении жизни одного поколения исследователей проследить этапы формирования гидробиоценозов водохранилищ и выявить особенности их количественных и качественных перестроек в пространстве и во времени. Накопленный за десятилетия фактический материал по динамике изменений гидробиоценозов водохранилищ России позволяет выделить отдельные этапы их развития. При активном использовании водохранилищ в различных целях их гидробиоценозы не стабилизируются. Для составления адекватной картины их динамики необходимо оперировать надёжными данными многолетних мониторинговых исследований. Для Чебоксарского водохранилища такая возможность существует, и с применением современных методов статистической обработки нами получена наглядная картина динамики сообществ зоопланктона за 40-летний период его существования.

На основе развиваемых нами представлений о видовой структуре сообществ зоопланктона как многомерной динамической системы в акватории Чебоксарского водохранилища выявлены пространственно непрерывные области, характеризующиеся сходством видовой структуры, которые мы считаем областями пространственного расположения отдельных планктонных сообществ. Исходными данными для многомерного анализа были списки видов зоопланктона с указанием численности отдельных видов.

На начальном этапе существования Чебоксарского водохранилища происходили не только значительные перестройки пространственного размещения зоопланктоценозов, но и возникновение новых. Анализ этих процессов позволил установить, что из исходных двух речных, лево- и правобережного, зоопланктоценозов в акватории последнего уже на второй год существования водохранилища (1982) возник новый зоопланктоценоз. К 1985 г. этот зоопланктоценоз разделился на переходный и озёрный планктоценозы. При этом первоначально небольшая акватория озёрного зоопланктоценоза, примыкающая к Чебоксарской ГЭС, с течением времени увеличивалась за счёт сокращения акватории переходного. Это сопровождалось ростом различий видовой структуры переходного и озёрного планктоценозов. В то же время исходные различия лево- и правобережного речных зоопланктоценозов становились менее существенными, а акватории, занятые ими, сокращались. Перестройки видовой структуры зоопланктоценозов за более чем 20-летний период существования Чебоксарского водохранилища были направлены в сторону усиления лимнофильных черт. В результате через 20 лет существования водохранилища отчётливо выделялись четыре основных зоопланктоценоза с характерными для них особенностями видовой структуры: лево- и правобережные речные, занимающие соответственно лево- и правобережные участки водохранилища от устья р. Оки до г. Лысково, переходный и озёрный, размещённые в акватории водохранилища от г. Лысково до г. Васильсурска и от Васильсурска до Чебоксарской ГЭС.

На основании мер сходства видовой структуры зоопланктона по станциям отбора проб в 2011 г. в акватории Чебоксарского водохранилища, как и в предыдущие годы, было выделено четыре основных зоопланктоценоза. Достаточно чётко выделялись левобережный и правобережный речные зоопланктоценозы, менее чётко — переходный и озёрный. Левобережный речной зоопланктоценоз, как и в предыдущие годы, представляет собой трансформированный и обеднённый количественно зоопланктоценоз Горьковского водохранилища с численным преобладанием ракообразных. Правобережный речной зоопланктоценоз, находящийся под формирующим влиянием р. Оки, характеризуется значительным развитием ветвистого рачка *Moina brachiata* и коловратки *Asplanchna priodonta*. Роль реофильных коловраток рода *Brachionus* снизилась по сравнению с таковой в предыдущие годы. Таким образом, на период 2011 г. в акватории водохранилища выделены дискретные по видовой структуре сообщества зоопланктона. Характерно значительное усиление лимнофильных черт во всех сообществах зоопланктона, что, по-видимому, представляет собой следующий этап направленного изменения видовой структуры зоопланктоценозов.

Уникальность Чебоксарского водохранилища состоит в формировании его водных масс из двух потоков — левобережного, поступающего из Горьковского водохранилища, и правобережного, привносимого р. Окой. Границы окского и волжского потоков в акватории средней речной части Чебоксарского водохранилища с самого начала создания водохранилища претерпевали значительные изменения. В первом десятилетии XXI в. было показано, что окский поток занимал правобережье средней речной части Чебоксарского водохранилища до створа ниже г. Кстово. Исследования 2018 г. показывают, что границы окского потока, а следовательно и зона гомогенизации водных масс, существенно сдвинулась вниз по течению до пос. Кременки. При этом в 2020 г. граница окского потока существенно сместилась вверх по течению в направлении г. Н. Новгорода. Существенное изменение границ речных сообществ зоопланктона, вероятно, связано с изменяющимся гидрологическим режимом водохранилища.

В 2020 г. значительно увеличилась площадь озёрного зоопланктоценоза, при этом переходный зоопланктоценоз перестал существовать. По всей видимости, произошла перестройка видовой структуры переходного зоопланктоценоза в озёрный.

Таким образом, в результате многолетних мониторинговых исследований видовой структуры Чебоксарского водохранилища выявлена её межгодовая динамика с момента создания водохранилища вплоть до настоящего времени. Перестройки видовой структуры зоопланктонных сообществ, хорошо отражающие воздействие различного рода факторов, как природных, так и антропогенных, и сопровождающиеся изменением занимаемых зоопланктоценозами акваторий, свидетельствуют о продолжающихся активных динамических процессах в экосистеме водохранилища. Полученные результаты имеют существенное значение для дальнейшего развития современных представлений о структуре и функционировании водных экосистем.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 19-34-90013 и 20-34-90097 и Русского географического общества в рамках грантовых экспедиций «Плавучий университет Волжского бассейна» № 06/2018-Р, 02/2019-Р и 07/202-р.

Влияние ветра на распределение зоопланктона: на примере небольшого гиперсолёного озера Мойнаки (Крым)

Яковенко В. А., Шадрин Н. В., Ануфриева Е. В.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

lana_anufrieva@mail.ru

Среди важных факторов, определяющих развитие и распределение зоопланктона в озёрах, таких как температура, солёность, кислород и ветер, последний остаётся недостаточно исследованным. Сила и направление ветра существенным образом влияют на пространственное распределение зоопланктона. В мелководных озёрах существует эффект ветрового перемешивания с ресуспензией донных отложений. С одной стороны, это ведёт к поступлению в воду дополнительного количества биогенных элементов со дна, а с другой — увеличивает мутность воды, угнетая фотосинтез, а иногда и зоопланктеров-фильтраторов. В отличие от влияния других указанных выше факторов, влияние ветра проявляется очень быстро — в тот же день, а при повторяющихся ветрах даёт отложенный эффект. В момент отбора проб зачастую именно ветер играет ведущую роль в определении количества зоопланктонных организмов на исследуемой станции, и игнорирование фактора ветра может исказить интерпретацию полученных результатов.

С целью изучения влияния силы и направления ветра на количественные показатели зоопланктона в качестве модельного водоёма было выбрано гиперсолёное озеро Мойнаки (Западный Крым). Пробы зоопланктона отбирались в среднем 2 раза в неделю с 26 июня 2020 г. по 3 апреля 2021 г., на разных берегах при одновременном измерении температуры, солёности и кислорода. Параллельно ежедневно измеряли силу и направление ветра. За время исследования солёность составляла 50,0–64,0 г·л⁻¹, температура — +3,5...+30,0 °С, концентрация кислорода — 4,9–13,7 мг О₂·л⁻¹. Преобладающим направлением ветра было восточное и северо-восточное. В составе зоопланктона озера доминировали следующие виды ракообразных: *Gammarus aequicauda*, *Moina salina*, *Eucypris mareotica* и *Cletocamprus retrogressus*. Реже встречались кладоцеры *Chydorus sphaericus* и *Bosmina coregoni*, коловратка *Hexarthra fennica*, фораминифера *Aubignuna perlucida*, личинки гастропод *Bittium reticulatum*. Численность и биомасса зоопланктона не коррелировала с солёностью. В периоды высокой температуры летом снижалась концентрация кислорода, наблюдалось резкое уменьшение численности зоопланктона вследствие массовой гибели гаммарусов и мойн. Общая численность зоопланктона у наветренного берега колебалась от 0,12 до 379,2, в среднем составляя (74,4 ± 94,5) тыс. экз.·м⁻³; у подветренного — от 0,44 до 44592, в среднем (1788,9 ± 8561,1) тыс. экз.·м⁻³. Наибольшей численности достигал вид *M. salina* в летний период — в среднем (71,8 ± 93,6) тыс. экз.·м⁻³ у наветренного берега и (1784,4 ± 8561) тыс. экз.·м⁻³ у подветренного. При преобладающем северо-восточном и восточном ветрах наибольшая численность зоопланктона наблюдалась на юго-западном берегу озера — до 1,8–44,6 млн экз.·м⁻³, в основном за счёт скопления *M. salina*. Отмечена достоверная корреляция между повторяемостью ветров и численностью/биомассой зоопланктона. Наибольшая разница в численности/биомассе зоопланктона у наветренного и подветренного берегов наблюдалась в тех случаях, когда несколько дней подряд перед отбором проб дул один и тот же ветер. Общая численность и биомасса зоопланктона, а также численность и биомасса видов *G. aequicauda* и *M. salina* были достоверно ($p = 0,01$) выше у подветренного берега по сравнению с наветренным. Уровень различий в численности рачков у разных берегов был не одинаков у изученных видов.

Выводы: 1) сила и направление ветра существенно влияют на характер пространственного распределения численности планктонных ракообразных; 2) количественно проявление этого влияния неодинаково у разных видов; 3) необходимы дальнейшие исследования в этом направлении.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 18-16-00001, Е. В. Ануфриева, Н. В. Шадрин).

Состояние планктонных сообществ в открытой северо-восточной части Чёрного моря в декабре 2017 г.

Ясакова О. Н.¹, Литвин А. Ю.²

¹Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук,
Ростов-на-Дону, Россия

²НУНИМБЦ КубГУ, Новороссийск, Россия

yasak71@mail.ru

Исследования планктонных сообществ в северо-восточной части Черного моря (район Южной Озерейки) были выполнены на 4 прибрежных станциях в декабре 2017 г. Пробы фитопланктона отбирали с борта судна в светлое время суток батометром с двух горизонтов — поверхностного и придонного; отбор проб зоопланктона производили сетью Джели тотально.

Фитопланктон. В период исследований обнаружено 25 видов фитопланктона, относящихся к 4 отделам: Bacillariophyta (диатомовые), Dinophyta (динофитовые), Chrysophyta (золотистые) и Cryptophyta (криптофитовые). Максимальное видовое разнообразие отмечено среди динофитовых (10 видов) и диатомовых водорослей (12 видов). Другие отделы были представлены 1–2 видами. Максимальное число видов (14–15) отмечено на более удалённых от берега станциях (№ 3 и 4).

Средние по району величины численности и биомассы фитопланктона составили 172 тыс. кл.·л⁻¹ и 42,58 мг·м⁻³ соответственно. Максимальные величины численности наблюдали на ст. № 4 (262 тыс. кл.·л⁻¹), минимальные — на ст. № 1 (50 тыс. кл.·л⁻¹). Наибольшие величины биомассы в этот период обнаружены на ст. № 3 и 4 (47,93 и 86,78 мг·м⁻³ соответственно), они в 3–5 раз превышали значения, отмеченные на прибрежных ст. № 1 и 2 (15,14 и 20,47 мг·м⁻³ соответственно). Снижение качественного (видового состава) и количественного развития (численности и биомассы) планктонных водорослей на ст. № 1 и 2 связано, вероятно, с последствиями антропогенной деятельности.

Доминирующими по численности (61 и 34 %) в период исследований были золотистые водоросли и криптомонады. Диатомовые и динофитовые водоросли в сумме формировали не более 5 % от общего обилия. Основу биомассы фитопланктона составили диатомовые и золотистые водоросли (17 и 63 % соответственно). Динофитовые и криптомонады в сумме формировали 20 % общей биомассы. Основным видом среди золотистых водорослей была *Emiliania huxleyi* (диаметр клеток — 7–8 мкм), максимальное развитие которой (242 тыс. кл.·л⁻¹) отмечали в районе, характеризующемся лучшим водообменом с открытым морем (на ст. № 3 и 4). Период интенсивной вегетации этого вида в акватории Чёрного моря в последние десятилетия более растянут во времени и может включать первую половину зимы [Суханова, 1995]. Вторым видом золотистых водорослей, *Octactis octonaria*, в незначительном количестве (14 кл.·л⁻¹) был отмечен только на ст. № 4. Криptomonаты были представлены одним нанопланктонным видом (размер клеток — 6–9 мкм), *Plagioselmis prolunga*; его максимальное развитие отмечали на ст. № 2 (148 тыс. кл.·л⁻¹).

Среди диатомовых водорослей в массе развивались мелкоклеточные представители диатомовых водорослей — *Nitzschia tenuirostris*, *Skeletonema costatum* и *Thalassionema nitzschioides*; в сумме они формировали 90 % численности отдела. Основным видом, *Thalassionema nitzschioides*, и крупные виды, *Navicula* sp. и *Pseudosolenia calcar-avis*, составили основу (83 %) биомассы диатомовых водорослей. Среди динофитовых водорослей наиболее многочисленными были виды

рода *Gymnodinium* и *Lessardia elongata* (в сумме 88 % численности отдела); в меньшем количестве отмечали развитие *Prorocentrum cordatum* и *Heterocapsa triquetra* (в сумме 7 %). Однако основную величину биомассы среди них формировали такие крупные виды, как *Ceratium furca* (21 %), *Ceratium fusus* (18 %) и *Protoperidinium crassipes* (22 % биомассы отдела).

Зоопланктон. В декабре 2017 г. в акватории исследуемого района обнаружено 13 видов и таксономических групп зоопланктона. Наибольшим видовым разнообразием характеризовались copeподы (6 видов): *Acartia clausi*, *Acartia tonsa*, *Calanus euxinus*, *Paracalanus parvus*, *Pseudocalanus elongatus* и *Oithona davisae*. Из других групп обнаружена аппендикулярия *Oikopleura dioica*. Меропланктон представлен науплиальными и ципривидными личинками усоногих раков, личинками двустворчатых моллюсков, полихет и нематод. Отмечены также бенто-пелагические животные — гарпактикоиды, остракоды и фораминиферы.

Средние показатели численности и биомассы кормового зоопланктона в районе исследований составили 8062 экз.·м⁻³ и 173,39 мг·м⁻³ соответственно.

Превалировали copeподы, из них наибольший вклад в численность зоопланктона (44 %) внёс веслоногий рачок *Oithona davisae*. Содоминантами выступали *Acartia clausi* и *Paracalanus parvus*, их доля в численности планктона — 22,8 и 17,5 %, соответственно. За счёт крупных размеров рачков виды *Acartia clausi* и *Paracalanus parvus* формировали 46 и 13 % общей биомассы зоопланктона соответственно.

Из меропланктона наибольшие значения приходились на долю ракушковых раков (*Ostracoda* sp.). В суммарных показателях численности и биомассы кормового планктона их доля составила 9 и 25 % соответственно.

Распределение зоопланктона по станциям относительно равномерное, от 8 до 10 таксономических единиц. Наибольшие значения численности и биомассы отмечены на ст. № 1 (10744 экз.·м⁻³ и 192 мг·м⁻³); наименьшая численность зарегистрирована на ст. № 2 (5955 экз.·м⁻³), а биомасса — на ст. № 3 (145,58 мг·м⁻³).

Значительное видовое разнообразие и высокие количественные величины развития зоопланктона свидетельствуют о благоприятной экологической обстановке, сложившейся в исследуемой зоне моря.

Публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН, № АААА-А18-118122790121-5.

Flow Cytometry–Measured Cryptophyta Abundance and Biomass in the Bransfield Strait During Austral Summer

Mukhanov V. S.¹, Sakhon E. G.¹, Polukhin A. A.², and Artemiev V. A.²

¹A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

²Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

v.s.mukhanov@ibss-ras.ru

Summer phytoplankton blooms in coastal waters of the Antarctic Peninsula are usually associated with a shallow upper mixed layer, that keeps phytoplankton under favorable light conditions and better supply of dissolved iron. As a rule, diatoms and/or haptophytes (predominantly *Phaeocystis antarctica*) make the largest contribution to the blooms, but the role of cryptophytes has been reported to increase sufficiently, especially in water areas of melting glaciers. The mechanisms behind Cryptophyta bloom formation are still poorly understood. In this study, we characterized the nanophytoplankton assemblages by flow cytometry, identify their Cryptophyta component, and analyze their distribution across the Bransfield strait (79th cruise of the RV “Akademik Mstislav Keldysh”) in relation to hydrology and hydrochemistry of two major water masses: the warmer and less salty Transitional Zonal Water with Bellingshausen influence (hereinafter TBW) and the cold and salty Transitional Zonal Water with Weddell Sea influence (hereinafter TWW).

Two nanophytoplankton clusters were distinguished and enumerated using a Cytomics™ FC 500 flow cytometry system (Beckman Coulter Inc., USA): larger cells (about 9 μm) of cryptophytes (hereinafter CP) with bright orange fluorescence and smaller (3 μm) other nanophytoplankton (hereinafter NP). In total, 21 biological, hydrological, and hydrochemical variables were measured in the study area and investigated by the methods of multivariate statistical analysis.

The highest Chl a fluorescence values were measured at the northern stations of the transect within TBW. Distribution pattern of the total biomass of nanophytoplankton was the same, with a patch of high values at the same stations and depths. This provided evidence that nanophytoplankton were a major, if not dominant, component of phytoplankton in the study area.

In general, CP were significantly less abundant [$(0.35 \pm 0.46) \times 10^6$ cells·L⁻¹; ± SD is presented here and further] than NP: $(1.71 \pm 1.07) \times 10^6$ cells·L⁻¹. However, their cells were much larger (about 9.5 μm versus 3 μm in NP). So, their average carbon biomass (33 ± 45 μg C·L⁻¹) sufficiently exceeded that of NP: (4.3 ± 3.2) μg C·L⁻¹. The Cryptophyta biomass maximum (about 180 μg C·L⁻¹) was observed in TBW in the northern part of the transect. Patches of the highest CP abundances and biomasses were recorded in the photic layer around the jet of the Bransfield Current, while in the TWW (below 1 °C isotherm), CP were scarce or undetectable, especially in the deeper layers. NP demonstrated similar distribution pattern with the highest abundances at 35–50-m depth. The maximum contribution of CP to the total nanophytoplankton biomass was registered farther south in TBW at shallow depths (about 10 m) where NP were not abundant.

According to the results of nMDS and cluster analysis, hydrographic and chemical properties of the strait water masses deeply influenced nanophytoplankton structure, while temperature did not appear to be a key factor controlling NP growth. The data obtained support the idea that the growing meltwater input can potentially increase the spatial and temporal extent of cryptophytes in Antarctic coastal waters. The replacement of large diatoms with small cryptophytes leads to a significant shift in trophic processes in favor of the consumers, like salps, able to graze on smaller prey.

The research was conducted within the framework of the IBSS state assignment No. AAAA-A19-119100290162-0.

**Экология, физиология,
поведение и биохимия
гидробионтов**

Подводная акустическая сигнализация черноморской белобочки (*Delphinus delphis ponticus* Varabash, 1935)

Агафонов А. В.^{1,2}, Логоминова И. В.², Панова Е. М.¹

¹Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

²Карадагская научная станция имени Т. И. Вяземского — природный заповедник РАН —
филиал ФИЦ ИнБЮМ, Феодосия, Россия

agafonov.57@mail.ru

Ареал белобочки, или обыкновенного дельфина (*Delphinus delphis* Linnaeus, 1758), охватывает тёплые и умеренные воды всего Мирового океана. Отечественными авторами традиционно выделяются три изолированных подвида, обитающих в водах России, — черноморский (*D. d. ponticus* Varabash, 1935), атлантический (*D. d. delphis* Linnaeus, 1758) и дальневосточный (*D. d. bairdii* Dall, 1873).

Вокальный репертуар белобочек до настоящего времени изучен в значительно меньшей степени, чем, например, сигнализация афалин (*Tursiops truncatus* Montagu, 1821); имеющиеся данные представляются довольно фрагментарными. В частности, абсолютно неисследованной остаётся акустическая сигнализация черноморской белобочки. Это объясняется тем, что дельфины данного вида ведут в основном пелагический образ жизни и редко наблюдаются вблизи берега. Кроме того, содержание белобочек в условиях неволи (в отличие от афалин) является чрезвычайно сложной задачей.

Зарубежные исследования, посвящённые подводной акустической сигнализации белобочек, немногочисленны. В качестве основных можно привести (в хронологическом порядке) следующие работы: [Hohn, Venson, 1990] (тропическая зона восточной части Тихого океана); [Moore, Ridgway, 1995] (воды Южной Калифорнии); [Ansmann et al., 2007] (Кельтское море и пролив Ла-Манш); [Petrella et al., 2012] (залив Хаураки, о-в Северный, Новая Зеландия); [Papale et al., 2014] (акватории Азорских и Канарских о-вов, Бискайский залив и западная часть Средиземного моря); [Fearey et al., 2019] (воды ЮАР).

Все авторы отмечают высокую интенсивность акустической активности белобочек (зачастую затрудняющую выделение отдельных сигналов), многообразие тональных сигналов (большинство из них находится в частотной полосе 6–16 кГц), продуцирование серий стереотипных свистов, а также наличие звуков импульсного и комбинированного происхождения. До сих пор открытым остаётся вопрос о наличии в репертуаре представителей вида индивидуально-опознавательных сигналов, подобных «свистам-автографам» афалин.

Так, в ходе исследований Moore и Ridgway сравнивались записи сигналов белобочек, собранные в естественной среде (воды Южной Калифорнии), с акустической сигнализацией двух особей, содержащихся в неволе (Военно-морской центр океанических систем, Сан-Диего, США). Авторам удалось выделить четыре доминирующих типа свистов, иногда комбинирующихся с импульсными компонентами. Сходные сигналы продуцировались обеими особями, пребывающими в бассейне (в разных процентных соотношениях); эти же типы были обнаружены в записях, сделанных в море. Таким образом, на основании полученных данных авторы приходят к выводу об отсутствии у представителей вида индивидуально-специфичных сигналов.

Исследователи из Южной Африки [Fearey et al., 2019], напротив, придерживаются гипотезы о существовании у белобочек «свистов-автографов». В ходе работ, проведённых в течение трёх

сезонов, им удалось выделить 29 доминирующих типов сигналов, продуцируемых обычно в виде последовательностей. Внутри самих типов отмечена некоторая вариабельность их частотно-временных характеристик. В то же время сами авторы сообщают, что общее количество дельфинов в районе проведения работ достигало 1000 особей, так что выделенное число потенциальных «автографов» представляется весьма незначительным.

В последние годы были отмечены достаточно регулярные подходы черноморской белобочки к берегу в акваториях Крыма и Кавказа, что позволило нам производить записи подводных акустических сигналов представителей данного вида со стационарных НП и малых плавсредств в ходе круглогодичных наблюдений в Крыму [Логоминова и др., 2018]. Кроме того, в рамках программы «Дельфины Чёрного моря», финансируемой ПАО «Роснефть», в 2018 и 2019 гг. были осуществлены записи с яхты в акватории черноморского побережья Краснодарского края (как в прибрежной зоне, так и в открытом море на удалении до 100 морских миль от берега). Для данной работы были проанализированы записи, сделанные в открытом море (северо-восточный сектор Чёрного моря) на расстоянии более 100 км от берега в ситуациях, когда афалины в зоне наблюдений отсутствовали. В ходе проведения работ группы белобочек наблюдались регулярно, размер групп составлял от 10–12 до 50 особей.

Акустическая активность всегда была очень высокой, достигая $70 \text{ сигн.} \cdot \text{мин}^{-1}$ (это можно заметить по наложению сигналов в записях). Анализ сделанных записей показал, что по своим частотно-временным параметрам сигналы белобочек весьма похожи на сигналы афалин. В их репертуаре присутствуют те же три категории звуков, что характерны для афалин: импульсы (и их серии), импульсно-тональные сигналы и свисты.

В тональных сигналах можно выделить две подкатегории. К первой относятся умеренно модулированные сигналы длительностью от 0,5 до 2 с; частота основного контура большинства из них лежит в пределах 8–16 кГц. Сигналы данной подкатегории характеризуются большим разнообразием форм контура; в них довольно часто присутствуют плоские и уплощённые элементы, а также нелинейные перепады частоты и разрывы контура. Были отмечены серии однотипных сигналов; наблюдаемые довольно часто наложения сигналов друг на друга позволяют предположить, что сходные сигналы могут продуцироваться разными особями. В целом сигналы, отнесённые к первой подкатегории, с большой долей вероятности могут быть отличаемы от типичных свистов афалин.

Однако было обнаружено, что белобочками продуцируются ещё и модулированные свисты (с частотой контура основного тона, изменяющейся в пределах 10–20 кГц), практически неотличимые от «свистов-автографов» афалин. Так же, как и у афалин, подобные свисты могут продуцироваться в виде последовательностей стереотипных сигналов. Вопрос о том, являются ли они настоящими индивидуально-опознавательными сигналами, несут какую-либо иную функцию или вообще являются звукоподражанием, остаётся открытым.

Нами были детально проанализированы аудиозаписи сигналов белобочек, сделанные 2–4 сентября 2018 г. в открытом море в трёх точках у побережья Краснодарского края. Визуально во всех трёх случаях наблюдалось до 30 особей (несколькими группами, некоторые из них подходили к яхте); было отмечено охотничье поведение.

По результатам анализа можно сделать следующие заключения:

1. В репертуаре свистов белобочек, имеющих сходство с «автографами» афалин, можно выделить не более 10 типов, регулярно повторяющихся на протяжении записи (это значительно меньше количества животных, наблюдаемых визуально).

2. Сходные типы свистов встречены в записях, которые были сделаны через несколько часов в точках, находящихся на значительном удалении (порядка 100 км) друг от друга; присутствие одних и тех же особей на них представляется маловероятным.
3. На спектрограммах неоднократно отмечались наложения сходных сигналов, что свидетельствует об их продуцировании разными особями.

Таким образом, по результатам анализа можно заключить, что записанные сигналы «автографами», скорее всего, не являются; их сходство с сигналами афалин можно объяснить, например, звукоподражанием. Для получения более определённого ответа на данный вопрос требуется проведение дальнейших исследований.

Характеристика водорослей и морских трав дальневосточных морей по содержанию свинца и мышьяка

Аминина Н. М., Вишневская Т. И., Кадникова И. А., Гончаренко С. И.

Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), Владивосток, Россия

natalya.aminina@tinro-center.ru

Дальневосточные моря весьма богаты растительными ресурсами. Наиболее массовыми видами бурых водорослей являются ламинариевые, образующие водорослевые пояса вдоль всего дальневосточного побережья. Заросли промысловых видов представлены главным образом ламинарией японской и — в меньшей степени — цистозирой, из красных водорослей — анфельцией тобучинской, морскими травами — зостерой и филлоспадиксом.

Большое значение в альгологических исследованиях последнего времени уделяется изучению влияния человеческой деятельности на видовой состав, структуру и продуктивность сообществ бентосных макрофитов. Тяжёлые металлы, поступающие в море, в локальных участках прибрежных районов формируют высокие, не свойственные природе концентрации в среде и организмах, что требует постоянного наблюдения и экологических оценок [Христофорова и др., 2018]. Выяснено, что формирование элементного химического состава растений зависит от нескольких факторов, главными из которых являются гидрохимические особенности среды, избирательное концентрирование элементов водорослями и толерантность организма, обеспечиваемая генетическим контролем [Мурадов, 2014].

Промысловые виды морского растительного сырья оцениваются по их пищевой безопасности на основании анализа четырёх элементов — свинца, кадмия, ртути и мышьяка [ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции. Технический регламент Таможенного союза»]. Ранее нами было установлено, что в традиционных районах промысла (Авачинский залив, п-ов Камчатка; зал. Анива, о-в Сахалин; прибрежные воды Приморского края) в бурых водорослях практически не наблюдается превышение предельно допустимого уровня кадмия и ртути, в отличие от свинца и мышьяка. По содержанию свинца в бурых водорослях наиболее благоприятная обстановка складывается в прибрежных водах п-ова Камчатка (за исключением внутренней губы); наиболее часто высокие концентрации элемента обнаруживаются в образцах водорослей из прибрежных вод Приморского края. Данные по содержанию мышьяка в бурых водорослях свидетельствуют об отсутствии какой-либо взаимосвязи с уровнем антропогенного загрязнения в районах их промысла. Отмечены значительные изменения количества свинца, кадмия и мышьяка в образцах водорослей по годам, при этом отсутствует тенденция к их постепенному накоплению за последние 10 лет. Это может свидетельствовать о достаточно стабильной ситуации по загрязнению районов промысла тяжёлыми металлами.

Концентрации свинца и мышьяка могут сильно отличаться в зависимости от таксономической принадлежности макрофита. На примере анфельции тобучинской из пролива Старка (Приморский край, о-в Русский) показано устойчивое увеличение с 2013 г. концентрации свинца и снижение количества мышьяка. В бухте Западная и проливе Старка концентрации металлов в зостере сопоставимы между собой, а также с их уровнями в растениях из Амурского залива [Рисунова, Христофорова, 2002].

Сброс сточных вод и расположение производств вблизи прибрежно-морской зоны приводят к значительному накоплению загрязняющих веществ в донных отложениях, превышаются пороговые значения. В прибрежных водах у г. Владивостока средние концентрации растворённых техногенных металлов (Cd, Cu, Pb, Ni) довольно высоки. Залив Петра Великого Японского моря считается акваторией, наиболее подверженной антропогенному и техногенному загрязнению, при которых начинаются уменьшение обилия бентоса и снижение его видового разнообразия [Чернова и др., 2011].

На основании многолетнего анализа установлено, что бурые водоросли в наибольшем количестве могут накапливать мышьяк, а красные водоросли и морские травы — свинец. В отдельных видах водорослей отмечена взаимосвязь между накоплением свинца и мышьяка.

Показатели неспецифического иммунного ответа и антиоксидантного статуса тихоокеанской устрицы (*Crassostrea gigas*) в условиях экспериментальной гипоксии

Андреева А. Ю., Кладченко Е. С., Кухарева Т. А., Водясова Е. А., Челебиева Э. С.,
Гостюхина О. Л.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

andreevaal@gmail.com

На протяжении последних десятилетий исследования в области иммунологии двустворчатых моллюсков сконцентрированы на изучении влияния факторов окружающей среды на базальный (нестимулированный) иммунный статус организма. Показано, что иммунитет моллюсков в значительной степени зависит от температуры окружающей среды, солёности воды и концентрации растворённого кислорода. С середины XX в. прибрежная гипоксия становится устойчивым феноменом Мирового океана, оказывающим негативное воздействие на физиологию водных организмов. Многие виды двустворчатых моллюсков интенсивно культивируются для употребления в качестве источников пищи. Эффективность выращивания двустворчатых моллюсков в культуре в значительной степени зависит от иммунного статуса организмов, поскольку этот фактор определяет устойчивость к заболеваниям. В основе иммунной системы двустворчатых моллюсков лежат механизмы неспецифического клеточного и гуморального ответов. При этом гемоциты, циркулирующие в гемолимфе, являются основными эффекторами клеточного иммунитета. В основе клеточного иммунного ответа лежит продукция гемоцитами цитотоксических агентов, и ведущую роль среди них играют активные формы кислорода (далее — АФК), которые, в свою очередь, могут оказывать повреждающее действие и на клетки моллюска. Нейтрализацию АФК в организме осуществляет антиоксидантный ферментный комплекс, в котором каталаза (далее — КАТ) и супероксиддисмутаза (далее — СОД) играют существенную роль.

В настоящей работе исследованы показатели клеточного иммунного ответа (уровень активных форм кислорода, интенсивность фагоцитоза) гемоцитов, клеточный состав гемолимфы и антиоксидантный статус в жабрах тихоокеанской устрицы *Crassostrea gigas* в условиях ранжированной гипоксии.

Тихоокеанские устрицы (150 экз.) были получены с местной фермы (Севастопольская бухта, г. Севастополь) и акклиматизированы к лабораторным условиям в течение одной недели (концентрация растворённого кислорода 7,8–8,3 мг·л⁻¹; солёность 17,5–19,5 ‰; pH 8,0–8,4; температура (16 ± 1,2) °C). По окончании периода акклиматизации моллюсков разделили на три группы — контрольную (концентрация кислорода 7,8–8,3 мг·л⁻¹) и две группы гипоксии (концентрация кислорода 2,1 мг·л⁻¹). Гипоксические условия создавались путём барботажа морской воды в аквариуме газообразным азотом в течение 3 ч. Каждые 24 ч половина воды в аквариумах заменялась на свежую с заданной концентрацией кислорода. По окончании двух экспериментальных периодов (24 и 72 ч) у моллюсков отбирали образцы гемолимфы и жаберной ткани. Из гемолимфы выделяли гемоциты; из них готовили мазки, которые окрашивали по комбинированному методу Паппенгейма для идентификации клеток. Часть клеток инкубировали с частицами зимозана [Phagocytosis Assay Kit (Green Zymosan)] для определения интенсивности фагоцитоза согласно протоколу производителя. Уровень АФК в гемоцитах анализировали на основании флуоресценции клеток, окрашенных DCF-DA. Активность фагоцитоза у гемоцитов и содержание в них АФК опре-

деляли на проточном цитометре FC 500 (Beckman Coulter). В жаберной ткани проводили оценку активности ферментов КАТ и СОД согласно стандартным методикам, а также анализировали уровень экспрессии генов КАТ и СОД при помощи метода Real-Time PCR.

Гемолимфа устриц содержала три типа клеток: агранулоциты, гранулоциты и гиалиноциты. В условиях нормоксии в гемолимфе устриц доминировали агранулоциты, доля которых составляла $(50,4 \pm 11,6)$ %; доля гиалиноцитов и гранулоцитов — $(29,3 \pm 9,6)$ и $(20,3 \pm 2,0)$ % соответственно. Гипоксия вызвала изменения в клеточном составе гемолимфы в зависимости от длительности воздействия. Доля агранулоцитов последовательно росла до $(71,1 \pm 1,2)$ % в конце 72 ч инкубации. Доля гиалиноцитов достоверно сократилась до $(13,1 \pm 2,2)$ %. Число гранулоцитов не менялось в течение 24 ч гипоксии, а затем снизилось до $(15,8 \pm 2,3)$ %. Интенсивность фагоцитоза у гемоцитов устриц не менялась спустя 24 ч гипоксии, но имела тенденцию к снижению при длительном воздействии недостатка кислорода. В течение кратковременной гипоксии уровень АФК вырос у всех типов гемоцитов устриц, при этом у гранулоцитов их концентрация увеличилась вдвое. При длительном периоде гипоксии содержание АФК в гемоцитах снизилось в 3–5 раз во всех типах гемоцитов.

Активность КАТ в жабрах в условиях гипоксии сохранялась на уровне контроля вне зависимости от длительности воздействия, в то время как активность СОД достоверно возросла в 1,7 раза в конце 72-часового периода экспозиции. Уровень экспрессии СОД, напротив, вырос спустя 24 ч гипоксии более чем в 2 раза относительно контроля и продолжил расти по окончании 72 ч воздействия. Относительный уровень экспрессии КАТ имел тенденцию к росту при воздействии гипоксии, однако различия в показателях были недостоверны.

Таким образом, кратковременный период гипоксии оказал стимулирующее действие на иммунную систему устриц. При этом антиоксидантный комплекс продемонстрировал развитие компенсаторной реакции на продукцию АФК устрицами. Глубокая гипоксия оказала ингибирующее действие на показатели клеточного иммунитета устриц, а также способствовала развитию у них окислительного стресса.

Ультраструктура *Lubomirskia baicalensis* из природной популяции оз. Байкал в норме и при патологии

Бедошвили Е. Д., Ханаев И. В., Небесных И. А., Майкова О. О.

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

bedoshvilied@list.ru

В связи с распространением заболеваемости эндемичных губок *Lubomirskia baicalensis* в прибрежной зоне оз. Байкал возникла необходимость поиска потенциальных возбудителей заболеваний, а также тщательного исследования ультраструктурных изменений тканей и клеток губок на примере представителей из природной популяции. Согласно данным литературы [Funayama, 2010], с точки зрения клеточного строения тело губки можно условно разделить на три части: (1) наружные эпителиальные клетки (экзопинакоциты), которые покрывают тело губки; (2) внутренние эпителиальные клетки (эндопинакоциты), из которых состоит системы каналов; (3) мезохил, пространство между наружными внутренними эпителиальными клетками. Мезохил включает в себя большое количество разных типов клеток (архециты, хоаноциты, склероциты, гликоциты и др.), волокна коллагена и спикулы. Для описания обнаруженных типов клеток использованы термины, предложенные в исследовании 2015 г. [Ereskovsky et al., 2015] о развитии примморфов *Lubomirskia baicalensis*.

В настоящем исследовании для характеристики ультраструктуры и выявления возможных возбудителей заболевания *Lubomirskia baicalensis* были использованы оптическая и просвечивающая электронная микроскопия. Крупные фрагменты губок (2–3 см в длину) окрашивали трипановым синим Trypan blue Thermo Fisher Scientific Inc., USA (0,2 %, в течение 30 мин) на месте отбора проб и фиксировали в 4%-ном параформальдегиде Sigma-Aldrich, USA (в течение 1 суток). Давленные препараты были заключены в Mowiol 40-88 Sigma-Aldrich, USA. Микроскопия проводилась с помощью оптического микроскопа Axiostar Plus Zeiss, Germany; фотографии получены с помощью цифровой камеры TourCam, China.

Для выявления живых клеток фрагменты губок менее 5 мм в длину с различной степенью некроза были помещены в природную воду с флуоресцентным красителем (Cell Proliferation Staining Reagent – Green Fluorescence Cytopainter, Abcam, UK/USA). Окраска проводилась согласно протоколу, предложенному производителем. Препараты для микроскопии были приготовлены, как описано выше. Исследования проводили с помощью лазерного сканирующего микроскопа LSM 710 Zeiss, Germany.

Для просвечивающей электронной микроскопии крупные фрагменты губок (10–15 см в длину) фиксировали непосредственно на месте отбора проб в 4%-ном параформальдегиде с добавлением глутарового альдегида 2,5 % (Sigma-Aldrich, Switzerland) в течение 3 суток, затем более мелкие фрагменты (объёмом 1 мм³) постфиксировали в 1%-ном оксиде осмия (Sigma-Aldrich, Switzerland) в течение 1 суток. Дальнейшая обработка проводилась по стандартной методике. Срезы получали алмазным ножом Diatome Diamond Knife 45° (Germany) на ультрамикротоме Leica Ultracut R (Zeiss, Austria) и контрастировали цитратом свинца по Рейнольдсу. Препараты исследовали на электронном микроскопе Leo 906 E (Zeiss, Germany) при ускоряющем напряжении 80 кВ. Микрофотографии получены камерой MegaView II Zeiss.

Для микроскопии образцы были разделены на три категории: (1) условно здоровые — визуально не повреждённые, не содержащие некротических изменений; (2) переходная стадия — образ-

цы, взятые на границе условно здоровой ткани и некроза; (3) полностью некротические ткани. Окраска трипановым синим позволила выявить наиболее заметную разницу между здоровой тканью и тканью с некротическими изменениями, а окраска Cytopainter сделала возможными более наглядные 3D-реконструкции.

На макроуровне видно, что распространение некроза в ткани может быть неравномерным. Световая микроскопия показала, что в норме масса клеток в мезохиле может содержать небольшое количество мёртвых клеток — примерно 2–3 на 0,25 мм² в раздавленном образце. В образцах губок с небольшой степенью некроза содержится значительное количество мёртвых клеток (до половины общего числа клеток). В ткани присутствует заметное количество цианобактерий разных видов, некоторые из них плотно прикреплены к спикулам. При полном некрозе полностью отсутствуют как живые, так и мёртвые клетки губок, а остатки мезохила в виде спикул и деградирующих коллагеновых фибрилл заселяются цианобактериями и диатомовыми водорослями различных видов.

По данным просвечивающей электронной микроскопии, основная масса мезохила клеток условно здоровых губок представлена амёбоцитами, заполненными эндосимбионтами и фагосомами с перевариваемым содержимым. На срезах присутствуют клетки с двумя типами гранул запасных веществ — гранулярные клетки и цистенциты. Вплотную к коллагену прилегали пинакоциты, а также клетки, вероятно, синтезирующие волокна коллагена, на что указывает большое количество везикул в их цитоплазме с волокнистым содержимым. На присутствие хоаноцитов, как правило, указывали продольные и поперечные срезы жгутиков среди клеток. Бактерии, связанные с клетками губок либо с волокнами коллагена и спикулами, отмечены не были, однако, присутствовали единичные бактерии вне клеток, а также в фагосомах амёбоцитов. На срезах мезохила обнаружены различные бактерии, как свободные, так и в составе фагоцитирующих амёбоцитов в вакуолях.

На срезах некоторых зафиксированных для просвечивающей электронной микроскопии образцов с высокой степенью некроза были обнаружены тёмные области (вероятно, живой ткани). Электронная микроскопия показала, что, кроме бактерий и диатомовых водорослей, в образце содержится небольшой слой живых клеток *Lubomirskia baicalensis*, амёбоцитов и пинакоцитов, а также есть не связанные с общей массой клеток гранулярные клетки. На срезах полностью некротических тканей были обнаружены только бактерии и одноклеточные эукариоты.

Таким образом, микробиом *Lubomirskia baicalensis* включает в себя большое количество эндосимбиотических микроводорослей, а также бактерий, населяющих межклеточное пространство губки и являющихся пищей. Цианобактерии, обнаруженные в пограничных зонах между больными и здоровыми тканями, могут быть как эндосимбионтами, так и новыми вселенцами в микробиоме больных губок. Однако более вероятно, что некоторые виды цианобактерий — потенциальные возбудители заболеваний губок, чья активность возросла в связи с антропогенным влиянием на прибрежную зону оз. Байкал.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-04-00787 (руководитель — О. О. Майкова).

Оценка встречаемости дельфинов в Севастопольской бухте в 2012–2018 гг. (Чёрное море)

Беляева О. И.¹, Чечина О. Н.²

¹Независимый исследователь, Севастополь, Россия

²Филиал Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова в Севастополе,

Севастополь, Россия

olgabelyaeva@yandex.ru

Роль антропогенного воздействия на состояние популяций тех или иных видов животных, в том числе морских млекопитающих, является одной из актуальных современных проблем экологии. В связи с этим возникают вопросы, связанные с изучением возможности адаптации дельфинов к этим воздействиям и с определением видовых особенностей в этом процессе.

Результаты наблюдений за черноморскими дельфинами свидетельствуют о том, что они в целом чаще предпочитают держаться прибрежных акваторий [Белькович, 1978 ; Михалев, 2005]. Более того, дельфины посещают и бухты, в том числе входящие в черту г. Севастополя. Так, в ранее проведённых мониторинговых наблюдениях в прибрежной зоне этого региона нами были получены данные по встречаемости всех трёх видов дельфинов в акватории не только м. Фиолент, но и бух. Казачьей [Беляева, 2018 ; Беляева, 2019]. Однако необходимо отметить, что эти акватории значительно удалены от центральной части города; таким образом, вероятность антропогенного воздействия является относительно небольшой.

Цель работы — оценить встречаемость дельфинов в центральной акватории г. Севастополя, а именно в Севастопольской бухте (далее — СБ), в условиях активного судоходства и наличия других антропогенных факторов.

СБ является самой большой бухтой г. Севастополя, в которую входят Большой (или внутренний) рейд и прибрежная акватория, состоящая в основном из небольших бухт, которые глубоко проникают на территорию в различных районах города. В состав района наблюдений входили Большой рейд и 9 бухт (Артиллерийская, Аполлонова, Троицкая, Корабельная, Северная, Южная, Александровская, Голландия и Мартынова), а также прибрежная зона у Приморского бульвара, Графской пристани и причала пассажирских катеров, Радиогорки, железнодорожной ст. Инкерман, устье и часть русла р. Черной, впадающей в СБ.

Исследования проводили путём собственных наблюдений и опроса местных моряков, рыбаков, дайверов, экипажей малых плавсредств, а также заполнения регистрационных форм. В число регистрируемых сведений были включены следующие показатели: вид дельфина, состав и количество особей в группе животных, особенности их поведения. Исследования осуществляли в период с 2012 по 2018 г., всего было проведено 60 наблюдений.

Результаты наблюдений показали, что в акваторию СБ заходили представители всех обитающих в Чёрном море видов дельфинов: афалины (*Tursiops truncatus ponticus*), азовки (*Phocoena phocoena relicta*) и белобочки (*Delphinus delphis ponticus*). Наиболее часто бухту посещали азовки, несколько реже — афалины, очень редко — белобочки (33, 22 и 5 наблюдений соответственно). Необходимо отметить, что результаты мониторинговых наблюдений, которые ранее были проведены в бух. Казачьей и акватории м. Фиолент, показали наиболее частую встречаемость в прибрежной акватории г. Севастополя дельфинов вида афалина [Беляева, 2020]. В данном исследовании проводились эпизодические, а не мониторинговые наблюдения, и они совпали с массовыми заходами азовок в апреле — июне 2012 г.; это, очевидно, и привело к значительному увеличе-

нию доли встречаемости данного вида. Поэтому авторы продолжают придерживаться мнения, что афалины чаще посещают прибрежную акваторию г. Севастополя, чем другие виды дельфинов.

Численность афалин в группе варьировала от 2 до 200 особей; у азовок и белобочек по численному составу группы существенно не отличались друг от друга — от 2 до 30 животных. Результаты наблюдений по учёту численности дельфинов свидетельствуют о том, что заход осуществлялся в основном не единичными особями, а группами (18 и 82 % наблюдений соответственно). Необходимо отметить, что большие по численности группы дельфинов были отмечены в открытой акватории на внешнем рейде, у входа в СБ. Так, по некоторым наблюдениям, там зафиксировано передвижение большого стада дельфинов всех трёх видов, численность которых могла составить около 1000 особей (зима 2012 г., осень, зима и весна 2014 г.). Однако непосредственно в бухту заходили не более 200 особей афалин и по 30 азовок и белобочек.

Заходы дельфинов в СБ, вероятно, были связаны с охотой на рыбу, поскольку наблюдалось охотничье поведение (преследование рыбы). Так, в августе 2013 г. один из наблюдателей находился на берегу напротив входа в бухту и видел, как в неё зашли около 200 афалин, которые загоняли рыбу. В акватории Большого рейда напротив Приморского бульвара дельфины охотились и затем организованно вышли из бухты. В центре стада находились самки с детёнышами. После охоты, передвигаясь к выходу из бухты, многие дельфины синхронно выпрыгивали из воды. Другой наблюдатель описал ситуацию, как в бух. Голландия азовки охотились на пикшу, окружив её. При этом катер некоторое время ходил вместе с дельфинами по кругу. Сомкнув более тесно круг, дельфины стали схватывать и поедать рыбу.

Неоднократно было отмечено, что дельфины гнали рыбу до кутовой части СБ к ст. Инкерман, загоняли в устье р. Чёрной и далее в русло, достигая района железнодорожного моста. Там они охотились и затем быстро покидали район охоты. Так, например, весной 2014 г. группа из 11 дельфинов, среди которых были афалины и азовки, охотилась на лобана и пиленгаса по вышеописанному сценарию. Длительность активной фазы охоты обычно составляла не более 20 мин.

В ходе исследования отмечены ситуации, когда одиночное животное или пара дельфинов более длительное время находились в акватории одной из частей СБ. Например, в июне 2013 г. две азовки плавали в бух. Южной у Царской пристани в течение 7 дней и одна азовка в бух. Голландия — в течение месяца. В октябре 2013 г. у мола Северной стороны в течение светового дня была отмечена белобочка. Такие дельфины, как правило, выглядели малоактивными. Иногда у берегов бухты обнаруживали и погибших животных, как, например, весной 2012 г. в период массового захода азовок. Возможно, это свидетельство того, что появление дельфинов может быть связано с ухудшением их здоровья.

В состав групп дельфинов афалин, азовок и белобочек часто входили детёныши. Так, весной 2012 г. во время массового захода азовок отмечено много самок с детёнышами. В октябре 2013 г. в группе афалин зарегистрированы 3 взрослые особи и один детёныш. В сентябре 2017 г. в многочисленной группе белобочек (около 20 особей) также было несколько детёнышей.

На основании результатов данного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Дельфины афалины, азовки и белобочки способны заходить в Севастопольскую бухту, несмотря на повышенный уровень антропогенного воздействия, связанный с интенсивным судоходством и другими факторами.
2. Частота посещаемости прибрежной городской акватории для разных видов дельфинов различна и связана, очевидно, с экологическими особенностями этих видов.
3. Заход дельфинов в прибрежную зону акватории в центре города может быть связан с преследованием рыбы в процессе охоты, в некоторых случаях — с ухудшением здоровья.

Особенности энергетического обмена северных популяций разноногих ракообразных (Amphipoda)

Березина Н. А.

Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

na-berezina@rambler.ru

В свете современных климатических изменений, перед которыми наиболее уязвимы животные полярных регионов, изучение адаптивных возможностей северных популяций водных животных становится актуальной задачей. Эвритермы могут быстрее адаптироваться к колебаниям температуры и изменениям климата, чем стенотермы и молодь. В данной работе рассмотрено влияние массы тела, онтогенетических стадий, пола и температуры окружающей среды и сезона на уровень энергетического обмена при стандартных условиях, активной охоте и питании у разноногих ракообразных семейства Gammaridae, обитающих в водоёмах Севера европейской части России. Разница в уровне обмена оказалась существенной у представителей разных биогеографических (арктических *Gammaracanthus loricatus* и *Monoporeia affinis*, палеарктического *Gammarus oceanicus*, голарктического *G. lacustris*) и экологических (литоральных, глубоководных) групп. Интенсивность энергетического обмена (при стандартных условиях) у придонных малоподвижных *G. loricatus* была достоверно ниже, чем у активно плавающих литоральных видов рода *Gammarus*. Для арктического *G. loricatus* и палеарктического *G. oceanicus* максимальные интенсивности обмена были отмечены при температуре +15 °С, а для голарктического *G. lacustris* — при +20 °С. В зоне низких температур, 0...+5 °С, выявлена метаболическая независимость обмена, когда скорость и интенсивность дыхания оставались примерно на одном уровне при начальной и конечной температурах. Онтогенетические изменения в энергетическом обмене ярко выражены. Интенсивность обмена у новорожденных рачков и молодых неполовозрелых самок *G. lacustris* значительно ниже, чем у его самцов и яйценосных самок. Кроме того, при +5 и +10 °С молодые *G. loricatus* сохраняли стенотермию, а у взрослых половозрелых особей выявлена температурная независимость обмена (как результат метаболической адаптации). Эффект специфического динамического действия пищи (в случае хищного питания амфипод) выразался в 1,5–2-кратном увеличении количества потребляемого ими кислорода.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-04-01000.

Особенности состава каротиноидов черноморских двустворчатых моллюсков

Бородина А. В.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

borodinaav@mail.ru

Основные метаболические пути преобразований многих растительных каротиноидов у морских двустворчатых моллюсков-фильтраторов известны. Обитая в разных морских акваториях, одни и те же виды моллюсков-фильтраторов имеют различный спектр питания, подвергаются разным гидрохимическим, экологическим и антропогенным воздействиям. Эти и другие факторы способствуют приобретению адаптационных механизмов у моллюсков, которые, как правило, влияют на изменение состава каротиноидов [Бородина, Солдатов, 2014]. В течение последних 12 лет на черноморском побережье подробно изучались 6 видов двустворчатых моллюсков-фильтраторов: *Mytilus galloprovincialis*, *Crassostrea gigas*, *Anadara kagoshimensis*, *Cerastoderma glaucum*, *Chamelea gallina* и *Politiitapes aureus*. На севастопольском побережье культивируемые мидии (*M. galloprovincialis*) могут накапливать до 22 различных каротиноидов, при этом основные пути метаболизма — от растительных диатоксантина, фукоксантина, перидинина и 19'-гексаноилоксифукоксантина [Маока et al., 2011]. У видового аналога из Мирового океана, по литературным данным, те же пути метаболизма представлены иначе. Наиболее полно представлены пути трансформации диатоксантина, фукоксантина и перидинина, а в черноморской мидии эти пути несколько укорочены; между тем наиболее полно представлен путь трансформации от растительного 19'-гексаноилоксифукоксантина [Бородина, Солдатов, 2014]. У устрицы, адаптированной к черноморским условиям, значительно сокращаются пути метаболизма фукоксантина → ... → крассостреаксантина А и В, практически не обнаруживается митилоксантин, который преобладает у устриц тихоокеанского происхождения.

Многолетние исследования учёными разных государств состава каротиноидов *A. kagoshimensis* также показывают некоторые отличия в составе и соотношении некоторых каротиноидов, в частности присутствие зеаксантина у черноморской *A. kagoshimensis* и отсутствие его в составе каротиноидов анадары из Тихоокеанского региона [Бородина, Солдатов, 2014]. В 2018–2019 гг. был подробно изучен состав каротиноидов черноморского аборигена *C. glaucum*. Результаты были сопоставлены с данными европейских исследований 1970-х гг. моллюсков, обитающих в районе Британских островов. Ряд каротиноидов, обнаруженных тогда в видовом аналоге Североатлантического региона, отсутствовал у черноморского вида *C. glaucum* [Бородина, Задорожный, 2020]. С другой стороны, перечень каротиноидов черноморского аборигена *C. glaucum* был дополнен 4 новыми, не обнаруженными ранее, у видового аналога с британского побережья. Несмотря на то, что наши исследования каротиноидов *Ch. gallina* и *P. aureus*, обитающих на крымском побережье, ещё не завершены, по имеющимся с 1980-х гг. результатам европейских учёных уже можно заключить, что между ними имеются отличия [Бородина, Задорожный, 2021].

Наши работы свидетельствуют о влиянии механизмов адаптации моллюсков-фильтраторов, например вследствие изменения условий обитания, на изменение их состава каротиноидов. Это приводит к изменению известных для двустворчатых моллюсков путей трансформации каротиноидов, возникновению новых соединений каротиноидного ряда. Возникновение новых каротиноид-

дов может быть объяснено их функциональной значимостью в организме моллюсков при данных условиях обитания.

Работа выполнена по госбюджетной теме «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом» (№ 121041400077-1).

Характеристика нового штамма сульфатредуцирующих бактерий рода *Desulfovibrio*, выделенного из акватории г. Севастополя

Брюханов А. Л.¹, Власова М. А.², Хижняк Т. В.²

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

²Федеральный исследовательский центр Биотехнологии РАН, Институт микробиологии имени С. Н. Виноградского, Москва, Россия

brjuchanov@mail.ru

Известно, что микроорганизмы цикла серы играют важнейшую роль в биогеохимических процессах в водной толще и донных осадках Чёрного моря. Радиоизотопными и молекулярно-биологическими методами были выявлены высокая активность и заметное филогенетическое разнообразие сульфатредуцирующих и тионовых микроорганизмов в различных черноморских экосистемах. Однако к настоящему времени из анаэробной водной толщи и донных осадков Чёрного моря в чистые культуры выделено всего несколько штаммов сульфатредуцирующих бактерий (далее — СРБ).

Новый штамм СРБ был выделен из накопительной культуры, полученной из отобранной на глубине 11,5 м пробы донного осадка с белёсыми поверхностными бактериальными обрастаниями в Голубой (Херсонесской) бухте Чёрного моря (акватория г. Севастополя). По гомологии последовательности гена 16S рПНК (99,1 %) штамм Sev11,5 оказался наиболее близок к *Desulfovibrio dechloracetivorans* VerOc1, который, согласно данным из NCBI, был выделен в 2011 г. из прибрежных осадков, загрязнённых углеводородами и тяжёлыми металлами, у средиземноморского побережья Франции. Содержание G+C для штамма Sev11,5 составляло 61,8 %.

В ростовых экспериментах на питательной среде Видделя для морских форм СРБ были определены диапазоны роста и образования сероводорода клетками данного штамма: бактерии оказались способны активно расти с образованием H₂S в области pH от 6,3 до 8,8, с максимальным образованием H₂S при значении pH 7,8 (6,94 мМ H₂S). При значениях pH ниже 6,0 у штамма Sev11,5 резко снижались скорость роста и образование сероводорода, едва достигая значения 0,16 мМ. Количество сероводорода снижалось незначительно, до 6,5 мМ, уже при pH 8,0 или pH 7,3. Морфология клеток при разных значениях pH не менялась, за тем исключением, что при более низких и более высоких значениях относительно оптимального pH 7,8–8,0 снижалось количество подвижных клеток.

Так как *Desulfovibrio* sp. Sev11,5 является морским микроорганизмом, его устойчивость к высоким концентрациям NaCl и MgCl₂ вполне закономерна. Для изучения устойчивости *Desulfovibrio* sp. Sev11,5 к солям проводили культивирование на питательной среде Видделя с лактатом для морских форм СРБ при pH 7,8 и оптимальной температуре +25 °С с добавлением стоковых растворов соответствующих солей до концентрации от 0 до 2,5 %. Оказалось, что варьирование концентрации NaCl и MgCl₂ в составе питательной среды почти не влияло на рост и образование сероводорода культурами *Desulfovibrio* sp. Sev11,5.

С целью определения оптимальных условий для роста штамма *Desulfovibrio* sp. Sev11,5 и изучения его физиолого-биохимических характеристик исследовали способность к утилизации различных органических субстратов. Осуществляли не менее пяти пересевов на каждом субстрате для достоверности полученных результатов. Возможность роста *Desulfovibrio* sp. Sev11,5 с ис-

пользованием различных акцепторов электронов тестировали при +25 °С на питательной среде Видделя с лактатом, но с добавлением соответствующего акцептора электронов вместо сульфата. Наиболее интенсивный рост наблюдали на лактате, пирувате и фумарате. Рост на лактате характеризовался ещё и наименьшей продолжительностью лаг-фазы. Лактат является классическим субстратом для культивирования СРБ и используется большинством видов всех родов. Только некоторые виды родов *Desulfobacter*, *Desulfobacterium*, *Desulfonema* и *Desulfotomaculum* не могут утилизировать лактат. Чуть меньший выход биомассы был отмечен при росте на глицероле, этаноле, пропаноле, бутирате и сукцинате. Слабый рост наблюдали при внесении формиата, пропионата, малата, серина и глюкозы. Практически не было роста штамма Sev11,5 при добавлении метанола, сахарозы и лактозы.

При проверке способности нового штамма к восстановлению токсичных анионов в анаэробных условиях показана достаточно высокая скорость восстановления хромата калия сгущенными суспензиями клеток штамма Sev11,5 при наличии лактата как донора электронов (в 20 мМ MOPS). В процессе восстановления хромата наблюдали образование коричневого аморфного осадка (кристаллы неправильной формы). Элементный состав осадка был изучен с помощью рентгеновского микроанализа, показавшего, что в составе осадка доминируют такие элементы, как хром, кальций, фосфор и сера. Анализ данных позволил установить, что образованное клетками соединение содержит восстановленный хром и, возможно, соответствует формуле $\text{CrCl}_4 + \text{CaPO}_4$.

Таким образом, из прибрежных черноморских донных осадков был выделен в чистую культуру и полностью охарактеризован новый штамм сульфатредуцирующих бактерий рода *Desulfovibrio*, способный к использованию широкого круга субстратов в качестве источника углерода и энергии, а также обладающий хорошим потенциалом для биоремедиации вод, загрязнённых токсичными солями хрома.

Сравнительная характеристика показателей антиоксидантного комплекса гигантской устрицы (*Crassostrea gigas*) из различных районов Чёрного моря

Бугаев Л. А.¹, Войкина А. В.^{1,2}, Жарынина И. И.^{1,3}, Лисовская В. В.^{1,3}, Кириченко О. В.^{1,3}

¹Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону, Россия

²Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

³Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

bugaev_l_a@azniirkh.ru

Устрицы *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) — самый культивируемый объект конхиокультуры в мире, так как они характеризуются быстрым темпом роста, обладают высокой степенью выживаемости, являются деликатесным продуктом с лечебными свойствами и используются в профилактических целях при ряде заболеваний. Данный вид широко распространён по всему миру и очень многочислен в морских прибрежных районах.

Целью данной работы являлось изучение особенностей биохимических адаптационных реакций моллюсков из мидийно-устричных хозяйств Чёрного моря Крыма и Кавказа в весенний (конец мая) и летний (середина августа) периоды 2020 г.

Сбор биологического материала для исследований проводился в марикультурных хозяйствах, расположенных в г. Джубге, г. Геленджике и вдоль побережья юго-западной части Крыма. Биохимический статус определяли по ряду показателей: содержанию восстановленного глутатиона (GSH); интенсивности процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ); активности ферментов супероксиддисмутазы, глутатион-S-трансферазы, каталазы, глутатионредуктазы, глутатионпероксидазы, ацетилэстеразы; содержанию низкомолекулярных антиоксидантов (каротиноиды) согласно общепринятым методикам [Paglia, Valentine, 1967 ; Покровский и др., 1968 ; Habig et al., 1974 ; Fried, 1975 ; Стальная и др., 1977; Moron et al., 1979 ; Карнаухов, 1988 ; Королюк и др., 1988 ; Юсупова, 1989].

В весенний период уровень активности ферментного звена антиоксидантной защиты в тканях устриц из хозяйств на оз. Донузлав был выше, чем у устриц из хозяйств в открытых акваториях Чёрного моря. Уровень каталазы в жабрах и гепатопанкреасе устриц, отобранных в хозяйствах в оз. Донузлав, был достоверно выше, чем у устриц из хозяйств, расположенных в мористой части акватории Чёрного моря.

В этот период наблюдался широкий диапазон колебаний в тканях устриц уровня активности фермента по нейтрализации супероксид-аниона. У устриц из хозяйств на оз. Донузлав уровень СОД был высоким как в гепатопанкреасе, так и в жабрах. У устриц из хозяйств, располагающихся в мористой части акватории, высокий уровень активности СОД был отмечен в жабрах.

Были зарегистрированы статистически достоверные различия в уровне активности фермента каталазы в жабрах у устриц из хозяйств на оз. Донузлав по сравнению с устрицами из хозяйств на Чёрном море.

Содержание GSH — низкомолекулярного звена системы антиоксидантной защиты — в тканях устриц из всех обследованных хозяйств колебалось незначительно. Низкое содержание GSH — $(32,33 \pm 4,02)$ нмоль·мг⁻¹ белка·мин⁻¹ — отмечено в жабрах устриц одного из хозяйств, расположенных на оз. Донузлав; высокое содержание GSH — $(851,39 \pm 126,70)$ нмоль·мг⁻¹ белка·мин⁻¹ — зарегистрировано в гепатопанкреасе устриц из хозяйства, расположенного в бухте Инал.

Уровень активности ГП в гепатопанкреасе и жабрах у устриц из всех обследованных хозяйств варьировал в широких пределах, что указывает на активную работу данного фермента в процессах перевода окисленной формы глутатиона в восстановленную.

Активность фермента ГП варьировала в широких пределах; наименьший уровень данного фермента был отмечен у особей из хозяйства, расположенного в районе г. Джубга, и составлял $(80,98 \pm 16,18)$ нмоль·мг⁻¹ белка·мин⁻¹. Уровень активности GST в гепатопанкреасе был одинаков у устриц во всех исследуемых хозяйствах. В жабрах у устриц из оз. Донузлав уровень активности GST был в 51–78 раз ниже, чем в жабрах у устриц из других обследованных хозяйств.

Содержание МДА — конечного продукта перекисного окисления липидов — в гепатопанкреасе и жабрах находилось на одном уровне у устриц во всех исследуемых хозяйствах и в среднем составляло $(2,55 \pm 0,15)$ и $(5,29 \pm 0,39)$ мкмоль·мг⁻¹ соответственно.

Содержание каротиноидов, как одного из низкомолекулярных неферментативных звеньев антиоксидантной защиты, в гепатопанкреасе устриц из хозяйств, расположенных на оз. Донузлав, было достоверно выше в 2–4 раза, чем у устриц из хозяйств в открытых акваториях Чёрного моря.

Таким образом, уровень активности ферментного и низкомолекулярного звена системы антиоксидантной защиты организма от окислительного стресса в конце весеннего сезона 2020 г. был выше у особей из хозяйств, расположенных на оз. Донузлав, что свидетельствовало о менее благоприятных факторах культивирования устриц в этом водоёме по сравнению с содержанием непосредственно в море.

В летний период в гепатопанкреасе и жабрах всех обследованных устриц было отмечено достоверное уменьшение содержания МДА, GSH, уровня активности СОД, ГП и АцЭ по сравнению с весенним периодом. Содержание МДА в гепатопанкреасе устриц составляло $(1,15 \pm 0,28)$ мкмоль·мг⁻¹, в жабрах — $(3,55 \pm 0,37)$ мкмоль·мг⁻¹. Уровень активности СОД в жабрах устриц из хозяйства на оз. Донузлав был выше, чем у устриц из хозяйств на Чёрном море. Уровень активности ГП у устриц в летний период не превышал 9 нмоль·мг⁻¹ белка·мин⁻¹. Уровень активности ГП в конце летнего сезона был достоверно выше уровня в начальный период во всех исследуемых хозяйствах.

Активность фермента каталазы в гепатопанкреасе устриц из хозяйства на оз. Донузлав была ниже, чем у устриц из других хозяйств; в среднем её уровень составлял $(88,44 \pm 7,28)$ мкмоль·мг⁻¹ белка·мин⁻¹.

Был отмечен высокий уровень активности GST в тканях у всех обследованных особей: в гепатопанкреасе уровень активности GST варьировал от $(179,32 \pm 18,51)$ до $(252,75 \pm 5,17)$ нмоль·мг⁻¹ белка·мин⁻¹, в жабрах — от $(490,03 \pm 45,27)$ до $(766,76 \pm 60,67)$ нмоль·мг⁻¹ белка·мин⁻¹.

Уровень активности АцЭ в гепатопанкреасе устриц из всех обследованных хозяйств в конце летнего периода был достоверно ниже, чем в весенний период.

Количество каротиноидов в гепатопанкреасе у устриц из хозяйства на оз. Донузлав в летний период понизилось в 2–3 раза по сравнению с таковым весеннего периода и составляло $(29,10 \pm 0,18)$ мкг·г⁻¹. В гепатопанкреасе устриц из района г. Геленджика количество каротиноидов в летний период в 2 раза увеличилось и составляло $(60,28 \pm 6,27)$ мкг·г⁻¹.

Таким образом, можно сделать вывод, что уровень активности специализированных антиоксидантных ферментов, обезвреживающих разные виды активных форм кислорода, в конце летнего сезона 2020 г. был ниже, чем в весенний период, что свидетельствовало о более благоприятных условиях культивирования устриц в исследуемых водоёмах.

Изменения печени густеры *Blicca bjoerkna* (L., 1758) дельты Волги как морфофизиологический индикатор изменения условий обитания

Бурлаков И. А.¹, Волкова И. В.¹, Крючков В. Н.¹, Егорова В. И.¹, Сейдалиева Л. К.²

¹Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

²Каспийский государственный университет технологии и инжиниринга имени Ш. Есенова, Актау, Казахстан

gridasova@mail.ru

Густера *Blicca bjoerkna* (L., 1758) — широко распространённый вид Нижней Волги. Её излюбленные места обитания — это слабопроточные водоёмы, ильмени и култуки, хотя и не избегает она и русловых участков рек. Густера совершает сезонные перемещения, однако для неё не характерны значительные миграции [Казанчеев, 1981]. В связи с этим данный вид привлекает внимание исследователей в качестве удобного объекта биомониторинга — для оценки реакций гидробионтов на локальные изменения качества водной среды.

Несомненный интерес представляют сведения, получаемые с помощью метода морфофизиологических индикаторов [Шварц, 1958, 1980], что убедительно показано в том числе и в более поздних исследованиях [Моисеенко, 2000 ; Аль-Бурай, 2013].

Печень участвует в различных процессах метаболизма, интенсивность которых меняется как в связи с естественными причинами (например, нагул, гонадогенез и т. п.), так и вследствие внешних воздействий, в том числе неблагоприятных. В связи с этим при проведении экологофизиологических исследований анализируют и показатели печени рыб.

Исследования проводились в дельте Волги, на реках Берекет (верхняя дельта) и Костыль (нижняя часть дельты). Водоёмы для исследований выбирались таким образом, чтобы они априори были в разной степени подвержены антропогенному влиянию.

Объектом исследований послужила густера *Blicca bjoerkna*. Рассчитывались индексы внутренних органов как отношение массы органа к массе тела с внутренностями.

Гистологические препараты изготавливали по стандартным методикам [Ромейс, 1953]. Выполняли фиксирование тканей в жидкости Буэна, обезвоживание в спиртах возрастающей концентрации, заливку в парафиновые блоки, окраску гематоксилин-эозином. Анализ микропрепаратов проводили на микроскопе Olympus BH2 с применением методов морфометрии [Автандилов, 1990].

Как ранее отмечала Т. И. Моисеенко [2000], при изучении изменчивости морфофизиологических показателей рыб под действием факторов среды необходимо строго подбирать сравниваемые группы рыб, оценивая идентичность, и стараться исключить неизбежную естественную вариабельность показателей в связи с зависимостью их от эндогенных факторов (пол, зрелость гонад, возраст), а также от сезонной изменчивости условий среды.

По показателю относительной массы печени у густеры прослеживается выраженный половой диморфизм, причём значения индекса печени самок достоверно превышают таковые показатели у самцов.

Разница между самками и самцами наиболее заметна весной, когда относительная масса печени самок в 1,25 раз больше по сравнению с таковой самцов. Летом и осенью разница по данному показателю составляла не более 18 % ($P < 0,05$). Отличия по величине массы печени между самками и самцами объяснимы с учётом метаболической функции печени. Метаболизм самцов и самок отличается как по интенсивности, так по синтезируемым веществам, что тем более ожи-

даемо при созревании гонад. У самок более высокий уровень генеративного обмена, а у самцов — энергетического [Поддубный, 1971].

По мере роста густеры наблюдается и увеличение относительного размера печени.

Рост массы печени относительно общей массы тела у самок густеры происходил в исследуемом возрастном интервале 2+...7+. У самок отмечено увеличение индекса печени между двумя кластерными группами (2+...3+ и 4+...5+) на 35,5 %, а между возрастными группами 4+...5+ и 6+...7+ — на 19,05 % ($P < 0,05$), то есть по мере роста рыб относительная скорость роста печени уменьшается.

Что касается самцов густеры, то у них отмечено увеличение индекса печени с $(0,61 \pm 0,02)$ до $(0,75 \pm 0,07)$ % к возрасту 5+ ($P < 0,05$). В дальнейшем увеличение относительной массы печени не выявлено.

На половые различия у рыб по относительной массе печени указывали ранее, например, Н. С. Строганов [цит. по В. С. Смирнову с соавт., 1972]. Кроме того, в данной работе отмечают, что, например, у леща (вид, близкий густере) половые и сезонные отличия проявляются в том, что у самок амплитуда сезонных изменений показателей печени достоверно больше, чем у самцов. Это связывается с тем, что по мере роста у рыб возрастает и плодовитость, и для созревания всё больших объёмов икры требуется всё более интенсивный активный белковый синтез, значительная часть которого осуществляется в гепатоцитах.

Было выявлено достоверное превышение индекса печени у рыб из ерика Берекет на 13,75 % по сравнению с аналогичным показателем одновозрастной густеры из «чистого» водоёма. Ерик Берекет можно рассматривать как водоём с относительно неблагоприятными условиями обитания. Можно предполагать, что неблагоприятные условия среды — наличие загрязняющих веществ — увеличивают функциональную нагрузку на печень. При этом прежде всего в органе развиваются адаптационные изменения, а при начальных повреждениях — компенсаторно-приспособительные [Крючков и др., 2004]. Ранние компенсаторно-приспособительные реакции печени проявляются прежде всего в виде гипертрофии гепатоцитов. Она является материальным базисом для усиления функции клеток, так как при гипертрофии, как показано в литературе, происходит увеличение объёма цитоплазмы одновременно с увеличением количества органелл, участвующих в синтезе. В рамках настоящего исследования было установлено, что у рыб с увеличенным индексом печени диаметр гепатоцитов в среднем был больше на 18,8 % ($P < 0,05$), а диаметр ядра — на 4,6 % ($P > 0,05$).

Свой вклад могут внести и патологические процессы. Увеличение массы органа может быть следствием жировой дистрофии. В норме печень карповых рыб не накапливает жир в отличие от, например, печени осетровых или тресковых. Однако при патологическом накоплении жира по сравнению с нормой этот процесс сопровождается увеличением относительной массы печени. Жировая дистрофия зачастую сопровождается расстройствами микроциркуляции в виде полнокровия органа, стаза, тромбоза, кровоизлияний различной локализации и величины [Крючков и др., 2004]. Это также может привести к возрастанию значений индекса печени.

Проведённое исследование показало увеличение индекса печени у густеры из водоёмов с более высоким уровнем антропогенной нагрузки.

Состояние антиоксидантной системы и физиолого-биохимические показатели тарани из различных районов Азовского моря

Войкина А. В.^{1,2}, Бугаев Л. А.¹, Лисовская В. В.^{1,3}, Кириченко О. В.^{1,3}, Жарынина И. И.^{1,3},
Сергеева С. Г.¹, Цыбульская М. А.¹

¹Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону, Россия

²Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

³Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

voykina_a_v@azniirkh.ru

Азовская тарань *Rutilus rutilus heckeli* (Nordmann, 1840) является представителем полупроходных рыб бассейна Азовского моря, ведущим стайный придонный образ жизни [Жердев, 2020].

Состояние её запасов зависит от многих факторов, однако ключевыми являются экологические условия, необходимые для нормального протекания созревания половых продуктов [Сергеева, 2016].

Преднерестовый период у тарани характеризуется напряжением в работе различных систем организма: на фоне ослабленного питания наблюдаются повышенные траты внутренних пластических и энергетических резервов, снижается толерантность к факторам внешней среды. Все эти особенности находят отражение в работе систем поддержания гомеостаза, в том числе в работе ферментативных систем антиоксидантной защиты и детоксикации [Бугаев, 2010].

Целью исследования являлось изучение особенностей состояния антиоксидантной системы и физиолого-биохимических показателей органов и тканей тарани из различных районов Азовского моря.

Объект исследования — половозрелые особи тарани, которые были отобраны в двух нерестово-выростных хозяйствах ФГБУ «Бейсугское НВХ» (Восточно-Ахтарском и Бейсугском) во время нерестового хода в 2021 г.

Сразу после отлова рыб производили их внешний осмотр, измеряли длину и массу тела. После вскрытия фрагменты тканей печени, гонад и мышц помещали в криопробирки и транспортировали в жидком азоте (–196 °С) в лабораторию для дальнейших анализов. Определение химических веществ (белок, липиды) в мышцах и гонадах рыб проводили согласно ГОСТ 7636-85. Биохимический статус определяли по активности ферментов супероксиддисмутазы, каталазы, глутатион-S-трансферазы, глутатионредуктазы, глутатионпероксидазы и по содержанию низкомолекулярных неферментных антиоксидантов (восстановленный глутатион, GSH) согласно общепринятым методикам [Покровский и др., 1968 ; Fried, 1975 ; Moron et al., 1979 ; Королюк и др., 1988 ; Юсупова, 1989]. Интенсивность процессов перекисного окисления липидов (далее — ПОЛ) определяли по накоплению вторичного продукта — малонового диальдегида (далее — МДА) [Стальная и др., 1977].

Сравнение исследуемых количественных показателей тарани из разных нерестово-выростных хозяйств проводили с использованием непараметрического *U*-критерия Манна — Уитни для двух независимых выборок.

Большая часть исследованных особей тарани были в возрасте 2 года (70 % в Восточно-Ахтарском и 90 % в Бейсугском НВХ). Гонады самок и самцов были 4-й стадии зрелости без видимых нарушений. Гонадосоматический индекс для самцов составлял (4,53 ± 0,26), для самок —

(21,66 ± 0,94), что соответствовало среднемуголетним величинам для рыб в исследуемый период. По размерно-массовым показателям производители из Восточно-Ахтарского НВХ были достоверно больше по длине и массе, чем рыбы из Бейсугского НВХ.

Количество энергопластических веществ (белок, липиды) в органах и тканях производителей тарани было в пределах нормы для рыб в исследуемый период. Высокое содержание белка в гонадах самок (20,9 %) и низкое количество липидов (0,6 % на сырое вещество) свидетельствуют об активных генеративных процессах, происходящих в половых клетках, которые характерны для периода позднего вителлогенеза. В настоящее время, в связи с прогрессирующим осолонением Азовского моря и, как следствие, изменением ареала обитания тарани и кормовой базы, на протяжении двух лет наблюдается снижение содержания липидов в мышцах самок и самцов этого вида. В нерестовый период 2021 г. количество липидов в мышцах тарани в среднем составляло 0,5 % (среднеуголетнее значение — 2 % на сырое вещество).

Одним из универсальных биохимических маркеров благополучия организма является интенсивность процессов ПОЛ и состояние его антиоксидантной системы (далее — АОС). При окислительном стрессе происходит усиление накопления продуктов ПОЛ, в частности МДА. Защиту от повреждающего действия активных форм кислорода обеспечивает АОС, важными элементами которой являются ферменты (каталаза, пероксидаза, глутатионпероксидаза, глутатионредуктаза и др.) и низкомолекулярные соединения (глутатион и др.) [Головина, 2010].

Количественно содержание МДА в тканях обследованных производителей тарани не различалось между выборками из разных районов Азовского моря. Уровень МДА в жабрах был выше у самцов; в печени статистически значимых межполовых различий не отмечалось.

Активность супероксиддисмутазы (далее — СОД) — фермента первой линии антиоксидантной защиты, катализирующего реакцию дисмутации супероксидного анион-радикала с образованием пероксида водорода, — в печени и жабрах тарани из Бейсугского НВХ была на 60 % выше, чем активность данного фермента в органах рыб из Восточно-Ахтарского НВХ.

Образующийся в результате работы СОД пероксид водорода удаляется в клетке с помощью ферментов второй линии защиты — каталазы и глутатионпероксидазы. Отмечено, что уровень активности этих ферментов был выше в печени и жабрах тарани из Бейсугского НВХ. Активность глутатионпероксидазы в жабрах рыб из Бейсугского НВХ составляла 606,40 нмоль·мг⁻¹ белка·мин⁻¹, в печени — 409,50 нмоль·мг⁻¹ белка·мин⁻¹. Уровень активности каталазы в жабрах и печени тарани из Бейсугского НВХ был выше на 29 и 13 % соответственно, чем в тканях рыб из Восточно-Ахтарского НВХ.

У рыб из Бейсугского НВХ также отмечены высокая активность в жабрах глутатион-S-трансферазы (GST) — фермента II фазы биотрансформации ксенобиотиков — и содержание восстановленного глутатиона (GSH) в печени. Уровень активности глутатион-S-трансферазы в жабрах рыб из Бейсугского НВХ был в 2 раза выше, чем у рыб из Восточно-Ахтарского НВХ, а концентрация восстановленного глутатиона в печени тарани — выше на 16,91 нмоль·мг⁻¹ белка·мин⁻¹.

Таким образом, пониженный уровень содержания энергопластических веществ в тканях тарани свидетельствует, по всей видимости, о существенном экологическом прессе на данный вид в связи с заметным сокращением площади акваторий в Азовском море с пониженной солёностью, где данный вид может успешно нагуливаться. Высокая активность ферментов АОС в органах и тканях тарани из Бейсугского НВХ свидетельствует о менее благоприятных условиях обитания в данном водоёме в сравнении с условиями в Восточно-Ахтарском НВХ.

Анализ биохимических показателей и гистопатологических альтераций у кефали сингиля *Chelon auratus* (Risso, 1810) из акваторий Юго-Западного Крыма (Чёрное море)

Гаврюсева Т. В., Сигачева Т. Б., Чеснокова И. И.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

gavrt2004@mail.ru

Высокая значимость кефали сингиля *Chelon auratus* (Risso, 1810) (Mugilidae) в региональном промысле демерсальных рыб требует разработки системы оценки состояния здоровья этого вида. Проведение подобного рода исследований основано на комплексном подходе и включает применение биохимических и патоморфологических методов, которые позволяют изучить изменения, происходящие в организме рыб до появления видимых проявлений, нарушения процессов роста и размножения, снижения их промысловых размеров и численности популяции.

Целью работы явилось исследование патоморфологических изменений в сочетании с некоторыми биохимическими показателями тканей кефали сингиля для оценки состояния её здоровья. Проведены визуальный осмотр и патологоанатомическое вскрытие рыб. Для гистологического анализа пробы жабр, печени, почек, желудочно-кишечного тракта, селезёнки и поджелудочной железы были зафиксированы в растворе Дэвидсона и обработаны с использованием стандартных методов. Анализ состояния организма рыб на основе гистологических исследований проводили с использованием модифицированного полуколичественного анализа альтераций по методике Берне с соавторами [Bernet et al., 1999] и оценки распространённости повреждений в органах согласно балльной системе [Saraiva et al., 2015]. Определены факторы значимости выявленных повреждений, значения индексов альтерации органов и общий индекс патологии кефалей. В рамках биохимических исследований в тканях рыб определяли содержание продуктов окислительной модификации белков (далее — ОМБ), перекисного окисления липидов (далее — ПОЛ), мочевины, альбумина и глюкозы, а также активность аминотрансфераз и щелочной фосфатазы (далее — ЩФ) методами, описанными нами ранее [Rudneva et al., 2016].

В органах кефали сингиля обнаружены гистопатологические изменения, относящиеся к четырём типам (нарушение кровообращения, регрессивные и прогрессивные изменения, воспалительные процессы), а также паразиты. Показатели гистологической реакции значительно различались во всех проанализированных органах. Наиболее часто мы встречали регрессивные изменения и паразитарных агентов. Большинство выявленных у рыб альтераций относилось к первой степени значимости (они были обратимыми). Подобные патологии характерны для слабого токсического процесса, который мог быть инициирован как абиотическими факторами (в том числе антропогенным воздействием), так и биотическими (паразитарными агентами).

Паразитарные агенты, выявленные у молоди кефали, были представлены несколькими видами, относящимися к разным систематическим группам (простейшие, трематоды, нематоды). Наиболее тяжёлые гистопатологические изменения были вызваны паразитарным простейшими, предположительно *Ichthyophonus* sp.

При полуколичественной оценке выявленных альтераций рыб условно разделили на две группы — условно здоровые и заражённые особи; между ними провели сравнительный анализ патоморфологических данных и некоторых биохимических показателей. Достоверные различия в значениях индексов альтераций органов между двумя группами *S. auratus* выявлены в почках, печени, желудочно-кишечном тракте и поджелудочной железе. Значения общего индекса патологии рыб также достоверно отличались.

При биохимических исследованиях определено достоверное увеличение содержания мочевины в печени рыб из 2-й группы, которое может свидетельствовать о нарушении экскреторной функции почек и жабр и подтверждается гистологически. Значимых отличий в содержании продуктов ПОЛ и ОМБ, а также активности аминотрансфераз в печени условно здоровых и заражённых кефалей не выявлено. Результаты работы подтверждают высокую информативность исследованных показателей для оценки состояния здоровья кефали сингиля.

Влияние перекисных процессов на активность цитохромоксидазы бычков

Галактионова М. Л.¹, Гераскин П. П.^{1,2}

¹Каспийский филиал Института океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Астрахань, Россия

²Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

caspy@bk.ru

Трансформацию энергетического обмена у рыб при изучении влияния на них токсических веществ отмечают многие исследователи. При этом наблюдается развитие тканевой гипоксии с переходом от аэробного метаболизма к анаэробному. Как правило, такой переход имеет место при длительном (хроническом) или высоком уровне (сублетальном) воздействия токсикантов на организм гидробионтов. В публикуемых материалах в основном приводились факты по снижению активности ферментов аэробного и, наоборот, увеличению анаэробного обмена без обсуждения причин таких изменений. Исследование, проведённое нами ранее на осетровых рыбах в условиях существенного загрязнения их среды обитания, также выявило снижение активности одного из наиболее важных ферментов аэробного обмена (цитохромоксидазы печени), обусловленное повышением загрязнённости морских вод Каспийского моря. Одновременно нами было зафиксировано повышение уровня перекисных процессов у этих рыб. Прямой зависимости между данными процессами нами не выявлено, хотя тенденция снижения активности цитохромоксидазы при существенном повышении перекисного окисления липидов была явной. Анализ многолетних материалов (за 1998–2015 гг.) исследования перекисного окисления липидов и активности цитохромоксидазы в печени бычков выявил определённое сочетание этих процессов. Более чётко оно проявилось при кластерном анализе полученных данных методом k-средних. Кластеризацию проводили на данных исследования печени бычков по интенсивности аскорбатзависимого перекисного окисления липидов (АсПОЛ), содержанию малонового диальдегида (МДА) и активности цитохромоксидазы (ЦО). Выявлено пять кластеров с различной активностью цитохромоксидазы в печени. Наибольшая активность этого фермента ($126775 \text{ ед.} \cdot \text{кг}^{-1} \text{ белка за минуту}$) наблюдалась в первом кластере, при низких значениях АсПОЛ ($173 \text{ нмоль} \cdot \text{ч}^{-1}$) и содержания МДА ($27,2 \text{ нмоль}$). В то же время при низкой активности ЦО ($24410 \text{ ед.} \cdot \text{кг}^{-1} \text{ белка за минуту}$) интенсивность аскорбатзависимой реакции была максимальной ($351 \text{ нмоль} \cdot \text{ч}^{-1}$), а накопление МДА в печени бычков — наиболее высоким (52 нмоль), что отмечено в пятом кластере. Второй кластер представляли рыбы со средней активностью ЦО ($79371 \text{ ед.} \cdot \text{кг}^{-1} \text{ белка за минуту}$). Понижение активности цитохромоксидазы сопровождало увеличение интенсивности перекисных процессов в печени, свидетельством чему явилось повышение скорости аскорбатзависимой реакции ПОЛ и содержания МДА до $225 \text{ нмоль} \cdot \text{ч}^{-1}$ и 33 нмоль соответственно. Рыбы из третьего и четвёртого кластеров существенно (в 1,5 раза) различались по активности ЦО (57464 и $39623 \text{ ед.} \cdot \text{кг}^{-1} \text{ белка за минуту}$ соответственно), однако существенных отличий в параметрах АсПОЛ и МДА не отмечено. Интенсивность АсПОЛ у них составила 286 и $300 \text{ нмоль} \cdot \text{ч}^{-1}$ соответственно, а содержание МДА — $40,4$ и $40,8 \text{ нмоль}$ соответственно. Из полученных данных по кластеризации следует, что интенсивность перекисных процессов в печени бычков оказывает влияние на активность цитохромоксидазы, однако прямой пропорциональной зависимости не прослеживается. Она имеет более сложный, нелинейный характер. Так, если параметры ПОЛ печени бычков при сравнении первого и пятого кластеров увеличиваются в 2 раза, то активность ЦО падает в 5,2 раза. В то же время небольшое повышение интенсивности АсПОЛ и содержания МДА в печени бычков третьего и четвёртого кластера (всего на 5 и 1 % соответственно) снижает активность ЦО в 1,5 раза.

Состояние гонад покатной молоди горбуши из реперных рек Камчатки

Городовская С. Б., Сушкевич А. С.

Камчатский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («КамчатНИРО»), Петропавловск-Камчатский, Россия

gorodovskaya.s.b@kamniro.ru

Горбуша [*Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792)] является самым многочисленным видом тихоокеанских лососей и важнейшим объектом промысла. Покатная миграция молоди горбуши — это один из критических этапов её жизни; при переходе из пресной воды в солёную элиминирует до 98 % покатников горбуши [Карпенко, 1998]. Нами впервые исследовано состояние половых желез молоди горбуши в период покатной миграции из пяти рек Камчатки разных побережий. Изучение гаметогенеза в раннем периоде развития важно для оценки физиологического состояния молоди рыб. Процент выживания молоди горбуши при смене среды обитания зависит в большей степени от физиологического состояния покатников. Под термином «выживаемость» рассматривается физиологическая сформированность организма, определяющая его способность к адаптации к условиям внешней среды.

Объектом исследования послужила покатная молодь горбуши из рек Большая, Кихчик и Колпакова (Западная Камчатка), а также рек Хайлюля и Кичига (Восточная Камчатка), собранная в мае — июне 2018 г. Гистологические исследования молоди рыб осуществляли по общепринятой методике [Волкова, Елецкий, 1982]. Известно, что для горбуши характерно явление ювенильного гермафродитизма [Персов, 1975]. В раннем онтогенезе горбуши гонады представлены только яичниками, в которых ооциты достигают в своем развитии начальной ступени превителлогенеза. Ювенильный гермафродитизм позволяет исключить одновременную дифференцировку гонад у обоих полов, что в дальнейшем могло бы привести к более раннему созреванию самцов и к несовпадению со сроками созревания самок и времени оплодотворения. Среди покатной молоди горбуши исследуемых выборок имелись особи обоих полов, что свидетельствует не только о прошедшей к тому времени цитологической и анатомической дифференцировке пола, но и о начале как оогенеза, так и сперматогенеза.

Известно, что молодь горбуши в период смолтификации практически не питается. Питание у молоди происходит за счёт поступления питательных веществ из желточного мешка [Кинас, 1994]. С наружной стороны тела остатки жирового мешка отсутствовали. При исследовании гистологических препаратов были обнаружены остатки желточного мешка в брюшной полости тела молоди. По нашим данным, во всех исследуемых водоёмах самцы мальков имели больший желточный запас, чем самки. Среднее количество эндогенных желточных запасов оценивалось по средней площади на всех тотальных срезах к площади брюшной полости тела смолта в %. У самцов р. Большая запасы желтка доходили до 23,3 %, у самок — до 20,2 %. Процент желточного мешка у рыб из северных районов Камчатки обычно выше (40,6 %), чем из южных (23,3 %), что подтверждено литературными данными [Кинас, 1994 ; Карпенко, 1998]. Молодь из рек северо-востока Камчатки характеризовалась большим количеством эндогенного желтка (среднее значение у самцов — 46,7%), чем молодь из западных рек (значение у самцов — 40,6 %). Следовательно, молодь горбуши из западных рек Камчатки лучше подготовлена к переходу на экзогенное питание, что увеличивает выживаемость в период эстуарного и прибрежного нагула.

В исследуемый период в семенниках горбуши присутствовали сперматогонии в неактивном состоянии — половые клетки крупных размеров (от 2 до 5 экз.) с пузырьвидным ядром, в котором располагалось несколько ядрышек; просветов между клетками не наблюдалось. В яичниках присутствовали ооциты периода ранней профазы мейоза (мейоциты) и ооциты превителлогенеза I и II ступени. Невысокое содержание мейоцитов, составляющих резервный фонд в яичниках покатной горбуши, указывало на то, что горбуша, как быстро созревающий и моноциклический вид, не имеет большого резерва половых клеток для формирования плодовитости в морской период жизни. Таким образом, цитологическая картина половых желез всех проанализированных покатников горбуши свидетельствует о том, что семенники были развиты в соответствии с этапом онтогенеза и находились на начальной фазе I стадии зрелости, яичники — на I, а многие — на II стадии зрелости.

Западное побережье. Температура воды в 2018 г. в период ската молоди горбуши из рек западного побережья Камчатки составляла в р. Большая в среднем +8,5 °С, а в р. Кихчик — +8,4 °С, что было выше среднемноголетних показателей [Лозовой и др., 2018]. Условия повышенных значений температуры в 2018 г. способствовали ускоренному росту и развитию гонад молоди [Зелеников, 2019]. В этот год покатники из рек западного побережья принадлежали к малочисленному поколению горбуши. Молодь горбуши от малочисленных поколений растёт быстрее, чем молодь от поколений высокой численности [Чебанов, 1997 ; Шевляков и др., 2013]. У самок горбуши из рек западного побережья Камчатки в яичниках содержались ооциты I и II ступени периода превителлогенеза. Ооциты I ступени у горбуши р. Большая (юго-запад) имели небольшие размеры (26,0 мкм). Клетки II ступени (ооцита старшей генерации) характеризовались размерами до 40,4 мкм. Половые клетки старшей генерации у молоди из северо-западных рек, рек Кихчик и Колпакова, имели размер 38,8 и 34,7 мкм соответственно. Данные факты свидетельствуют о том, что при повышенной температуре воды в р. Большая ооциты росли быстрее. У молоди р. Колпакова (самой северной из исследуемых рек западного побережья) яичники характеризовались невысокими размерами ооцитов старшей генерации и значительным содержанием мейоцитов (20 %); у рыб р. Большая содержание мейоцитов составляло 15 %. Это говорит об отставании в созревании половых клеток. Совместно с показателями развития яичников нами рассматривался процент содержания эндогенного желтка в полости тела смолтов. У молоди горбуши рек, расположенных севернее, процент эндогенного желтка был существенно выше у самцов (46,7 %), чем у молоди популяций юго-запада (23,3 %). Смолты с высоким содержанием желтка в большей степени подвержены влиянию неблагоприятных абиотических факторов морской среды при покатной миграции. Таким образом, наши исследования показали, что темп оогенеза молоди горбуши снижался в реках, расположенных с юга на север, а содержание желточных запасов росло. Самыми физиологически развитыми были самки из р. Большая (юго-запад Камчатки).

Восточное побережье. В период ската молоди горбуши температура воды в 2018 г. составляла в р. Хайлюля в среднем +5,9 °С, в р. Кичига — +4,5 °С. В яичниках молоди горбуши находились ооциты I ступени цитологического роста средним размером до 31,3 мкм, а также наблюдалось повышенное содержание клеток резервного фонда (23,0–27,5 %). Оогенез смолтов горбуши рек северо-востока характеризовался замедленным темпом развития и соответствовал I стадии зрелости. В 2018 г. покатники горбуши данных рек были представлены потомством от многочисленного поколения, развивались и созревали медленно. Процент запасов желтка в теле молоди был самым высоким от всей анализируемой нами молоди (до 46,7 %), поэтому эта молодь была слабо подготовлена к переходу на внешнее питание.

На основании анализа анатомических особенностей можно заключить, что половые клетки самцов молоди горбуши находились на начальной фазе I стадии зрелости. Развитие яичников смолтов из рек западного побережья Камчатки соответствовало II стадии зрелости, в отличие от развития гонад самок восточного побережья. У молоди горбуши западного побережья содержание желточных запасов было ниже, чем у покатников северо-востока, что свидетельствует о большей физиологической подготовленности их к изменившимся условиям морской среды и, следовательно, о большей выживаемости на следующих этапах морского нагула.

Выживаемость трематод семейства *Opisthorchiidae* во вторых промежуточных хозяевах — карповых рыбах — в условиях разной минерализации воды: экспериментальное изучение

Григорьев Д. И., Юрлова Н. И.

Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, Россия

denis.grigorev.78@inbox.ru

Проблема описторхоза в Западной Сибири на сегодняшний день не потеряла своей актуальности [Yurlova et al., 2017]. В последние годы большое значение придаётся изучению экологических аспектов трансмиссивных процессов трематод сем. *Opisthorchiidae* в естественных условиях [Petney, 2013 ; Smith, 2013 ; и др.]. В сложном жизненном цикле трематод сем. *Opisthorchiidae* карповые рыбы выполняют роль второго промежуточного хозяина. Церкарии, вышедшие из первого промежуточного хозяина — моллюсков рода *Bithynia*, — проникают в мышцы рыб, где превращаются в метацеркарий. Полупроницаемые оболочки цист [Щербак, Счисленко, 2016] позволяют метацеркариям получать необходимые питательные вещества, она также защищает их от воздействия неблагоприятных факторов окружающей среды.

Экологические аспекты трансмиссивных процессов трематод сем. *Opisthorchiidae* в условиях естественных водоёмов юга Западной Сибири изучались нами в Чановской системе озёр, включающей три озера: пресное оз. Малые Чаны, солоноватое оз. Большие Чаны, оз. Яркуль. Впадающие в них реки Каргат и Чулым являются местом нереста и нагула для карповых рыб. В этих реках также обитают моллюски *Bithynia troscheli* и *B. tentaculata* — первые промежуточные хозяева описторхид. Следует отметить, что значительная часть карповых рыб зимует в солоноватом оз. Большие Чаны [Попов, 2008], уровень общей минерализации которого колеблется в течение года от 5 до 10 ‰.

Известно, что на развитие гидробионтов оказывают влияние химический состав и уровень минерализации воды [Чернова, 1975 ; Голованова, 2006 ; Khayatzadeh, Abbasi, 2010 ; Petney, 2013 ; Smith, 2013 ; и др.]. Однако влияние химического состава воды и уровня минерализации на развитие описторхид в мышцах вторых промежуточных хозяев остаётся фактически неизученным.

Мы исследовали приживаемость церкарий трематод *O. felineus* и *M. xanthosomus* (сем. *Opisthorchiidae*) в молоди карповых рыб плотвы (*Rutilus rutilus*) и язя (*Leuciscus idus*) в условиях разной минерализации воды. Используемая в эксперименте молодь рыб была отловлена в притоке р. Чулым, впадающей в оз. Малые Чаны (уровень минерализации 0,7 ‰). В рамках эксперимента мы имитировали жизненные условия рыб, часть года проводящих в пресной воде рек и озёр (уровень общей минерализации 0,6–0,8 ‰), а часть (зимовку) — в солоноватой воде оз. Большие Чаны (уровень общей минерализации 5–10 ‰).

Заражение рыб проводили индивидуально в ёмкостях с 400 мл профильтрованной речной воды из р. Каргат (уровень минерализации 0,7 ‰). В каждую ёмкость с рыбой добавляли по 40 церкарий определённого вида описторхид, собранных в течение одного часа после выхода из моллюска. Экспонирование продолжалось 2 часа. Затем заражённая рыба была разделена на 6 групп, 3 из которых содержались в солоноватой воде из оз. Большие Чаны (минерализация 5,3 ‰), а другие 3 группы — в пресной воде из р. Каргат. Через 45 суток все рыбы были исследованы с целью выявления приживаемости и состояния цист метацеркарий описторхид.

Результаты исследования показали, что во всех 3 группах 3 рыб, содержащихся в пресной воде р. Каргат, все прижившиеся метацеркарии *O. felineus* и *M. xanthosomus* были сформированы, живы, подвижны.

У рыб из групп, содержащихся в солоноватой воде из оз. Большие Чаны, часть цист была меньшего размера или с погибшими метацеркариями. При исследовании под микроскопом погибшие метацеркарии выглядели мутными, с резорбированным содержимым. В группах рыб, заражённых *M. xanthosomus*, доля погибших метацеркарий от числа прижившихся после содержания в солоноватой воде достигала 39 %, в группах, заражённых *O. felineus*, — 43 %.

Несколько бóльшая доля погибших метацеркарий *O. felineus*, по сравнению с *M. xanthosomus*, вероятно, может быть объяснена различием в строении цист данных описторхид. Оболочка цисты *M. xanthosomus* значительно толще оболочки *O. felineus*, что обуславливает более высокий уровень защиты метацеркарий.

Более низкий уровень выживаемости метацеркарий у рыб, содержащихся в солоноватой воде, по сравнению с содержащимися в пресной воде может свидетельствовать о влиянии общей минерализации воды на развитие описторхид во вторых промежуточных хозяевах.

Работа выполнена при поддержке РФФИ № 20-54-50004 ЯФ-а.

Особенности состава эритроцитов периферической крови осетровых рыб

Грушко М. П., Федорова Н. Н.

Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

mgrushko@mail.ru

Изучение показателей крови очень важно при биологических исследованиях, так как позволяет судить о состоянии здоровья отдельных особей и популяции в целом, а также о качестве среды обитания [Заботкина, Середняков, 2020].

Целью работы явилась оценка состава клеток красной крови каспийских осетров как одного из важных критериев биологического мониторинга живых объектов.

Объектами исследования служили половозрелые самки осетра (*Acipenser gueldenstaedtii* Brandt), выловленные в 2000 и 2017 гг. из естественных условий. Изучение гематологических показателей крови проводилось по методам, рекомендуемым Л. Д. Житеновой, Т. Г. Полтавцевой и О. А. Рудницкой [1989]. Мазки крови готовили по стандартной методике [Волкова, Елецкий, 1989].

Анализ готовых мазков проводили под микроскопом «Микромед-2» с применением иммерсии.

В результате анализа показателей крови у осетров, выловленных в 2000 и 2017 гг., установлены довольно существенные отличия. Наличие в периферической крови рыб незрелых форм эритроцитов указывало на процесс формирования здесь части клеток эритропоэтического ряда. Количество бластных клеток у второй группы осетровых увеличилось, составив 5,88 %; значение показателя у рыб 2000 г. равнялось 1,02 %. Созревающих клеток (нормобласты, базофильные эритробласты, полихроматофильные эритроциты) у этих осетров также оказалось больше (9,5 %), чем у первой группы, для которой значение составляло 1,48 %. Удельный вес дефинитивных эритроцитов у второй группы оказался ниже на 4,5 %. Данные показатели указывают на то, что у осетров, выловленных в 2017 г., процессы эритропоэза идут интенсивнее.

Исследование красной крови на наличие патологических форм клеток показало, что у осетров 2000 г. выявлено больше видов патологий клеток; доля клеток, подверженных изменениям, также оказалась выше, составив в общем 13,75 %. У этих осетров обнаружены полихромазия, пойкилоцитоз и анизоцитоз. Полихроматофильных эритроцитов у осетров, выловленных в 2000 г., было 3,5 %; у осетров 2017 г. содержание подобных клеток сократилось в 1,7 раза, составив 5,43 %. Только у осетров первой группы были зафиксированы анизоцитоз (1,25 %) и агглютинация (23,39 %).

На исследуемых мазках крови обеих групп рыб также присутствовали следующие патологии эритроцитов: «тени», шистоциты, безъядерные, слабегемолизированные, с вакуолизированной цитоплазмой клетки и др. Такие нарушения, как анизоцитоз, олигохромазия и вакуолизация цитоплазмы, относятся к необратимым.

Таким образом, полученные показатели крови, выявленные у осетровых рыб, свидетельствовали о том, что у изученных особей наблюдались симптомы гемолитической анемии различных степеней. Наличие бластных форм клеток указывало на стремление организма компенсировать недостаток клеток крови в результате быстрого их старения и разрушения, что в большей степени было характерно для осетров второй группы. Все перечисленные изменения связаны, по-видимому, с адаптацией организма осетровых к экологическим условиям.

Способ доставки гамет к месту сингамии как тренд эволюции у диатомовых водорослей

Давидович Н. А.

Карадагская научная станция имени Т. И. Вяземского — природный заповедник РАН — филиал
ФИЦ ИнБЮМ, Феодосия, Россия
nickolaid@yandex.ru

Согласно молекулярным данным, диатомовые появились на Земле около 200 млн лет тому назад. Достоверные находки наиболее древних ископаемых диатомей известны из морских отложений нижнего мела, которые датируются возрастом 115–110 млн лет. Истинная граница находится, по-видимому, между этими двумя оценочными рубежами. Первые диатомовые были морскими, планктонными, их толстостенные панцири имели центральную или радиальную симметрию. Маловероятно, что половые клетки, формирующиеся на этапе гаметогенеза и сингамии, могли сохраниться в отложениях, поэтому рассуждать о типах полового процесса у древних диатомовых мы можем исключительно по аналогии с современными центрическими. Последние демонстрируют типичную оогамия, при которой женские (яйцеклетки) и мужские (сперматозоиды) гаметы разительно отличаются как по своему размеру, так и функционально. Вопрос доставки гамет к месту слияния решается в этом случае относительно просто — за счёт подвижности сперматозоидов. Одна из ветвей эволюции центрических диатомей, судя по молекулярным данным, близкая к предкам *Biddulphia* S. F. Gray и *Attheya* West, примерно 150 млн лет тому назад привела к появлению бесшовных пеннатных. При этом произошла кардинальная смена типа полового процесса. Оогамия сменилась относительной изогамией. Были полностью утрачены жгутики, гаметы стали похожими по размеру и неподвижными. Очевидна проблема, с которой пришлось столкнуться в этой связи бесшовным пеннатным, — необходимость доставки неподвижных гамет к месту сингамии. У части бесшовных были задействованы механизмы движения, связанные с формированием на поверхности гамет временных цитоплазматических выростов. У большинства же из них эта проблема решалась (и решается) за счёт высокой численности (плотности расположения) клеток, чему благоприятствует переход от планктонного к донному образу жизни. Дальнейшая эволюция, спустя примерно 25 млн лет, породила шовных пеннатных, расцвет которых оказался стремительным. Сегодня шовные пеннатные составляют $\frac{3}{4}$ от общего количества видов диатомовых на планете. У шовных пеннатных функция доставки к месту сингамии перешла от самих гамет к их носителям — родительским клеткам.

Таким образом, в эволюции диатомовых прослеживаются несколько основных изменений. Первый ароморфоз был обусловлен изменением экотипа (планктон — бентос). Переход к субстратно-связанному образу жизни сопряжён с возможностью нахождения колоний или одиночных клеток в непосредственной близости друг от друга, и, как следствие, их гаметы избегли жёсткой необходимости преодолевать сравнительно большие расстояния в трёхмерном пространстве. Вторым ароморфозом — появление шва в структуре панциря и подвижности клеток. Подвижность клеток определила значительную эволюционную радиацию, связанную с освоением новых экологических ниш. Кардинальный переход от оогамии к изогамии сопровождался изменением системы скрещивания и, что имеет более принципиальный характер, механизма детерминации пола. Если у центрических пол определяется эпигенетически, то у пеннатных мы наблюдаем генетическую детерминацию. Пол клона, заданный генетическим набором, не изменяется на протяжении всей жизненной истории. Это, в свою очередь, повышает аутбридинг, итогом чего является ускорение эволюции.

Половое воспроизведение бентосной диатомовой водоросли *Haslea* sp. с корсиканского побережья

Давидович О. И., Давидович Н. А.

Карадагская научная станция имени Т. И. Вяземского — природный заповедник РАН — филиал
ФИЦ ИнБЮМ, Феодосия, Россия
olivdav@mail.ru

Остров Корсика — четвёртый по величине в Средиземном море. В августе 2019 г. из бентосных проб, отобранных у корсиканского побережья, были выделены клоны из рода *Haslea* и введены в культуру. Условия содержания описаны в работе [Давидович и др., 2017]. Был инициирован и изучен половой процесс у одного из представителей этого рода. Клетки бентосной двушовой пеннатной диатомовой водоросли *Haslea* sp. — одиночные, подвижные, строго ланцетные, с острыми неокрашенными концами. В клетке имеются два больших хлоропласта, лежащих по обе стороны от апикальной плоскости. Это второй вид, не содержащий мареннин-подобного пигмента, из рода *Haslea*, у которого описывается половой процесс. Гетероталлическое половое воспроизведение у исследованного вида начиналось в репродуктивно совместимых парах клонов со спаривания двух подвижных клеток (гаметангиев), происходящих из различных клонов. Гетероталлизм легко определялся, так как средние размеры клеток в клонах были разными, и в парах гаметангиальных клеток наблюдались клетки двух размеров. В каждой из родительских клеток формировались две сферические гаметы. В активных мужских гаметах наблюдались цитоплазматические выросты. При формировании мужских гамет содержимое клетки делилось апикально с последующей перегруппировкой гамет. Зиготы формировались между женскими гаметангиальными створками. Расширение ауксоспор было биполярным. Обычно каждая гаметангиальная пара производила две инициальные клетки. Для вида *Haslea* sp. с корсиканского побережья характерна размерная изогамия, при этом процесс формирования и поведения гамет анизогамный.

Адаптация фитопланктонного сообщества к спектральному составу света

Ефимова Т. В., Чурилова Т. Я., Моисеева Н. А., Скороход Е. Ю.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

tefimova@ibss-ras.ru

Для понимания закономерностей пространственно-временной изменчивости структуры сообщества фитопланктона, смены доминирующих таксономических групп в сообществе и их влияния на продуктивность природных водоёмов необходимо обладать знаниями о специфичности адаптации различных таксонов водорослей к изменяющемуся по глубине спектральному составу света.

На примере Чёрного моря и озера Байкал была исследована хроматическая адаптация фитопланктонного сообщества на глубине.

В период исследований термоклин разделял слой существования фитопланктона на два квази-изолированных слоя — верхний квазиоднородный слой (далее — ВКС) и слой нижней части зоны фотосинтеза. На станциях с термоклином, который располагался в пределах эвфотической зоны, под термоклином на глубине, соответствующей примерно 1 % фотосинтетически активной радиации (далее — ФАР), наблюдался глубинный максимум концентрации хлорофилла *a*. На станциях с термоклином, углублённым до дна эвфотической зоны, под термоклином, несмотря на экстремально низкие интенсивности ФАР, также существовал фитопланктон.

Спектры показателей поглощения света пигментами фитопланктона, полученные для слоя ВКС и для слоя под термоклином и до глубин с уровнем облучённости $\sim 1\text{--}0,1$ % ФАР, отличались по форме. На спектрах в ВКС отмечено два максимума на длинах волн ~ 438 нм и ~ 678 нм. На спектрах поглощения, полученных под термоклином, появился локальный максимум на длине волны ~ 550 нм. По мере заглубления и приближения к нижней границе зоны фотосинтеза этот максимум становился более выраженным, что связано с доминированием фикоэритринсодержащих видов в фитопланктоне [Churilova, 2019]. Увеличение доли фикоэритринсодержащих микроводорослей в сообществе наблюдалось на глубинах ниже слоя глубинного максимума хлорофилла *a*, приуроченного к 1%-ному уровню ФАР, что нашло отражение в форме спектров показателей поглощения света пигментами фитопланктона.

Сравнение формы спектров показателей поглощения света продемонстрировало увеличение светопоглощающей способности глубинного фитопланктона по сравнению с поверхностным фитопланктоном к поглощению сине-зелёного света, проникающего к нижней границе зоны фотосинтеза. Проведённая для отдельных станций оценка удельной (на единицу концентрации хлорофилла *a*) эффективности поглощения света пигментами фитопланктона показала увеличение эффективности поглощения света на глубинах с $\sim 0,1$ % ФАР за счёт фикоэритрина на ~ 33 % в Чёрном море и на ~ 20 % в озере Байкал.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (грант № 18-45-920070) и в рамках темы госзадания № 121040100327-3.

Вариативность поведения пинагора в период охраны потомства

Зуев Ю. А.¹, Русяев С. М.²

¹Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ»), Санкт-Петербург, Россия

²Магаданский филиал ФГБНУ «ВНИРО», Магадан, Россия

yzuyev@yandex.ru

Пинагор *Cyclopterus lumpus* выделяется среди промысловых рыб северных морей России выраженным половым диморфизмом и значительными вертикальными миграциями. Наиболее специфичной чертой биологии пинагора является охрана самцом потомства — кладки оплодотворённой икры [Мочек, 1973 ; Davenport, 1983]. Процесс охраны потомства предопределяет высокую выживаемость молоди, способствуя устойчивости трофической связи пинагор — гребневик в экосистеме Баренцева моря.

В предыдущем исследовании авторами были изучены основные типы поведения самцов пинагора [Русяев, Зуев, 2005], однако его количественные характеристики в период охраны потомства не были раскрыты. Это обусловило цель данного исследования — изучить вариативность поведения самца пинагора, используя статистические показатели. По нашему мнению, термин «вариативность» несколько лучше характеризует повторяющееся, регулярное поведение этой рыбы в период охраны потомства, чем «изменчивость».

Изучение поведения пинагора основывалось на анализе видеосъёмки объекта в различное время суток в июне — июле 2002–2003 гг. на двух участках (губа Ура и остров Витте Баренцева моря), имеющих существенные различия в динамике вод и обилии потенциальных хищников. На расстоянии 3 м от кладки, охраняемой самцом пинагора в зоне макрофитов, устанавливалась ТНПА «Гном», а изображение передавалось на монитор, который был установлен на берегу. Фиксируемой единицей поведения объекта являлась имеющая типичные признаки активность. Повторяющееся сложное действие, выделенное по типичным признакам нескольких активностей, определялось как цикл. Долю каждого типа активности самца определяли по суммарному времени действий объекта, измеряемому по хронометражу видеозаписи. Оценка достоверности различий в длительности активностей проводилась непараметрическим аналогом однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) — критерием Краскела — Уоллиса, достоверность различий для двух групп — критерием Манна — Уитни.

В результате анализа были уточнены 6 основных типов активностей поведения: оборонительное поведение (атака объектов, приближающихся к кладке), отдых (в том числе закрепление с использованием присоски у кладки), перемещение (контроль пространства и смена активностей), а также 3 типа аэрации. В нашем случае «аэрация» — это puffing [Goulet et al., 1986], процесс «омывания» рыбой кладки интенсивным током воды из-за рта. Кладка с развивающимися эмбрионами представляла собой вытянутое «пятно», что типично для пинагора, откладывающего икру порционно на твёрдый субстрат, поэтому принятые в исследовании 3 типа аэрации — это аэрация в одну часть кладки, в другую и «нарушенная» (вне кладки). Отсюда: родительское поведение взрослой рыбы за кладкой представляет собой повторяемые действия — циклы («аэрация в одну часть», «перемещение», «аэрация в другую часть»). Циклы могут продолжаться десятки минут и занимать от 50 до 98 % всего времени. Циклы прерываются только на «отдых» и «оборонительное поведение» и сразу возобновляются.

Продолжительность средней аэрации достоверно не отличается в различных условиях среды и в разные периоды наблюдений (в начале и конце охраны потомства), но длительность этого действия достоверно уменьшается при наличии хищников.

Поведение рыбы по защите кладки от хищников было более вариативным, чем при аэрации, и зависело от размера хищника и типа угрозы. Небольшие хищники (брюхоногие моллюски и иглокожие) относились от кладки. Средние (краб-паук, сайда, треска) атаковались на подходе, что приводило к их отступлению. Крупные хищники (камчатский краб) атаковались не «в лоб», а только сзади, что, вероятно, было более безопасным для рыбы.

Таким образом, значительная часть внешних воздействий на самца пинагора в условиях многодневного голодания, по нашему мнению, не может внести значительные изменения в ритм его поведения при охране кладки. Изменения в отдельных действиях, как и в поведенческих циклах, происходят только под воздействием непостоянных факторов, таких как хищники.

В целях формализации процесса поведения пинагора логично представить повторяющиеся циклы самца у кладки в виде циклического алгоритма, который может стать базисом для построения ДЕВ-модели (Dynamic Energy Budget), позволяющей при наличии ряда входных данных выполнить прогноз истощения энергетических ресурсов рыбы с учётом влияния факторов среды.

Экспансия лебедя-шипуна в Рязанской области

Иванчев В. П.

ФГБУ «Окский государственный природный биосферный заповедник», Брыкин Бор, Россия

ivanchev.obz@mail.ru

В настоящее время на территории Рязанской области лебедь-шипун *Cygnus olor* — редкий гнездящийся вид. Впервые в Рязанской области отмечен в 1979 г.: 4 птицы встречены 12.04.1979 в пойме Оки [Котюков, 1990]. В последующие годы происходило увеличение как числа встреч стай и одиночных птиц, так и общего их количества, но этот процесс не имел выраженного прямолинейного характера. После существенного возрастания в 1981–2000 гг., например, в период 2001–2010 гг. произошло уменьшение значений обоих параметров.

Не исключено, что на динамику этого процесса сильно влияет трудность определения видовой принадлежности встреченных лебедей, так как очень большая часть наблюдений принадлежит любителям природы, не орнитологам. Например, именно в период 2001–2010 гг. встречено очень много лебедей, не определённых до вида.

Значительное увеличение численности лебедя-шипуна отмечено в 2011–2020 гг., но особенно сильно численность птиц в Рязанской области увеличилась в 2020 г., после очень мягкой зимы. В этот год лебедь-шипун отмечен во многих районах Рязанской области: Рязанском, Спасском, Михайловском, Сараевском, Ряжском и др. [Иванчев, 2020 ; Фиолина, 2020].

В 1981–2010 гг. обычно встречались небольшие группы птиц, из 2–3 особей, гораздо чаще встречались птицы-одиночки. Однажды была встречена стая из 7 шипунов (22.06.1984, оз. Лопата), однажды — из 12 (06.06.1998, рыбхоз Пара) [Иванчев и др., 2000].

В 2011–2019 гг. максимальная величина стаи — 7 птиц (18.06.2015, оз. Лакашинское). В 2020 г. лебеди-шипун были встречены 30 раз, при этом птицы-одиночки встречены всего лишь в 6 случаях, а остальные случаи пришлось на группы из 2 и более птиц. В этот год отмечены очень крупные стаи лебедей-шипун. В Ряжском рыбхозе в апреле 2020 г. на пруду № 3 долго жили 12 лебедей-шипун, затем к ним прилетела стая из 48 птиц, и в дальнейшем стая из 60 птиц находилась на пруду не менее недели [Иванчев, 2020]. В этом же году в Ряжском рыбхозе в августе отмечали стаю из 16 лебедей-шипун.

В Липяговском рыбхозе (Милославский р-н) в апреле 2020 г. держалась стая из 18 птиц [Иванчев, 2020].

В 2020 г. лебеди-шипун регулярно отмечались на оз. Винтер у с. Гулынки Спасского р-на: 03.06.2020 там зарегистрировано 15 лебедей-шипун, 05.07.2020 — 5, 06.11.2020 — 20, а 07.11.2020 — 4 птицы.

Если в первые годы была отмечена только одна встреча в апреле, то в 1981–1990 гг. птицы были зарегистрированы уже на летовке и на осеннем пролете. Кстати, в этот временной период было отмечено гнездование одной пары в Рязанской области — в 1990 г. на пойменном озере Длинное у г. Спасска [Иванчев и др., 2003].

С 2001 г. птицы начали встречаться в течение всего весенне-осеннего периода. Затем встречи стали происходить более регулярно, особенно в 2020 г.

Уже в 1983 г. лебедь-шипун начал задерживаться на некоторых озёрах на несколько дней; например, на оз. Ижевское 2 птицы жили с 2 по 17 июня. В 2018–2020 гг. по одной паре лебедей-шипун жили в течение всего летнего периода на рыбопродуктивном пруду в Ряжском р-не, но вы-

водки у них не отмечались [Иванчев, 2020]. В 2020 г. в различных районах области одиночные птицы на озёрах и прудах рыбхозов оставались на всё лето. Например, на оз. Кривое-Тырновское один шипун жил с середины июня до 7 ноября. Птицы также начали задерживаться на некоторых озёрах на несколько дней осенью: 5–29 ноября на оз. Святое-Лубяницкое — 1 особь; 7–24 ноября на оз. Винтер — 4 особи. Птицы покинули озеро, когда большая часть зеркала воды покрылась льдом, хотя при осмотре 29.11.2020 на нём ещё оставались две полыньи диаметром до 30 м каждая.

Регулярно одиночные пары лебедя-шипунa в Рязанской области начали гнездиться в 2016 г. — 2 пары в Милославском р-не [Иванчев, 2020]. К настоящему времени происходит значительное увеличение количества негнездящихся птиц, что для этого вида очень характерно. Например, по материалам III Всесоюзного учёта численности лебедя-шипунa, число гнездящихся птиц в 1987 г. составило только 15,4 % от общего их количества [Кривоносов, 1990].

Современная волна экспансии лебедя-шипунa началась в 1960-е гг., и, наряду с другими факторами (усиление охраны, склонность к домостикации), она в наибольшей мере определяется потеплением климата [Кривенко и др., 1990]. В Рязанской обл. её прохождение характеризуется сравнительно низкими темпами. Так, после первой встречи в 1979 г. первое гнездование отмечено лишь через 11 лет, а регулярным оно стало только через 37 лет. При периодизации процесса расселения лебедя-шипунa в Рязанской области можно выделить следующие его этапы:

- первый — с 1979 по 1983 г. — единичные залёты на территорию области;
- второй — с 1983 по 2015 г. — увеличение числа встреч в течение всего бесснежного периода года, единичные случаи гнездования;
- третий — с 2016 г. — регулярное гнездование отдельных пар, массовые случаи остановки птиц на летовку, длительные остановки на водоёмах в осенний период.

В Рязанской обл. первые лебеди-шипунy весной появляются в конце марта — начале апреля; наиболее ранние случаи — 31.03.2002, 29.03.2009 и 20.03.2020. Чаще первые регистрации происходили в первой половине апреля — 4–19 апреля. Один лебедь, не определённый до вида, был встречен на оз. Лопата в охранной зоне Окского заповедника 08.03.2020.

Сроки гнездовых явлений не прослежены, птенцы в выводках в конце сентября были лётными и по размерам не отличались от взрослых птиц. В трёх известных выводках в Рязанской обл. было 4, 4 и 6 птенцов. Птицы гнездились на водоёмах с очень обширными зарослями рогоза узколистного.

На территории Рязанской обл. птицы задерживаются до конца ноября, возможны случаи зимовки отдельных особей. Наиболее поздняя встреча лебедя-шипунa отмечена 09.12.2019 на карьере Змеинский в Михайловском р-не.

Антиоксидантная активность различных видов дальневосточных двустворчатых моллюсков из естественной среды обитания

Истомина А. А.

Тихоокеанский океанологический институт имени В. И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, Россия

s-istomina1@mail.ru

Адаптация к определённым условиям среды обитания включает совокупность морфологических и биохимических особенностей организма, которые обеспечивают его жизнедеятельность и репродуктивность. Большой интерес представляет изучение различий антиоксидантной (далее — АО) активности у моллюсков, занимающих разные экологические ниши, а также исследование способности АО системы обеспечивать жизнедеятельность видов в естественных и стрессовых условиях.

Цель данной работы состояла в том, чтобы определить базовый уровень АО активности у моллюсков с различным образом жизни и найти его взаимосвязь с физиологическими и биохимическими особенностями видов.

Среди исследованных в данной работе 14 видов дальневосточных двустворчатых моллюсков, принадлежащих к 8 семействам, есть представители различных экофизиологических групп. Это активно передвигающиеся гребешки (*Azumapecten farreri nipponensis*, *Swiftopecten swiftii* и *Mizuhopecten yessoensis*), прикрепляющиеся к грунту (*Crassostrea gigas*), три вида мидий (*Mytilus trossulus*, *Mytilus unguiculatus* и *Crenomytilus grayanus*), а также закапывающиеся виды (*Glycymeris yessoensis*, *Megangulus venulosus*, *Mya japonica*, *Mactra chinensis*, *Spisula sachalinensis*, *Ezocallista brevisiphonata* и *Saxidomus purpurata*). Закапывающиеся виды моллюсков, обитая в придонных слоях воды с ограниченным водообменом, способны также активно перемещаться в грунте, используя ногу.

Все компоненты АО системы работают согласованно и находятся во взаимокompенсаторных отношениях [Меньщикова, 2006]. Относительный вклад отдельных антиоксидантов в защитные механизмы до конца ещё не понят. Поэтому в данной работе для определения АО активности каждого вида моллюска был применён метод интегрированного статистического анализа, предложенный в работе Белиаеффа и Бургеота [Beliaeff, Burgeot, 2002]. При расчёте антиоксидантной активности — ИОБ (ПЖ + Ж) (интегрированный ответ биомаркеров; суммарно для тканей пищеварительной железы и жабр) — использовали следующие биомаркеры: активность супероксиддисмутазы, каталазы, глутатионпероксидазы и глутатионредуктазы, интегральный уровень низкомолекулярных антиоксидантов, содержание восстановленного глутатиона. Полученные значения АО активности были соотнесены с данными по максимальной продолжительности жизни (далее — МПЖ) видов и с глубиной их обитания.

В целом max и min значения ИОБ различались в 10 раз. Наименьшую АО активность имели *C. gigas*, *M. venulosus* и *M. japonica*. Наибольшее значение было характерно для *G. yessoensis* и *C. farreri nipponensis*. Схожую АО активность имели *C. grayanus* и *S. purpurata*, а также *S. swiftii*, *S. sachalinensis* и *E. brevisiphonata*.

При рассмотрении зависимости между ИОБ видов, их глубиной обитания и МПЖ не обнаружено достоверной корреляции: $r = -0,013$ и $r = -0,290$ соответственно. Однако некоторая закономерность прослеживается внутри семейств Mytilidae и Pectinidae: чем глубже обитает мол-

люск, тем меньше АО активность. Для зарывающихся видов не наблюдается связи АО активности ни с глубиной обитания, ни с глубиной закапывания. Также на уровне отдельных семейств (Mylidae, Pectinidae и Mactridae) наблюдается следующая закономерность: чем выше МПЖ вида, тем ниже его АО активность. Для того чтобы найти более тесную связь между МПЖ и АО активностью у моллюсков с разным образом жизни, возможно, необходимо дополнительно исследовать вклад антиоксидантов мантии, гонад и ноги в расчёт значения ИОБ. Например, в ноге зарывающейся *Anadara kagoshimensis* активность глутатионредуктазы сравнима или выше, чем в пищеварительной железе и жабрах, и в разы выше содержание глутатиона [Гостюхина, Андреевко, 2018]. У видов-фильтраторов (*C. grayanus* и *M. yessoensis*) основной вклад в АО активность принадлежит пищеварительной железе и жабрам [Бельчева и др., 2014], нога находится в рудиментарном состоянии [Супрунович, Макаров, 1990]. У устрицы АО статус пищеварительной железы и жабр одинаков, что, вероятно, связано с одинаковым потреблением кислорода этими тканями [Mori, 1979], нога отсутствует [Супрунович, Макаров, 1990].

Выводы:

1. Конститутивный уровень АО активности может определяться как спецификой среды обитания, так и филогенетическим положением вида. Общие черты взаимосвязи уровня АО активности с МПЖ и максимальной глубиной обитания выявляются только при сравнительном анализе моллюсков, имеющих общее происхождение (в данном случае видов, относящихся к одному семейству).

2. Обнаруженные различия в уровне АО активности у видов одного семейства могут быть обусловлены их эколого-физиологическими особенностями (образ жизни, репродуктивный цикл, глубина обитания и т. д.). Набор компонентов АО системы одинаков для разных видов моллюсков. При этом их различное соотношение указывает на характерную для определённого вида степень окислительного стресса, позволяющего существовать в разнообразных условиях среды обитания.

3. Вероятно, что высокий уровень АО активности у подвижного *A. farreri nipponensis* и зарывающегося *G. yessoensis* является формой реализации эксплуатативной стратегии адаптации к неблагоприятным факторам среды обитания. Такой уровень АО активности обеспечивает их выживаемость в условиях постоянного образования высоких уровней АФК. Вероятно, что в ответ на стрессовые воздействия АО активность у этих видов практически не изменится, если интенсивность возмущающего фактора будет находиться в пределах адаптационных возможностей организма.

4. Низкий базовый уровень АО активности, характерный для прикрепленных *C. gigas* и всех мидий, а также для передвигающихся *S. swiftii* и *M. yessoensis*, вероятно, является формой реализации энергосберегающей стратегии адаптации. Вероятно, что в ответ на стрессовые воздействия уровень АО активности у этих видов будет активироваться (подстраиваться) в зависимости от интенсивности возмущающего фактора (компенсаторная стратегия адаптации).

5. Низкий базовый уровень АО активности, характерный для зарывающихся моллюсков, является формой реализации эксплуатативной стратегии адаптации в условиях образования низких уровней активных форм кислорода. Вероятно, что в ответ на стрессовое воздействие АО система этих видов будет иметь очень ограниченные возможности противостоять образованию радикалов.

Полученные базовые данные по АО активности у разных видов моллюсков имеют большое значение для понимания адаптивных реакций у беспозвоночных. Исследование роли АО активности в общей адаптации к различным факторам среды поможет сохранить биоразнообразие морских экосистем.

Циркадный ритм движения створок молодежи мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. в условиях пищевой недостаточности

Казанкова И. И., Казанцев С. В.

Институт природно-технических систем, Севастополь, Россия

ikazani@bk.ru

Исследование закономерностей поведенческих реакций двустворчатых моллюсков важно для понимания процессов их функционирования в изменяющихся условиях. Метод высокочастотной неинвазивной вальвометрии, активно применяемый в биологических и экологических исследованиях в различных регионах Мирового океана, позволяет получить непрерывный ряд данных по величине раскрытия створок моллюсков, находящихся в естественной среде или в лабораторных условиях в течение длительного времени.

На основе этих данных определено, что в естественных условиях мидия *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 — один из массовых видов бентосных сообществ Чёрного моря — в открытом состоянии находится в среднем 98 % суточного времени [Трусевич и др., 2015, 2019, 2021]. В неблагоприятных условиях эта величина уменьшается, а время нахождения в закрытом состоянии, соответственно, увеличивается.

Другой установленной закономерностью является циркадная ритмика движения створок моллюсков, выражающаяся в том, что расстояние между створками, свидетельствующее о фильтрационной активности моллюсков, изменяется в зависимости от времени суток. *M. galloprovincialis* в этом отношении не является исключением: в природной среде у средиземноморской мидии наблюдается повышение створочной активности в ночной период [Gnyubkin, 2010 ; Трусевич и др., 2010, 2015, 2020 ; Comeau et al., 2018 ; Журавский и др., 2019].

В нашем исследовании мы попытались экспериментальным путём определить влияние на циркадный ритм движения створок мидии *M. galloprovincialis* такого неблагоприятного для них фактора, как недостаточность пищи. Известно, что концентрация пищевых частиц влияет на движение створок. Контролируемые лабораторные исследования показали, что критическая концентрация хлорофилла *a*, ниже которой мидии закрывают свои створки, находится между 0,5 [Pascos, 2009] и 0,9 мкг·л⁻¹ [Riisgård, 2011]. С другой стороны, на примере *Dreissena polymorpha* было определено, что при постоянно повышенной концентрации микроводорослей суточная изменчивость в движении створок отсутствует [Borcherding, 1992].

В проведённом лабораторном эксперименте условие пищевой недостаточности обеспечивалось непроточным содержанием моллюсков и заменой морской воды в опытных ёмкостях на свежую, содержащую естественный корм, только один раз в каждые двое суток. Смена воды происходила в одно и то же время — с 16 до 18 ч. Остальные условия содержания мидий были относительно благоприятными: температура воды находилась в пределах +19...+21 °С, осуществлялась непрерывная аэрация воды, максимальная естественная освещённость была менее 50 лк, плотность посадки моллюсков составляла одну особь на литр, длина мидий достигала 24–26 мм.

Нами было определено, что циркадный ритм у моллюсков сохранялся на протяжении всего 10-суточного эксперимента. Это выражалось в том, что средняя величина раскрытия створок была наибольшей в последнюю четверть суток (по сравнению с предыдущими шестичасовыми промежутками).

В то же время отмечалось большее раскрытие створок с 18 до 24 ч в те дни, когда происходила смена воды, по сравнению с аналогичными периодами в последующие сутки — в среднем в 1,5 раза.

Полученные данные могут свидетельствовать в пользу того, что одной из причин наличия циркадного ритма в движении створок мидии может являться режим кормления моллюсков, связанный с динамикой концентрации пищевых частиц в воде.

Оценка физиолого-биохимических показателей молоди кижуча при выращивании на Паратунском заводе (Камчатка)

Кальченко Е. И.¹, Городовская С. Б.¹, Горбань А. П.², Попков А. А.³

¹Камчатский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («КамчатНИРО»), Петропавловск-Камчатский, Россия

²Северо-Восточный филиал Главного бассейнового управления по рыболовству и сохранению водных биологических ресурсов, Петропавловск-Камчатский, Россия

³Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), Владивосток, Россия

kalchenko.e.i@kamniro.ru

В бассейне р. Паратунка (Юго-Восточная Камчатка) функционирует Паратунский лососевый рыбоводный завод (далее — ПЛРЗ), ориентированный на подращивание молоди кеты и кижуча. Ежегодно выпуск кижуча с ПЛРЗ составляет более 600 тыс. экз. молоди. Технологические возможности рыбоводного завода (подогрев речной воды с помощью тепла геотерм) позволяют выращивать рыб при температурном режиме +5...+11 °С и получать к началу июля сеголетков кижуча средней массой 5 г, свойственной годовикам кижуча естественных популяций. Кормление рыб искусственными кормами осуществляется с марта до момента выпуска в июле, то есть четыре месяца. В 2019 г. было отмечено снижение скорости роста молоди кижуча на ПЛРЗ по сравнению со скоростью 2014–2016 гг., и нормативная навеска (5 г) была достигнута только в конце июля. Хорошо известно, что рост рыб зависит в первую очередь от температуры воды, количественного и качественного состава пищи. Температурный режим подращивания кижуча на заводе не изменялся. Было выдвинуто предположение, что задержка роста молоди в 2019 г. связана с качеством использованных в этом году комбикормов марки «ЭСКЛ» производства ООО НПК «Агротех» (Новосибирская область). Для доказательства этого предположения была проведена оценка химического состава комбикормов и физиологического состояния молоди кижуча по биохимическим и гистологическим показателям.

Комбикорма марки «ЭСКЛ», согласно сертификатам качества, имели в своём составе следующие компоненты: мука рыбная, крилевая (из гаммарусов), пшеничная, рыбий жир, продукты переработки зерна (пшеничный глютен, жмых зародыша пшеничного), дрожжи пивные, витамины, микроэлементы, добавки незаменимых аминокислот лизина и метионина, биологически активных веществ (Био-Мос, Салколи Комби Драй), предназначенных для повышения иммунитета рыб.

Важным показателем качества искусственных кормов является их химический состав. Комбикорма марки «ЭСКЛ» по содержанию протеина (54,1–64,6 %), липидов (9,1–14,2 %) и углеводов (5,2–14,1 %), а также по калорийности (4720–4974 ккал·кг⁻¹) не уступали ранее применявшимся кормам импортного производства (Aller Aqua). При оценке состава жирных кислот общих липидов этих диет было обращено внимание на уровень в них полиненасыщенных жирных кислот (далее — ЖК) ω -3 и ω -6 типов, влияющих на рост и физиологическое состояние молоди лососей. Основными источниками ЖК ω -3 типа (особенно эйкозапентаеновой и докозагексаеновой) в лососевых кормах являются такие компоненты, как рыбная мука и рыбий жир, а ЖК ω -6 типа (особенно линолевой) — растительные масла. В комбикормах марки «ЭСКЛ» содержание ЖК ω -3 типа составляло 14,8–15,3 % от суммы всех ЖК, что было почти в 2 раза ниже, чем в импортных комбикормах (23,1–31,9 %). Рекомендуется, чтобы доля ЖК ω -3 типа в рационах для молоди лососей составляла не менее 20 % [Watanabe, 1982]. Корма марки «ЭСКЛ» не отвечали этому требованию. Содержание в них ЖК ω -6 типа (11,4–23,1 %) было значительно выше, чем в импортных комбикормах (6,0–15,3 %). Результаты анализа состава ЖК корма марки «ЭСКЛ» свидетельствовали

о недостатке в нём ингредиентов рыбного происхождения (рыбная мука и рыбий жир) и избытке ингредиентов растительного происхождения по сравнению с импортными кормами. Рыбная мука является основным источником полноценного протеина, сбалансированного по незаменимым аминокислотам, в искусственных рационах для молоди лососей. При недостатке полноценного протеина в кормах происходит торможение роста рыб [Сорвачев, 1982].

Молодь кижуча при использовании комбикорма марки «ЭСКЛ» имела следующие рыбоводно-биологические показатели. Конечная средняя масса рыб в конце июля составляла 5,5 г, скорость роста — 2,3 % в сутки, выживаемость — 99,1 %, кормовой коэффициент — 0,8. Одни только эти показатели не дают возможности объективно судить о полноценности применяемых рационов. Для оценки физиологической полноценности комбикормов необходимо обращать внимание на биохимические и гистологические показатели рыб [Остроумова и др., 2016].

Биохимические показатели рыб — индикаторы их обеспеченности в элементах питания. При оценке биохимических показателей молоди искусственного воспроизводства за условную норму принимают биохимический состав молоди естественных популяций [Пономарев, Пономарева, 2003]. У сеголетков кижуча перед выпуском с ПЛРЗ в конце июля содержание белков в мышечной ткани составляло 16,4–18,3 %, липидов — 2,9–3,4 % от сырой массы ткани, что было сопоставимо с аналогичными показателями у одноразмерной молоди кижуча естественного воспроизводства из р. Паратунка (15,6–19,7 и 1,7–4,3 % соответственно), то есть соответствовало норме. Исследование состава ЖК общих липидов мышечной ткани рыб, выращенных на корме марки «ЭСКЛ», показало, что у них был более низкий уровень ЖК ω -3 типа (16,8 % от суммы всех ЖК), но высокий уровень ЖК ω -6 типа (13,4 %) по сравнению с кижучем естественных популяций из р. Паратунка (39,4 и 4,9 % соответственно). Отличительной особенностью состава заводского кижуча являлось избыточное содержание в нём линолевой (10,2 %) и недостаточное эйкозапентаеновой (2,9 %) и докозагексаеновой (10,4 %) ЖК по сравнению с таковыми у молоди естественного воспроизводства (2,2; 7,9; 24,2 % соответственно). Низкий уровень ЖК ω -3 типа у сеголетков кижуча обусловлен недостатком этих кислот в кормах, использованных при их выращивании, что будет отрицательно влиять на жизнестойкость рыб после выпуска с завода в естественные водоёмы.

Одним из критериев оценки физиологического состояния заводской молоди являются гистологические показатели печени. Анализ состояния печени кижуча перед выпуском с ПЛРЗ показал, что она имела красно-коричневый цвет и плотную консистенцию, гепатосоматический индекс составлял меньше 2 %. Клетки неправильной формы, ядра округлые. Паренхима пронизана кровеносными сосудами, в которых видны форменные элементы крови. Жировые включения не встречались. Среднее количество ядер, приходящихся на контрольную площадь препарата, составляло 25, диаметр ядер — 6 мк, число делящихся ядер — 5, частота клеточного митоза — 3 %. Сравнение полученных данных с литературными [Толстяк, 1999 ; Валова, 2000], приведёнными для молоди тихоокеанских лососей, позволило сделать вывод, что микроструктура печени кижуча, выращенного на кормах марки «ЭСКЛ», характеризовалась нормальным состоянием.

По нашему мнению, причиной снижения скорости роста молоди кижуча на ПЛРЗ в 2019 г. стало недостаточное содержание в составе комбикормов марки «ЭСКЛ» таких компонентов, как рыбная мука и рыбий жир, являющихся источниками полноценного протеина и полиненасыщенных ЖК ω -3 типа соответственно в рационах, которые предназначены для выращивания лососевых рыб.

Влияние нефти на физиологические механизмы резистентности рыб

Каниева Н. А.

Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

kanievana52@mail.ru

Научная проблема в вопросе нефтяного загрязнения заключается в определении пределов эколого-физиологической устойчивости организма рыб, в которых возможна адаптация к изменяющимся экологическим условиям.

Комплексные исследования, проведённые в лабораторных и природных условиях, позволяют установить целый ряд физиолого-биохимических и морфофизиологических изменений в организме рыб, возникающих в условиях различного влияния сырой нефти на гидробионтов. По материалам исследований установлены физиологические пределы влияния различных доз в острых, подострых и хронических экспериментах каспийской нефти на рыб. Выявлены признаки прогрессирующих патоморфологических нарушений не только в отделах ЦНС, но и во внутренних органах, в том числе в печени и мышцах. Морфологические изменения мышц имеют прямое отношение к угнетению и утрате плавательной способности и локомоции рыб, а усугубляющим их фактором является деструкция мотонейронов.

Установлено также, что нефтяное загрязнение вызывает как косвенное, так и прямое негативное воздействие на органы дыхания рыб. Можно не только визуальное наблюдать изменения жабр (в виде нефтяного налёта на жаберных лепестках): при более углублённом изучении структуры на гистологическом, цитологическом уровне выявляются патологические процессы. То есть «воротами» проникновения в организм рыб углеводов, растворённых или диспергированных в воде, являются жабры, которые они попутно, но систематически разрушают. Морфофункциональные изменения жабр чётко сопряжены с гематологическими показателями крови рыб, а гематологические нарушения приводят к постепенной патологии всех органов.

В результате проведённых исследований выявлены белки, имеющие отношение к механизмам адаптации организма при воздействии нефти. В сыворотке крови подопытных рыб происходит изменение качественного состава глобулярных белков, взаимопревращение которых — факт известный и связанный с гуморальным фактором иммунитета животных, в том числе рыб. Дифференциацию белков, очевидно, следует отнести к механизму физиологической адаптации в направлении увеличения резистентности организма к токсиканту.

Электрофоретический анализ сыворотки крови карпа выявил значительную гетерогенность фракционного состава белка. У интактных карпов белковый состав сыворотки крови представлен пятью фракциями, а именно преальбумином, альбумином, α -, β -, γ -глобулинами. В свою очередь, α -, β -, γ -глобулины также гетерогенны и состоят из нескольких компонентов. Индивидуальные колебания общего числа белковых компонентов у карпа — 17–18. Альбумины были представлены тремя компонентами; это слабый минорный преальбумин и две фракции альбуминов, которые заметно отличались по количественному содержанию. В других случаях альбумины имели только одну фракцию. Наибольшая дифференциация белковых компонентов у интактных рыб наблюдалась среди β -глобулинов (2–3) и α -глобулинов (10–12). В то же время γ -глобулины представлены 1 компонентом.

Во всех экспозициях опыта (10, 20 и 30 суток) под действием нефти альбуминовая и γ -глобулиновая фракции всех исследованных рыб оставались неизменными в составе 3 и 1 компонента соответственно. Наибольшая степень дифференциации отмечена среди β -глобулинов, где на 30-е сутки эксперимента в отдельных случаях наблюдалось 4 компонента, а в остальных — 3. В предшествующие сроки анализа (10 суток) количество компонентов β -глобулинов в двух случаях составило 3, а на 20-е сутки увеличилось до 3 во всех случаях. Представляют интерес α -глобулины, которые на 10-е и 20-е сутки экспозиции дифференцированы 9–14 компонентами. В последующие сроки опыта (на 30-е сутки) белковый спектр не отличается от такового интактных.

Аналогичные данные выявлены и по белковому спектру тканевых водорастворимых белков, среди которых в наибольшей степени дифференцируются СМБ и ВМБ, оказавшиеся более лабильными. Подобные результаты получены в ходе наблюдений в природных условиях на примере бычков, используемых в качестве объекта мониторинга; они были выловлены в местах нефтеразведки, проводимой в Северном Каспии.

Энергетические закономерности роста у морских рыб Арктики

Карамушко Л. И.

Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, Россия

karamushkol@yahoo.com

Определяющим моментом в изучении организации арктических экосистем являются трофо-энергетические процессы: именно в условиях низких температур в наиболее острой форме проявляется адаптивная значимость метаболических и продукционных процессов [Чернов, 2008]. Поэтому изучение количественных и качественных аспектов роста арктических видов рыб весьма актуально, прежде всего для высокоширотных районов Арктики, где условия существования видов изменяются в результате значительных пространственно-временных колебаний абиотических и биотических факторов.

Основной перенос вещества и энергии в Арктике осуществляется за счёт арктических криопелагических видов рыб, питающихся планктоном, поэтому в нашем исследовании особое внимание было уделено сайке *Boreogadus saida* (Lepetchin, 1774). Этот вид является одним из самых распространённых и многочисленных в ихтиофауне морей Арктического бассейна и главным потребителем планктона в водах с отрицательными значениями температур. На основании результатов экспедиционных исследований и экспериментальных данных нами был проведён сравнительный анализ биоэнергетических параметров роста и показателя эффективности использования ассимилированной пищи на рост (K_2) для отдельных возрастных групп сайки из Баренцева моря и моря Лаптевых.

Показано, что средние значения размерных характеристик (длина и масса тела рыб одного возраста) в море Лаптевых (в одном из наиболее суровых по условиям среды обитания) гораздо ниже, чем в Баренцевом море. Биоэнергетические параметры роста у сайки из моря Лаптевых также достигают меньших значений. Между тем степень утилизации энергии на рост соматических и генеративных тканей у сайки моря Лаптевых выше по сравнению с баренцевоморской сайкой, так как эффективность использования ассимилированной пищи на рост (коэффициент K_2) достигала больших значений для всех возрастных групп. Нами ранее было установлено, что сайка в экспериментальных условиях показывает высокие значения ассимиляции при кормлении *ad libitum*, при этом средние значения коэффициента K_2 могут достигать 65 % [Карамушко, 2007].

Для выявления закономерностей биоэнергетических и продукционных процессов в популяциях арктических и бореальных видов рыб для трёх представителей семейства Gadidae — сайки *Boreogadus saida*, атлантической трески *Gadus morhua* и тихоокеанской трески *Gadus macrocephalus* — нами был проведён сравнительный анализ влияния температуры на удельную скорость роста в экспериментальных условиях в режиме кормления до насыщения, то есть при максимальных рационах. Показано, что у всех трёх видов темп роста возрастает с повышением температуры, достигая максимума при оптимальной температуре, и затем резко снижается в связи с влиянием высоких температур, особенно у арктического вида — сайки. У бореальных видов (атлантическая и тихоокеанская треска) температурный оптимум роста, как и следовало ожидать, сдвигается в направлении всё более высоких значений. А при температурах, превышающих оптимальные для роста, эффективность ассимиляции пищи, как правило, снижается [Jobling, 1988]. Важным моментом при анализе полученных кривых роста является то, что при низких температурах удельная скорость роста арктических видов выше, чем у бореальных холодноводных рыб,

что указывает на более высокую эффективность использования ассимилированной пищи на рост у арктических видов. Поскольку сайка может трансформировать до 75 % энергии от более низких продуцентов к высшим хищникам, такая высокая эффективность ассимиляции и способность поддерживать рост при низких температурах являются фундаментальными составляющими пищевых сетей экосистем в Арктике.

Таким образом, в рамках энергетического «бюджета» пойкилотермных организмов экономия затрат на поддерживающие функции позволяет освободить часть энергии для роста. Такая экономия энергии, вероятно, будет максимальной при постоянно низкой температуре обитания, поскольку метаболическая энергия, необходимая для роста, может быть получена только двумя путями — либо за счёт подавления других энергоёмких функций, включённых в расходы основного (поддерживающего) обмена, либо путём увеличения эффективности преобразования пищи в энергию белков в организме.

Разнообразие ассоциированной микробиоты цестод, паразитирующих в мышцах и кишечнике рыб рода *Coregonus* озера Телецкое

Кашинская Е. Н.^{1,2}, Симонов Е. П.^{2,3}, Власенко П. Г.², Соловьев М. М.²

¹Институт биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина РАН, Борок, Россия

²Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, Россия

³Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

elena.kashinskaya@inbox.ru

Проведено изучение таксономического состава бактериальных сообществ, которые ассоциированы с цестодами *Proteocephalus* sp. и *Triaenophorus* sp., паразитирующих в кишечнике телецкого сига *Coregonus lavaretus pidschian* и сига Правдина *C. l. pravdinellus* соответственно. Сбор ихтиологического и микробиологического материала проводили в озере Телецкое (Республика Алтай, 51°79'N, 87°30'E). Анализ ассоциированной микробиоты цестод, паразитирующих в мышцах и кишечнике рыб, проводили сразу после отлова рыб в асептических условиях. Для выявления особенностей распределения ассоциированной микробиоты цестод, паразитирующих в кишечнике рыб, применялся подход последовательных смывов (метод десорбции) ассоциированной микробиоты с поверхности тегумента. Суть метода заключалась в последовательных смывах микробиоты с поверхности тегумента цестод в стерильном растворе Рингера (pH = 7.4). Первую фракцию получали через 15 секунд (Д1), фракции Д2–Д5 — через каждые 15 минут, последнюю фракцию смыва (Д6) проводили при наличии 0,2 % (w/v) Triton X-100. Полученные смывы, содержащие фракции с различной степенью ассоциированности бактерий к тегументу цестод, далее лиофилизировали и использовали для выделения ДНК. В асептических условиях также собраны образцы слизистой и содержимого кишечника заражённых и незаражённых рыб. Для сига Правдина плероцеркоиды из мышц освобождались от капсул стерильными инструментами; для анализа микробных сообществ учитывались сами капсулы без паразитов, а также ткань мышц в области инфицирования и мышцы, свободные от капсул. Из собранных образцов была выделена тотальная ДНК с использованием коммерческого набора «ДНК-сорб-В» («НекстБио»). Секвенирование гипервариабельных участков V3, V4 гена 16S рРНК проводили на платформе MiSeq Illumina в компании «Евроген» (Москва).

По результатам секвенирования региона V3–V4 гена 16S рРНК, разнообразие микробиоты телецкого сига достоверно зависело как от отдела пищеварительного тракта (1 и 2 отдела), так и от типа ткани (слизистая/содержимое), а также от инфекционного статуса (заражённые/незаражённые) рыб. По составу кишечной микробиоты у заражённых рыб отмечена высокая внутривидовая изменчивость, ассоциированная микробиота цестод очень сильно привязана к своему хозяину. По составу микробных сообществ микробиота цестод разделяется на 4 группы: 1) микробиота до смывов в растворе Рингера; 2) микробиота смывов Д1–Д5; 3) микробиота после обработки детергентом Triton X-100; 4) микробиота самих паразитов после всех смывов. В ассоциированной микробиоте цестод обнаружены уникальные таксоны бактерий, не встречающиеся либо присутствующие в минорных количествах в кишечнике незаражённых рыб. Микробиота цестод на стадии плероцеркоидов, а также их капсул и мышц в месте инфицирования и мышц, свободных от капсул, по качественному составу на уровне филума характеризовалась сходным составом доминантов. По количественному соотношению разных таксономических групп бактерий

как на уровне филума, так и на более низком определяемом уровне в анализируемых сообществах прослеживались достоверные вариации. Микробиота плероцеркоидов цестод *Triaenophorus crassus* наиболее богата и разнообразна по сравнению с микробиотой капсул плероцеркоидов и мышц.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 19-34-60028.

Влияние осмотического стресса на морфофункциональные параметры гемоцитов двустворчатого моллюска *Anadara kagoshimensis*

Кладченко Е. С., Андреева А. Ю., Рычкова В. Н.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

kladchenko_ekaterina@bk.ru

Стрессовые факторы окружающей среды негативно влияют на способность моллюсков к иммунному ответу. Следовательно, в результате солёностного стресса возникают вспышки заболеваний на марикультурных фермах. Кратковременные колебания солёности могут стать причиной роста финансовых потерь на устрично-мидийных фермах. Последнее обуславливает актуальность поиска объектов культивирования с широким диапазоном солёностной толерантности. Для региональной марикультуры Крыма перспективным объектом в контексте солёностной адаптации может стать двустворчатый моллюск анадара (*Anadara kagoshimensis*).

Цель настоящей работы — оценить осмотический адаптивный потенциал перспективного объекта региональной марикультуры Черноморского региона *A. kagoshimensis*.

Объектом исследования являлись двустворчатые моллюски (*A. kagoshimensis*). В работе исследовано 50 особей массой ($16,6 \pm 1,2$) г и диаметром створки ($31,5 \pm 1,1$) мм. Моллюски отбирались весной 2021 г. в прибрежной акватории г. Севастополя (температура воды $+20$ °С; солёность 18,3 ‰; содержание кислорода $8,5 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$). Моллюсков доставляли в лабораторию в пластиковых контейнерах без воды. В лаборатории анадара рассаживали в аквариумы, плотность посадки составляла 3–5 л на особь. В аквариумах поддерживались условия, близкие к точке сбора материала: температура ($23,3 \pm 0,1$) °С; солёность ($18,2 \pm 0,02$) ‰; pH ($8,1 \pm 0,01$); содержание кислорода ($7,7 \pm 0,1$) $\text{мг} \cdot \text{л}^{-1}$. Солёность и pH контролировали при помощи солемера ST20S (Ohaus, США) и pH-метра ST2100-F (Ohaus, США). Содержание кислорода и температуру воды контролировали при помощи портативного кислородомера с температурным датчиком ST300D (Ohaus, США).

Для оценки диапазонов солёностной адаптации моллюсков разделили на 5 групп по 10 особей в каждой. Контрольная группа содержалась при солёности 18 ‰, экспериментальные — при 8, 14, 35 и 45 ‰. Экспериментальное снижение солёности (точки 14,8 и 8,8 ‰) достигалось путём разбавления морской воды дистиллированной со скоростью ($1,3 \pm 0,3$) % в сутки. После достижения необходимых значений солёности моллюсков выдерживали в заданных экспериментальных условиях 2 дня. Для повышения солёности до 35 и 45 ‰ в экспериментальные аквариумы постепенно добавляли соль (Red sea salt, Франция). Солёность повышалась со скоростью ($0,8 \pm 0,2$) ‰ в час. После достижения солёности 35 ‰ (через 6 дней, без учёта периода акклиматизации) и 45 ‰ (ещё через 4 дня) экспозиция в экспериментальных условиях составляла 2 дня. На протяжении всего эксперимента, включая период акклиматизации к лабораторным условиям, для удаления метаболитов ежедневно меняли воду, с сохранением значения солёности. Моллюсков кормили смесью микроводорослей (*Tetraselmis viridis* (штамм IBSS-25) из коллекции отдела биотехнологии и фиторесурсов ФИЦ ИнБЮМ, 5–10 мл смеси на каждые 50 л аквариумной воды). Температура воды, содержание кислорода и значение pH поддерживались на уровне контроля в течение всего экспериментального периода.

Оценка способности гемоцитов к спонтанной продукции активных форм кислорода проводилась при помощи метода проточной цитометрии по флуоресценции красителя 2',7'-дихлор-

флуоресцеин диацетата (DCF-DA); 1 мл суспензий гемоцитов инкубировали с 10 мкл раствора DCF-DA в течение 40 минут в темноте. Финальная концентрация красителя в пробе составляла $10 \text{ мкмоль} \cdot \text{л}^{-1}$. Флуоресценция красителя анализировалась в канале FL1.

Митохондриальный потенциал оценивали по флуоресценции гемоцитов, окрашенных красителем родамином 123 (Rh123); 1 мл суспензии гемоцитов инкубировали с 10 мкл $\cdot \text{мл}^{-1}$ Rh123 при $+5 \text{ }^\circ\text{C}$ в темноте в течение 45 минут (конечная концентрация красителя в пробе $0,1 \text{ мг} \cdot \text{мл}^{-1}$). Интенсивность флуоресценции клеток, окрашенных Rh123, оценивали в канале FL1.

Степень гемолиза определяли на основе регистрации рассеянного частицами света под разными углами. Исследование осмотической хрупкости проводили путём серийных разведений клеточных суспензий дистиллированной водой (по 1–2 мл) с постепенным снижением осмолярности и добавлением соответствующего объёма гемоцитов для поддержания константы концентрации клеток. Для контрольной группы осмолярность снижали с 485 до $20 \text{ мОсм} \cdot \text{л}^{-1}$; для моллюсков, инкубированных при 8 ‰, — с 404 до $7 \text{ мОсм} \cdot \text{л}^{-1}$. На каждой ступени разбавления осмолярность контролировали криоскопическим осмометром Osmomat 030 (Gonotec, Германия). Диапазон осмолярности от 461 до $55 \text{ мОсм} \cdot \text{л}^{-1}$ был использован для построения классической кривой осмотической хрупкости. Процент гемолиза рассчитывали исходя из 100%-ного гемолиза на наиболее гипосмотической стадии теста — $55 \text{ мОсм} \cdot \text{л}^{-1}$. Для количественного описания осмотической хрупкости гемоцитов *A. kagoshimensis* использовалась точка 50 % гемолиза (H50), отражающая осмолярность среды, при которой наблюдается лизис 50 % клеток в образце.

Достоверность различий между группами оценивали в программе RStudio v4.0.5 с использованием дисперсионного анализа ANOVA и *U*-критерия Манна — Уитни. Результаты представлены в виде ($\bar{x} \pm SE$) (среднее и ошибка среднего).

Снижение солёности с 18 до 14 ‰ и повышение не оказали воздействия на способность генерировать АФК. У группы моллюсков, содержащихся при солёности 8 ‰, напротив, зафиксировано увеличение флуоресценции красителя DCF более чем в 2,4 раза ($p \leq 0,05$) по сравнению с контрольным уровнем. При повышении солёности до 35 ‰ у гемоцитов снижалась общая способность к продукции АФК более чем на 30 % ($p \leq 0,05$); дальнейшее повышение солёности индуцировало увеличение способности к продукции АФК на 11 % ($p \leq 0,05$) в сравнении с контрольным уровнем. У группы моллюсков, содержащихся при 14 и 35 ‰, митохондриальный потенциал соответствовал контрольным значениям. Снижение солёности до 8 ‰ и повышение до 45 ‰ индуцировали увеличение флуоресценции красителя Rh123 в 1,3 и 2,5 раза ($p \leq 0,05$) соответственно. Значение H50 контрольной группы моллюсков составило $(47,3 \pm 5,4) \text{ мОсм} \cdot \text{л}^{-1}$. Значение H50 уменьшалось по мере снижения солёности; у группы моллюсков, содержащихся при 8 ‰, оно составило $(16,2 \pm 2) \text{ мОсм} \cdot \text{л}^{-1}$. У моллюсков, инкубированных в условиях гиперосмотической нагрузки, значение H50 увеличилось: для группы 35 ‰ оно составило $(90,5 \pm 8,6) \text{ мОсм} \cdot \text{л}^{-1}$, а для 45 ‰ — $(124,2 \pm 15,8) \text{ мОсм} \cdot \text{л}^{-1}$.

Снижение способности гемоцитов к генерации окислительного взрыва и сохранение митохондриального потенциала на уровне контрольных значений после инкубации при 35 ‰ указывают на развитие компенсаторного ответа к солёностному стрессу. Кроме того, значения исследуемых показателей в группе 14 ‰ сохранились на уровне контрольных значений; а значит, солёность 35 и 14 ‰ входит в границы осмотической толерантности. Повышение солёности до 45 ‰ и снижение до 8 ‰, напротив, индуцировали окислительный стресс. Кроме того, у моллюсков, адаптировавшихся к гиперосмотическим условиям, клетки лизировали при большей осмолярности. У анадары из гипосмотических условий гемоциты лизировали при меньшей осмолярности. Осмотическая стойкость гемоцитов анадары зависит от солёности, в которой содержались моллюски.

Суточная динамика свободных аминокислот в бурой водоросли *Fucus vesiculosus* Linnaeus, 1753 Баренцева моря в период полярного дня

Клиндух М. П.¹, Меньшакова М. Ю.²

¹Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, Россия

²Мурманский арктический государственный университет, Мурманск, Россия

klindukh.maria@yandex.ru

Водоросли, произрастающие на литорали, подвергаются воздействию ряда факторов среды (температуры, освещения), сила которых определяется временем суток и приливо-отливными течениями. Кроме того, в течение приливо-отливного цикла меняется среда обитания водорослей — с водной на воздушную и обратно. Способность водорослей произрастать в литоральной зоне свидетельствует об их успешной физиологической адаптации к регулярно меняющимся условиям внешней среды, связанным с погружением в воду и с осушением. Одним из таких приспособлений является изменение содержания свободных аминокислот (далее — САК) в течение приливо-отливного цикла. Цель данной работы — определить суточную динамику содержания САК в *Fucus vesiculosus* и их возможную роль в адаптации водоросли к суточным изменениям факторов среды.

Отбор материала для исследования осуществляли каждые 2 часа в период полярного дня с 14 по 15 июля 2020 г. в губе Зеленецкая Баренцева моря (N69.07°, E36.04°). Для исследования брали апикальные участки от 5–6 талломов *F. vesiculosus*, у которых количество дихотомических ветвений составляло 7–10 на таллом. Свежесобранные образцы взвешивали, фиксировали 96%-ным спиртом и хранили в тёмном прохладном месте до анализа. Определение содержания САК проводили с использованием системы капиллярного электрофореза «Капель-105М» (Люмэкс, Россия) согласно методике с предварительной дериватизацией аминокислот фенилизотиоцианатом.

В исследованных пробах бурой водоросли *F. vesiculosus* было определено наличие 18 САК, из которых 16 относятся к протеиногенным аминокислотам (глутаминовая кислота, аспарагиновая кислота, аланин, серин, фенилаланин, треонин, глицин, аргинин, пролин, валин, изолейцин, лейцин, лизин, тирозин, метионин, гистидин), а 2 — к непротеиногенным (орнитин, таурин). Более половины всех САК приходилось на глутаминовую кислоту (53,7–61,2 % от суммы САК). Далее по относительному содержанию следовали аспарагиновая кислота (17,7–28,2 % от суммы САК), аланин (2,2–7,2 % от суммы САК) и фенилаланин (2,3–5,3 % от суммы САК). Относительное содержание остальных САК в составе пула в основном не превышало 2 % от их суммы.

В течение суток изменения содержания САК имели циклический характер: в периоды, когда отлив был максимальным, содержание большинства отдельных САК увеличивалось и соответствовало максимальным значениям в течение приливо-отливного цикла; в периоды, когда прилив был максимальным, содержание большинства отдельных САК снижалось до минимальных показателей в течение приливо-отливного цикла. Подобная динамика содержания была выявлена как для суммарного содержания САК, так и для глутаминовой кислоты, аспарагиновой кислоты, фенилаланина, треонина, глицина, валина, лейцина с изолейцином, тирозина и метионина. Разница в содержании отдельных САК в течение приливо-отливного цикла составила в среднем от 1,5 до 3 раз. Суммарное содержание САК в течение суток колебалось от 2,3 до 6,3 мг·г⁻¹ сухого веса.

Выявленные изменения в содержании САК у *F. vesiculosus* в течение суток связаны с динамикой внешних факторов среды и адаптацией к ним. Значительные изменения происходили при смене фаз приливо-отливного цикла и были вызваны переходом водорослей из водной в воздушную среду и обратно. Этот переход приводит к изменению направленности метаболических процессов: происходит переключение с синтеза и накопления углеводов в водной среде на синтез и накопление соединений с аминогруппой в воздушной среде. Изменения направления метаболических процессов в значительной степени связаны с увеличением содержания активных форм кислорода, избыточное образование которых является основным источником повреждений на клеточном уровне при высыхании водорослей.

Работа выполнена в рамках государственного задания ММБИ РАН № 0228-2019-0016 «Механизмы адаптации, регуляции роста, размножения и рациональное использование водорослей-макрофитов арктических морей» (№ гос. регистрации АААА-А17-117052310082-8).

Влияние фосфорсодержащего фенольного антиоксиданта на уровень спонтанного и индуцированного пероксидного окисления липидов спермы белорыбицы

Коляда М. Н.¹, Осипова В. П.¹, Пименов Ю. Т.², Берберова Н. Т.²

¹Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук,
Ростов-на-Дону, Россия

²Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

mnkolyada@mail.ru

Белорыбица [*Stenodus leucichthys* (Güldenstädt, 1772)] — эндемик Каспия, ценнейший промысловый объект, занесённый в Красные книги Российской Федерации, Астраханской и Волгоградской областей, Республики Дагестан. В условиях сокращения промысловых запасов белорыбицы в результате нарастающего антропогенного воздействия на водные экосистемы сохранение и увеличение её запасов возможно при заводском разведении. Выращивание рыбы в условиях аквакультуры сопряжено с влиянием на неё различных сильнодействующих стресс-факторов среды (хендлинга, гипертермии, гипотермии и гипоксии, транспортировки), которые приводят к гиперпродукции в клетках гидробионтов активных форм кислорода (далее — АФК) и развитию окислительного стресса.

АФК инициируют свободнорадикальные окислительные процессы, прежде всего пероксидное окисление липидов (далее — ПОЛ), которое является основной причиной повреждения клеточных мембран. Наиболее чувствительны к окислительному повреждению липиды спермиев рыб, в которых высока концентрация легкоокисляемых полиненасыщенных жирных кислот в мембранах. По сравнению с другими гидробионтами спермии лососевых рыб, в том числе белорыбицы, наиболее богаты непредельными кислотами, что обуславливает актуальность поиска эффективных антиоксидантов, ингибирующих пероксидацию липидов репродуктивных клеток данного ценного вида рыб.

В работе *in vitro* исследовано влияние фосфорсодержащего фенольного антиоксиданта на уровень накопления вторичных продуктов ПОЛ спермы белорыбицы, реагирующих с тиобарбитуровой кислотой, — ТБК-активных продуктов (далее — ТБК-АП) — при спонтанном (ферментативном) (ТБК-АПсп) и индуцированном ПОЛ в Fe^{2+} -аскорбатной системе (ТБК-АПинд), а также проанализирован исходный уровень ТБК-АП. Неферментативное ПОЛ в Fe^{2+} -аскорбатной системе моделирует стресс-индуцированное свободнорадикальное окисление липидов, поскольку в данной системе образуются АФК, в том числе агрессивный гидроксильный радикал, инициирующий реакции ПОЛ. Накопление в клетке продуктов пероксидного окисления фосфолипидов, одного из основных компонентов всех клеточных мембран, ведёт к такой форме некроза, как ферроптоз.

Согласно полученным в работе данным, в контроле уровень ТБК-АП при индуцированной пероксидации липидов спермы белорыбицы $[(0,96 \pm 0,06) \text{ нмоль} \cdot 10^{-9} \text{ клеток}]$ достоверно ($p < 0,001$) превышает уровень спонтанного ПОЛ $[(0,52 \pm 0,01) \text{ нмоль} \cdot 10^{-9} \text{ клеток}]$ в 1,8 раза. При внесении в сперму фосфорсодержащего фенольного антиоксиданта в концентрации 0,1 мМ уровень ТБК-АПинд снижается на 4,5 % по сравнению с контролем, превышая уровень ТБК-АПсп в 1,4 раза.

Следует отметить, что в условиях спонтанного ПОЛ спермиев белорыбицы исследуемый фенол практически не оказывает влияния на накопление вторичных продуктов ПОЛ, как и на базальный уровень ТБК-АП. Данный факт представляется важным, поскольку купирование ПОЛ являет-

ся нежелательным с учётом того, что данный процесс — необходимое звено жизнедеятельности любой здоровой клетки.

Таким образом, в данном исследовании установлена антиоксидантная активность фосфорсодержащего фенола в условиях стресс-индуцированного свободнорадикального окисления липидов спермиев белорыбицы.

Некоторые аспекты биологии полихеты *Ficoromatus enigmaticus* (Fauvel, 1923) из массовых поселений в акватории крымского побережья (Чёрное море)

Копий В. Г.¹, Зайцева О. В.², Петров С. А.²

¹ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

²Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

verakopiy@gmail.com

Антропогенное воздействие и климатические изменения способствуют расселению чужеродных видов. Один из таких вселенцев — полихета *Ficoromatus enigmaticus* (Fauvel, 1923), которая к настоящему времени широко распространена в солоноватоводных бассейнах Мирового океана и часто образует очень плотные рифовые скопления [Costa et al., 2019; Faillettaz et al., 2018; Oliva et al., 2019]. В Чёрном море этот вид обнаружен вдоль побережья Болгарии, Румынии, на гидротехнических сооружениях Одесского порта [Шурова, Лосовская, 2003; Surugiu, 2005; Траянова et al., 2011]. Вдоль побережья Крыма полихеты данного вида зарегистрированы в акватории Карадагского побережья, в западной части Донузлава и в районе Севастополя [Болтачева и др., 2002; Гринцов, Мурина, 2002; Киселева и др., 2010].

При исследовании прибрежной акватории Керченского пролива на глубинах 0,1–2 м выявлено наличие колониальных поселений *F. enigmaticus*, которые ещё не являются рифовыми образованиями, но уже имеют высокую численность и биомассу. Колонии *F. enigmaticus* являются средообразующим компонентом, между трубками полихет обнаружено большое количество представителей Polychaeta, Mollusca, Crustacea и Ascidiacea.

Электронно-микроскопические исследования *F. enigmaticus* позволили выявить новые, более тонкие детали строения полихеты — многочисленные сенсорные структуры на её теле, жабрах и пигидии. Популяция *F. enigmaticus* — полноценная, она представлена особями с длиной тела от 2 до 39 мм. Длина тела самцов — 2–29 мм. Преобладали полихеты размером 6–29 мм (более 91 % общей численности), доля ювенильных особей с длиной тела 2–5 мм составила 7 %. Самые крупные животные, с длиной 23–29 мм, встречались в единичных экземплярах, их доля составила всего 1,3 % общей численности.

Длина тела самок — 5–39 мм. Преобладали полихеты размером 6–26 мм; самые крупные животные, с длиной тела 27–39 мм, встречались в единичных экземплярах, их доля составила 3 % общей численности. Наименьшая доля (0,6 % общей численности популяции) приходилась на ювенильных особей с длиной тела 5 мм. На момент сбора обнаружены половозрелые самки с яйцами, с длиной тела 12–29,5 мм. Плодовитость *F. enigmaticus* варьирует от 5800 до 24820 яиц при длине тела от 12 до 29 мм соответственно.

Таким образом, исследования показали, что *F. enigmaticus* полностью натурализовался в Чёрном море. С учётом его эврибионтности можно предположить, что он успешно будет вторгаться в Азовское море и прилегающие эстуарии, дельты рек и лиманы, что неизбежно отразится на жизнедеятельности местных видов и экосистем в целом.

Тезисы подготовлены в рамках госзадания ФИЦ ИнБЮМ «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана» (№ 121030100028-0) и госзадания ЗИН РАН «Сравнительное исследование эволюционных преобразований нейромышечной и половой систем Acoelomorpha и Lophotrochozoa» (№ АААА-А19-119020690076-7).

Гидробиологические исследования озёр ВКГПБЗ после деятельности хозяйственных объектов

Косова М. В.¹, Деревенская О. Ю.¹, Унковская Е. Н.²

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

²Волжско-Камский государственный природный биосферный заповедник

mary.burunina96.5@yandex.ru

Исследуемые озёра Гнилое, Линево и Илантово расположены на территории Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника (ВКГПБЗ). В 1970–1980 гг. озёра испытывали интенсивное антропогенное воздействие, вызванное деятельностью бройлерной птицефабрики «Казанская» и зверосовхоза «Раифский». Мероприятия, направленные на очистку заповедных озёр от последствий выброса неочищенных сточных вод с птицефабрики «Казанская» и зверосовхоза «Раифский», разработаны не были. В течение многих лет проводились наблюдения за процессами естественного восстановления озёр в результате влияния проточности.

Гидробиологические исследования, проводимые в 2018–2019 гг., определили экологическое состояние озёр Волжско-Камского государственного заповедника после негативного антропогенного воздействия птицефабрики и зверосовхоза.

Пробоотбор проводился в благоприятное время, когда происходило максимальное развитие планктонных организмов. Пробы зоопланктона отбирались для качественного и количественного анализа. Сбор качественных и количественных проб проводился с помощью сети Джели фракционноно.

Камеральная обработка включала определение видового состава, численности и биомассы зоопланктона. Расчёты численности и биомассы проводились в соответствии с общепринятыми методами [Методические рекомендации, 1982].

В результате гидробиологических исследований отмечались колебания численности и биомассы зоопланктона озера Гнилое в 2018 и 2019 гг. Основу сообщества составляли коловратки (Rotifera). Доминирующий вид по численности в 2018 г. — *Postclausa hyptopus*, в 2019 г. преобладали *Asplanchna priodonta* и *Postclausa hyptopus*. Биомасса озера Гнилое сложилась за счёт вида *Asplanchna priodonta*. Структура сообществ зоопланктона, оценённая по индексу Шеннона, была относительно выровненной по численности. Что касается трофического статуса вод, оценённого по значениям биомассы, то озеро Гнилое относится к эвтрофному типу.

В озере Илантово в 2018–2019 гг. преобладали по численности и биомассе коловратки. В 2018 г. доминирующий вид по численности и биомассе — хищник *Asplanchna priodonta*. В 2019 г. по численности преобладали *Keratella cochlearis* и *Postclausa hyptopus*, по биомассе — *Asplanchna priodonta*. Коловратки имеют короткий жизненный цикл и при благоприятных условиях способны резко увеличивать свою численность. Такое явление характерно для эвтрофных озёр. Индекс Шеннона в 2018 г. показал, что сообщество не выровнено, наблюдается выраженное доминирование. Индекс Шеннона, рассчитанный по биомассе зоопланктона, охарактеризовал озеро как эвтрофное. В 2019 г. значения индекса характеризовали структуру сообщества как более выровненную. Трофический статуса вод в основном показывал эвтрофность.

В 2018 г. численность зоопланктона озера Линево формировалась в основном за счёт коловраток. Преобладающий вид — *Postclausa hyptopus*. В 2019 г. численность на станциях сформировалась благодаря веслоногим ракообразным (Copepoda). Доминировали копеподитные стадии.

В 2018 г. доля коловраток (Rotifera) в общей биомассе была намного выше за счёт биомассы такого вида коловратки, как *Asplanchna priodonta*. На мелководье и в тех местах, где нет достаточной проточности, биомасса намного больше. В 2019 г. на станциях в среднем биомасса распределялась равномерно по таксономическим группам. Очевидных доминантов не выявлено. Индекс Шеннона, рассчитанный по численности, в большинстве случаев показал, что сообщество достаточно выровнено. Трофический статус вод озера можно оценить как изменение от мезотрофного до эвтрофного.

Сотрудники заповедника с 1985 г. ведут мониторинг состояния озёр. Это даёт возможность сравнивать характеристики зоопланктонных сообществ во временном аспекте. В озёрах Гнилое и Илантово катастрофические нарушения структуры сообществ зоопланктона наблюдались вплоть до 2001 г. В озере Линево разрушения структуры сообщества зоопланктона фиксировались в 1986–2000 гг.

После органического и токсического загрязнения в озёрах наблюдается снижение индекса сапробности на протяжении всего периода, отмечается антропогенная эвтрофикация, структура сообществ гидробионтов восстанавливается очень медленно.

Проведённый гидробиологический анализ озёр показал, что, несмотря на процессы естественного восстановления озёр, до сих пор прослеживаются последствия поступления аварийных сточных вод хозяйственных объектов, деятельность которых привела к экологической катастрофе в прошлом. Низкое качество воды сдерживает восстановление сообществ зоопланктона исследуемых озёр.

Референтные значения функциональных показателей некоторых видов пресноводных двустворчатых моллюсков (сем. Unionidae) и раков (Decapoda, сем. Astacidae)

Кузнецова Т. В.

Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН —
Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург, Россия

kuznetsova_tv@bk.ru

Проблема определения границ референтных функциональных показателей для сравнительной оценки функционального состояния тестируемых беспозвоночных животных при проведении биоиндикационных, экотоксикологических исследований или для аквакультурных целей является весьма актуальной. К настоящему времени всё ещё наблюдается дефицит данных о физиологической норме для ключевых видов гидробионтов изучаемых водных экосистем. В основном в литературе рассматриваются конкретные физиолого-биохимические показатели состояния («здоровья») тестируемых организмов до и после воздействия или сравниваются показатели для животных из различных по антропогенной нагрузке акваторий. Данные об особенностях работы сердечно-сосудистой системы (далее — ССС) пресноводных двустворчатых моллюсков и раков, а именно характеристики работы этой системы, являются интегральными показателями адаптационных возможностей животных, то есть мерой их здоровья; эти данные малочисленны.

Референтные значения необходимо знать в качестве эталона для сравнения, для определения направления и характера изменения функционального состояния животного или отдельных показателей его здоровья.

Целью настоящей работы стало определение границ референтных значений показателей работы ССС и ряда биохимических показателей гемолимфы в норме, то есть без внешних воздействий, у некоторых представителей пресноводных гидробионтов. В задачи также входила попытка обобщения имеющихся в литературе показателей физиологической нормы для изучаемых животных.

Исследование проводили *in situ* или в лабораторных условиях, максимально приближенных к естественным. Регистрацию сердечного ритма проводили с помощью оптоволоконной системы неинвазивного кардиомониторинга [Kholodkevich et al., 2009] одновременно на 16 животных для контроля их функционального состояния. Общее время наблюдений варьировало от нескольких часов до нескольких суток (но не более трёх суток непрерывно для пресноводных раков *Pontastacus leptodactylus* Esch.). Особый интерес представляли данные о наличии суточных и/или ультрадианных ритмов в активности сердца у исследованных животных. Для установления биохимических показателей гомеостаза определяли по Лоури [Lowery, 1951] содержание общего белка в гемолимфе. Статистически обработанные данные представлены как средние (M) и стандартные ошибки средних ($\pm SEM$).

В задачи нашего исследования входило определение референтных значений функциональных показателей гомеостаза организмов-фильтратов, а именно пресноводных двустворчатых моллюсков *Unio pictorum* и *Anodonta cygnea* [сем. Unionidae (Bivalvia, Mollusca)] из трансграничной реки Нарва (Россия — Эстония, 4 км ниже г. Ивангорода, 59°23'50.2" с. ш., 28°11'51.0" в. д.), как биоиндикаторов качества среды обитания, для дальнейшей сравнительной оценки участков с различным уровнем загрязнения в приграничных с Эстонией акваториях с помощью разработанной методики тестирования функционального состояния животных [Kuznetsova, Kholodkevich, 2015]. Метод заключается в оценке скорости восстановления кардиоритма после применения функциональных нагрузок, то есть в восстановительный период. Этот показатель характеризует общие адаптационные возможности организма, то есть меру их здоровья.

Всего 21 моллюск *U. pictorum* 3–4 лет был собран вручную на природном мелководном песчаном пляже реки Нарва. При этом из них отбирались только те, которые к началу тестирования стабильно демонстрировали ЧСС_{сп}, соответствующую для данной температуры воды (+20...+22 °C) состоянию открытых створок

и сифонов. В качестве функциональной нагрузки применялось изменение солёности воды добавлением в аквариум $8 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1} \text{ NaCl}$. Экспозиция моллюсков в воде такой солёности в течение 1 часа была предложена нами именно из соображений, чтобы не очень сильно стрессировать животных и не «запустить» необратимые биохимические изменения.

Анализ кардиоритма проводили по показателям ЧСС, представлявшимся в виде вычисляемых программно средних значений ($\text{ЧСС}_{\text{ср}}$) и их стандартных ошибок, которые измеряли по промежутку времени, необходимому для реализации 50 ударов сердца. В предлагаемой процедуре тестирования адаптационных возможностей унионид используется методология, учитывающая такие параметры адаптивности организма, как время восстановления сердечного ритма ($T_{\text{восст}}$, мин) и вариабельность ЧСС после нагрузки. Коэффициент вариации ($\text{КВ}_{\text{ЧСС}}$, %), характеризующий вариабельность ЧСС, определялся в момент времени достоверного восстановления фоновых значений ЧСС по формуле $\text{КВ}_{\text{ЧСС}} = \text{СКО} / \text{ЧСС}_{\text{ср}}$.

В ходе мониторинга кардиоритма моллюсков без воздействия было обнаружено, что средние значения фоновых ЧСС для группы тестируемых унионид ($n = 16$ для каждого вида) составляли $(18,6 \pm 2,8) \text{ уд} \cdot \text{мин}^{-1}$ для *U. pictorum* и $(17,4 \pm 3,2) \text{ уд} \cdot \text{мин}^{-1}$ для *A. sуглеа*. Таким образом, межвидовых различий выявлено не было. Вариабельность кардиоритма отдельных особей была небольшой и составляла менее 10 % в состоянии активной фильтрации моллюсками воды (при одинаковых температурных условиях). В ходе тестирования моллюсков с солёностной нагрузкой было обнаружено, что среднее значение $T_{\text{восст}}$ составляло (45 ± 15) мин. Сходные значения мы получали в других своих работах, проводимых на моллюсках из чистых, референтных акваторий, вне зависимости от природной солёности вод, но с учётом особенностей функциональной нагрузки (понижение для морских организмов или повышение солёности среды для пресноводных организмов). Ультрадианных или суточных ритмов в активности сердца тестируемых моллюсков в летний период нам выявить не удалось, однако в поздний осенний сезон в активности моллюсков наблюдали ритмы 3–4-часового диапазона, связанные, вероятно, с перестройкой метаболизма и подготовкой животных к гибернации.

Референтные функциональные показатели ЧСС в дневной и ночной периоды для раков *Pontastacus leptodactylus* Esch. были изучены и приведены нами ранее в работе Кузнецовой и др. [2010]. В 3-суточных экспериментах были выявлены циркадные ритмы в активности сердца с периодом $(22,5 \pm 2)$ ч, выражающиеся в существенном ($\geq 2 \text{ ЧСС}_{\text{ср}}$ покоя дневного периода) повышении ЧСС в ночной период. Обращалось внимание на необходимость учёта биохимических показателей, например уровня общего белка в гемолимфе раков (от 20 до $60 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ у здоровых животных). В работе Аджиева и др. [2018] оценку физиологической нормы для этого же вида раков определяли по гематологическим, цитохимическим и биохимическим показателям. Авторы выделяли следующие показатели гомеостаза: общее количество гемоцитов ($700\text{--}1000 \text{ кл} \cdot \text{мл}^{-1}$), средний цитохимический коэффициент содержания лизосомального белка ($1,5\text{--}2,0$ ед.), общее содержание глюкозы в гемолимфе ($< 0,5 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$), содержание щелочной фосфатазы [$(17,1 \pm 2,1) \text{ IU} \cdot \text{л}^{-1}$]. Авторы подчёркивают необходимость их учёта при контроле здоровья раков в аквакультурных хозяйствах, а также при использовании их в качестве биоиндикаторов состояния природных водоёмов.

В заключение отметим, что определение референтных значений интегральных показателей функционального состояния («здоровья») организмов-биоиндикаторов (моллюсков и ракообразных) имеет принципиальное значение для установления региональных нормативов концентраций загрязняющих веществ различной природы или их смесей и для сравнительных оценок биологических эффектов загрязнения акваторий.

Эколого-географическая изменчивость жизненного цикла султанки *Mullus barbatus* (Mullidae) бассейна Средиземного моря

Куцын Д. Н.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

makaira88@gmail.com

Султанка *Mullus barbatus* Linnaeus, 1758 — морской демерсальный вид рыб семейства султанковых (Mullidae). Распространён в Восточной Атлантике и бассейне Средиземного моря. У берегов Крыма *M. barbatus* занимает одно из ведущих мест в вылове (до 42 % в период с 2000 по 2017 г.) среди демерсальных видов рыб.

Изучение экологической и географической изменчивости жизненных циклов (далее — ЖЦ) необходимо для понимания влияния факторов среды на вектор эволюционных изменений, что особенно актуально в условиях климатических изменений и роста антропогенной нагрузки.

Цель исследования — изучить эколого-географическую изменчивость возраста, роста, созревания и смертности султанки бассейна Средиземного моря.

Район сбора материала для изучения жизненного цикла султанки акватории Крыма охватывал участок акватории Чёрного моря от бух. Ласпи на юге до бух. Севастопольской на севере. Отбор проб проводили в 2019–2020 гг. В качестве орудий лова использовали ставные невода с размером ячеи 12 мм. Установку неводов осуществляли на глубинах от 5 до 30 м. Объём исследованного материала — 925 экз. Сведения о параметрах жизненного цикла султанки из бассейна Средиземного моря брались из опубликованных источников. В биологический анализ входило измерение общей длины (TL) и общей массы тела (W). Половую принадлежность и стадию зрелости гонад определяли по 5-балльной шкале [Правдин, 1966]. В качестве регистрирующей возраст структуры использовали отолиты. Для описания линейного роста применяли уравнения Берталанфи. При изучении созревания использовали логистические модели.

Параметры ЖЦ султанки из акватории Крыма. Максимальный возраст самок *M. barbatus* составил 6 лет, для самцов — 4 года; средний возраст самок — $(1,48 \pm 0,03)$ года, самцов — $(1,38 \pm 0,03)$ года. Межполовые различия распределения по возрасту статистически незначимы (тест Колмогорова — Смирнова, $n_{\text{самок}} = 539$, $n_{\text{самцов}} = 314$, $p > 0,10$).

Линейный рост *M. barbatus* описывается следующими уравнениями Берталанфи:

- $TL = 29,8[1 - e^{-0,15(t + 2,05)}]$ для самок;
- $TL = 22,8[1 - e^{-0,16(t + 2,99)}]$ для самцов.

Из моделей роста следует, что рост *M. barbatus* характеризуется выраженными межполовыми различиями. Темп роста самок заметно выше. Асимптотическая длина самок составляет 29,8 см против 22,8 см у самцов. При этом значения коэффициента k у обоих полов сопоставимы. Значения индекса линейного роста следующие: у самок $\phi' = 2,12$; у самцов $\phi' = 1,92$.

Массовое созревание происходит в возрасте 1+ и описывается следующими логистическими функциями:

- $Y_{TL} = 100 / [1 + e^{-1,31(TL - 10,83)}]$ для самок;
- $Y_{TL} = 100 / [1 + e^{-1,22(TL - 9,73)}]$ для самцов.

Созревание самок и самцов начинается при достижении общей длины 8 см и завершается при 14 и 13 см соответственно; 50 % самок созревает при TL (10,83 ± 0,16) см, 50 % самцов — при TL (9,73 ± 0,24) см.

Изменчивость ЖЦ султанки. Развитие, рост и размеры пойкилотермных животных, в особенности водных, связаны с температурой окружающей среды. Согласно имеющимся представлениям, в пределах ареала вида при снижении температуры в направлении к высоким широтам скорость развития и темп роста снижаются, а максимальные размеры увеличиваются. В соответствии с вышесказанным, *M. barbatus* акватории Чёрного моря должна характеризоваться наибольшими предельными размерами (L_{∞}) и наименьшим темпом роста (низким значением k). При сравнении султанки акватории Крыма и южной части Средиземного моря эта закономерность подтверждается. Значения L_{∞} и k для самок в первом случае составляют 29,8 см и 0,15 год⁻¹, а значения у побережья Алжира — 25,1 см и 0,60 год⁻¹. В случае с самцами наблюдается аналогичная ситуация.

При этом корреляционный анализ L_{∞} и k для *M. barbatus* из участков ареала с различной температурой поверхности моря не позволяет констатировать существование заметной связи между этими параметрами. Это может быть связано с комплексным влиянием других факторов, сильно варьирующих в пределах бассейна Средиземного моря (промысловая нагрузка, продуктивность акватории, солёность, антропогенное загрязнение и пр.). Географическая изменчивость параметра k существенно выше, чем L_{∞} . Максимальные размеры *M. barbatus*, как смоделированные, так и эмпирические, слабо различаются между разными участками ареала. Более низкое значение коэффициента k у султанки из северных районов свидетельствует о сравнительно низком темпе роста. Так, *M. barbatus* акватории Крыма к трём годам жизни достигает TL в среднем 15,8 см, в то время как в южном Средиземноморье данный показатель составляет 21,3 см. Характерно, что при такой разнице в росте на первых годах жизни к концу жизненного цикла султанка как северных, так и южных популяций достигает общей длины 24–25 см и максимального возраста 6–7 лет. Наступление половой зрелости происходит по достижении определённой длины, которая также слабо варьирует в пределах ареала и составляет 9,0–12,5 см, что соответствует второму году жизни.

Помимо непосредственного влияния температуры на метаболизм и рост, следует указать и на роль отбора в формировании характера жизненного цикла *M. barbatus*. У южных границ ареала биологическое разнообразие и давление хищников выше, чем в пределах Чёрного моря. В связи с этим высокий темп роста султанки южных популяций позволяет эффективнее выходить из-под пресса хищников. В то же время быстрый рост способствует увеличению плодовитости, что адаптивно в условиях высокой смертности и закрепляется отбором.

Следует отметить, что черноморские популяции обитают в условиях сезонности климата. Это обстоятельство ограничивает период роста и снижает доступность пищевых ресурсов в зимнее время, когда рыбы переходят на эндогенное питание, что отрицательным образом сказывается на их темпе роста, связанном с параметром k .

Таким образом, наиболее изменчивой характеристикой жизненного цикла *M. barbatus* является темп роста на первых годах жизни, который в изучаемой акватории Крыма характеризуется низкими значениями. Такие показатели, как максимальные размеры, максимальный возраст, длина и сроки наступления половой зрелости, варьируют слабо. В связи с этим потепление климата в долгосрочной перспективе может привести к увеличению темпа роста *M. barbatus* Чёрного моря, не оказав при этом существенного влияния на предельные размеры и возраст.

Микроэлементный состав западносахалинской кеты

Литвиненко А. В.¹, Христофорова Н. К.^{2,3}, Цыганков В. Ю.², Ковальчук М. В.⁴

¹ФГБОУ ВО «Сахалинский государственный университет», Южно-Сахалинск, Россия

²ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия

³Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия

⁴ООО «РН-СахалинНИПИморнефть», Южно-Сахалинск, Россия

litvinenko.av@bk.ru

Исследование посвящено микроэлементному составу органов и тканей кеты (*Oncorhynchus keta*), пришедшей на нерест в сентябре 2018 г. в р. Ловецкая на юго-западном побережье Сахалина. Для анализа отобрано пять самок и пять самцов. Пробы органов и тканей рыб, отпрепарированных на Сахалине, были заморожены и доставлены во Владивосток для химического анализа. Микроэлементы определялись из кислотных минерализатов методом атомной абсорбции согласно ГОСТ 26929-94 на атомно-абсорбционном спектрофотометре Shimadzu AA-6800 в пламени (Zn, Cu, Ni и Fe) и в графитовой кювете (Pb и Cd).

Установлено, что содержание микроэлементов, свидетельствующих об антропогенном воздействии на среду (Zn, Cu и Ni) в япономорской кете значительно превышало содержание таковых в охотоморской рыбе. Так, к примеру, количество цинка в мышцах япономорской кеты было в 2,5 раза выше, чем в таковых охотоморской рыбы. В печени эффект был ещё бóльшим: разница между содержанием этого элемента в япономорской и охотоморской рыбе достигала 19 раз. В то же время в органах и тканях охотоморской кеты, которая в течение своего жизненного цикла как минимум дважды пересекала импактную геохимическую зону в Курило-Камчатском регионе, наоборот, преобладало содержание свинца и кадмия — свидетелей подводного и надводного вулканизма в районе Курильских проливов. Содержание свинца в мышцах кеты из р. Рейдовая было в 4 раза больше, чем в мышцах кеты из р. Ловецкая; в печени разница составляла 5 раз.

Такую же закономерность в содержании микроэлементов в органах и тканях мы наблюдали и для горбуши из этих регионов. Сохраняя выбранные элементы, отмечаем, что в мышцах япономорской горбуши цинка в 3 раза больше, чем в охотоморской, в печени — в 12 раз. Свинца же, наоборот, в мышцах охотоморской горбуши было больше в 7 раз, чем в горбуше из Японского моря, а в печени — в 4,2 раза.

Пространственно-временное распределение черноморской афалины (*Tursiops truncatus ponticus* Varabash, 1940) в акваториях крымского побережья. Этолого-акустические методы описания

Логоминова И. В.¹, Агафонов А. В.^{1,2}, Панова Е. М.², Литвин В. А.¹, Голубцова А. В.,
Мельникова Ф. Э.

¹Карадагская научная станция имени Т. И. Вяземского — природный заповедник РАН — филиал
ФИЦ ИнБЮМ, Феодосия, Россия

²Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

logominova@rambler.ru

Целями данной работы являлись описание пространственно-временной структуры сообщества афалин, обитающего в акватории юго-восточного побережья Крыма; анализ данных, полученных в акваториях западного, юго-западного и южного побережья; выявление устойчивых ассоциаций дельфинов, на базе которых формируется социальная структура сообщества. В качестве основного метода учёта особей применялась акустическая идентификация, основанная на систематизации зарегистрированных «свистов-автографов».

Данные о перемещении дельфинов по акватории, численный и возрастной состав групп, а также типы поведенческой активности заносились в журнал наблюдений по стандартной схеме.

Для сбора акустических данных использовался стандартный гидроакустический тракт, состоявший из гидрофона, предварительного усилителя, кабеля и наземного усилителя — коммутатора. В качестве регистрирующего устройства применялся цифровой рекордер ZOOM H2, формат записи PCM (WAV), 16 бит, частота дискретизации 44,2 кГц (диапазон записи — 0,1–22,1 кГц). В условиях штилевого моря сигналы афалин обнаруживаются при помощи имеющейся аппаратуры на расстоянии 1,5–2 км.

Обработка акустических сигналов проводилась при помощи программы Adobe Audition 1.5. Она позволяет визуализировать обрабатываемые сигналы в спектральном или волновом виде и производить точные замеры их частотно-временных параметров.

Всего в акваториях крымского побережья за период 2014–2018 гг. проведено 594 дня наблюдений с регистрацией подводной акустической активности афалин; выполнено 1045 часов акустических записей; выделено 135425 тональных свистовых сигналов афалин; идентифицировано по индивидуальным опознавательным звуковым сигналам, «свистам-автографам», 590 особей афалин:

- акватории м. Меганом — м. Агир, юго-восточное побережье Крыма — 2014–2018 гг., 539 дней наблюдений, в ходе которых осуществлялись акустические записи, общей продолжительностью 877 часов, выделено 127856 тональных свистовых сигналов («свистов-автографов») афалин, идентифицирована по «свистам-автографам» 451 особь афалины;
- акватория м. Кара-Даг, юго-восточное побережье Крыма — 2015–2017 гг., 20 дней наблюдений с выполнением акустических записей, продолжительностью 42 часа, зарегистрировано 1479 тональных свистовых сигналов («свистов-автографов») афалин, идентифицировано по «свистам-автографам» 22 особи афалины;
- акватории южного побережья Крыма (г. Алушта, м. Аю-Даг (пос. Партенит, пос. Гурзуф), г. Ялта, м. Ай-Тодор (пос. Гаспра), пос. Качивели, пос. Симеиз и г. Алушка) — 2017–2018 гг., 7 дней

наблюдений с выполнением акустических записей, продолжительностью 38 часов, выделено 3278 тональных свистовых сигналов («свистов-автографов») афалин, идентифицировано по «свистам-автографам» 36 особей афалины;

- акватории юго-западного побережья Крыма (бух. Ласпи — бух. Батилиман — бух. Балаклавская — м. Фиолент) — 2017–2018 гг., 26 дней наблюдений с выполнением акустических записей, общей продолжительностью 81 час, выделено 2714 тональных свистовых сигналов («свистов-автографов») афалин, идентифицировано по «свистам-автографам» 72 особи афалины;
- акватории западного побережья Крыма (акватория г. Евпатории — з. Донузлав) — 2018 г., проведено 2 дня наблюдений с выполнением акустических записей, общей продолжительностью 7 часов, выделено 98 тональных свистовых сигналов («свистов-автографов») афалин, идентифицировано по «свистам-автографам» 9 особей афалин.

Сравнивая результаты визуальных наблюдений и акустических данных, можно заключить, что в основном районе работ 2014–2018 гг. (акватории м. Меганом — м. Агир) существуют две группировки афалин, одну из которых можно условно назвать резидентной, а другую — транзитной.

Качественный анализ встречаемости в записях «автографов» особей из резидентной группировки показал наличие по крайней мере четырёх устойчивых пар, являющихся «ядрами» для формирования более крупных ассоциаций. Таким образом, структура исследуемого локального сообщества афалин может быть представлена в виде модели некоего «поля», в котором на основании частоты ассоциирования особей можно выделить «центральную», «промежуточную» и «периферийную» области. Социальная структура сообществ афалин представляется довольно сходной в разных частях их ареала. Ассоциирование особей в группы разного ранга является динамичным процессом и зависит, по-видимому, как от родственных взаимоотношений, так и от типа поведенческой активности. Минимальные единицы структуры — «ядра», вокруг которых формируются группы большего размера. С возрастанием размера групп их стабильность уменьшается; довольно часто «ядра» перемещаются из одних групп в другие.

Составление единого каталога «свистов-автографов» по акустическим записям, произведённым в разных исследованных акваториях, показало, что отдельные особи афалин могут перемещаться по крайней мере в пределах всей акватории южного побережья Крыма. С другой стороны, многолетние наблюдения в основном районе исследований (м. Меганом — м. Агир) подтверждают существование определённой (резидентной) группировки дельфинов, обитающих преимущественно в данной акватории. Экстраполируя результаты наших работ, можно предположить существование нескольких зон преимущественного обитания афалин в водах Крыма (подобных акватории м. Меганом — м. Агир), а в более широком аспекте — выделить сообщества афалин западного, юго-западного, южного, юго-восточного и восточного побережий. В таком случае «резидентные» дельфины из этих зон могут являться «транзитными» по отношению к соседним, и наоборот. При этом границы ареалов локальных сообществ афалин являются, скорее всего, достаточно условными и обуславливаются несколькими факторами, такими как: географические особенности района обитания; общее состояние пищевых ресурсов в районе обитания; сезонная динамика кормовой базы; антропогенное влияние, включающее рыболовство, судоходство, воздействие курортной инфраструктуры и пр.

Проанализировав материал, сопоставив акустические данные с визуальными наблюдениями, мы можем предположить, что ориентировочная общая численность афалин, которые обитают в акваториях крымского побережья, в настоящее время составляет не более 1000 особей.

Гидробиологические исследования малого водохранилища Самарского Заволжья

Малинина Ю. А., Джаяни Е. А., Филинова Е. И., Колозин В. А., Мелешин Д. И.

Саратовский филиал ФГБНУ «ВНИРО», Саратов, Россия

mjul@rambler.ru

В гидрографической сети практически любого водосборного бассейна преобладают малые реки, на которых образованы водохранилища, активно используемые в сельском хозяйстве, коммунально-бытовых нуждах, рыборазводных и рекреационных целях. Ветлянское водохранилище создано на р. Ветлянке — малой реке Самарского Заволжья, притоке Саратовского водохранилища 3-го порядка. Исследования проводили в течение вегетационного периода 2019 г.

В альгофлоре Ветлянского водохранилища наибольшим видовым разнообразием отличался отдел Bacillariophyta, в котором было сосредоточено 57 % видов, разновидностей и форм. Доля Chlorophyta составляла 16 %, а Cryptophyta — 13 %; Cyanophyta, Dinophyta, Euglenophyta, Chrysophyta и Streptophyta встречены единично.

В мае средняя численность фитопланктона составила 3,69 млн кл.·л⁻¹, основу формировали криптофитовые (94 %) водоросли. Средняя биомасса равнялась 0,25 мг·л⁻¹, на долю криптофитовых приходилось 65 %, диатомовых — 33 %. По численности и биомассе доминантом выступал *Chroomonas acuta* Utermöhl.

В июле основа численности фитопланктона, при среднем значении 2,39 млн кл.·л⁻¹, была сформирована на 85 % Cyanophyta; наибольшего развития достигли *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs, *Merismopedia* sp. и *Microcystis aeruginosa* (Kütz.) Kütz. Биомасса фитопланктона в среднем составила 0,16 мг·л⁻¹ и была сформирована синезелёными (29 %), динофитовыми (26 %), диатомовыми (24 %), в меньшей степени эвгленовыми (10 %); наибольшего развития достигали *Ceratium hirundinella* (O. F. M.) Bergh и *Euglena* sp.

В октябре численность была сформирована криптофитовыми водорослями (52 %) при доминировании *C. acuta* и диатомовыми (37 %) при доминировании *Cyclotella* sp.; биомасса — диатомовыми (56 %) и криптофитовыми (37 %).

Средневегетационная численность фитопланктона Ветлянского водохранилища в 2019 г. составила 2,15 млн кл.·л⁻¹, биомасса — 0,14 мг·л⁻¹. По биомассе фитопланктона [Жукинский, 1976] Ветлянское водохранилище можно отнести к водоёмам α-мезотрофного типа.

Зоопланктон Ветлянского водохранилища в период исследований представлен 42 видами, из них Cladocera — 52,4 %; Copepoda — 28,6 %; Rotifera — 19,0 %.

В мае значительную долю в сообществе по численности (49,2 %) и по биомассе (76,8 %) занимали ветвистоусые ракообразные. Количественные показатели развития веслоногих были несколько ниже. Доминантами по численности выступали младшие копеподиты веслоногих ракообразных, *Bosmina longirostris*, *Keratella quadrata*, взрослые и ювенильные стадии *Daphnia cucullata*; по биомассе — те же виды, за исключением коловратки *K. quadrata*. В июле биомасса на водоёме увеличилась до 2,27 г·м⁻³. Основу численности и биомассы сообщества формировали *Diaphanosoma mongolianum*, *K. quadrata*, взрослые и ювенильные стадии *D. cucullata* и *D. galeata*, а также науплии копеподитов. В зависимости от биотопа численность в этот период изменялась от 112,0 до 129,6 тыс. экз.·м⁻³, биомасса — от 2,14 до 2,40 г·м⁻³. В октябре количественные показатели развития закономерно снизились. Основу численности составляли *B. longirostris*, *D. galeata*, а также представители различных возрастов *Eudiaptomus graciloides*.

В целом средняя вегетационная численность зоопланктона составила 109,4 тыс. экз. \cdot м⁻³, биомасса — 2,1 г \cdot м⁻³, что позволяет характеризовать Ветлянское водохранилище в соответствии с общепризнанной классификацией [Гидгайко, 1968] — выше средней кормности.

В макрозообентосе Ветлянского водохранилища за период исследований зарегистрировано 29 видов и групп видов донных беспозвоночных. Наиболее разнообразна гетеротопная фауна, что характерно для малых водоёмов и водотоков, заросших высшей водной растительностью. Максимальное количество видов зарегистрировано в группе хирономид (около 15 видов и групп видов). Из них наиболее часто встречались личинки *Chironomus gr. plumosus* (Linne, 1758), *Polypedilum gr. nubeculosum* (Meigen, 1818) и *Procladius ferrugineus* (Kieffer, 1918). Личинки видов *Cryptochironomus gr. defectus*, *Tanytus kraatzi* (Kieffer, 1913), *Microchironomus tener* (Kieffer, 1918), *Paratendipes albimanus* (Meigen, 1818) и *Anatopynia plumipes* (Fries, 1823) встречены редко. Хирономиды, идентифицированные по личиночной стадии до максимально возможной таксономической группы (*Endochironomus* sp., *Tanytarsus* sp., *Psectrocladius* sp. и *Crycotopus* sp.), были обнаружены единично. Личинки иных насекомых — подёнок, ручейников, хаборид, цератопгонид — встречались на исследуемых участках водохранилища редко и единично. Из представителей постоянноводной фауны среди половозрелых кольчатых червей идентифицированы до рода *Tubifex*, *Lumbriculus*, *Nais* и *Dero*. Малакофауна представлена весьма скудно: в водохранилище обитают двусторчатые моллюски *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) и рода *Unio*, в реке — брюхоногие родов *Sphaerium* и *Limnaea*.

В Ветлянском водохранилище общая численность макрозообентоса изменялась на различных биотопах от 810 до 1900 экз. \cdot м⁻², общая биомасса — от 3,86 до 192,8 г \cdot м⁻². В среднем по водохранилищу численность макрозообентоса составила 1390 экз. \cdot м⁻², биомасса — 47,57 г \cdot м⁻², в том числе кормовых беспозвоночных — 1350 экз. \cdot м⁻² и 82 г \cdot м⁻² соответственно. Максимальная общая биомасса донных макробеспозвоночных обусловлена крупными некормовыми моллюсками рода *Unio*. В кормовом бентосе по показателю численности лидировали личинки хирономид (около 70 %), по биомассе — дрейссениды (около 85 %). Согласно проведённым исследованиям, по показателям биомассы макрозообентоса в соответствии с общепринятой классификацией [Гидгайко, 1978] Ветлянское водохранилище относится к категории весьма высокой кормности.

Сравнительный анализ фауны водохранилища, участков реки выше и ниже плотины показал, что зоопланктоценоз водохранилища характеризуется более высоким видовым разнообразием и количественными характеристиками вследствие наличия разнообразных биотопов. На речных участках в массе развиваются мелкоразмерные *B. longirostris*, ювенильные стадии *Sopropoda* и *Rotifera*, которые характерны для малых водоёмов, богатых органическим веществом.

В водохранилище и в реке лидируют по видовой представленности и количественному развитию эврибионтные, пелофильные и пелофильно-фитофильные представители донной фауны. Реофильные донные беспозвоночные в водотоке отсутствовали, поскольку скорость течения на исследуемых участках реки невысока. Наличие цератопгонид и хаборид с частотой встречаемости в бентосных пробах, взятых в водохранилище (в 40 % проб) и в реке (в 70 % проб), может свидетельствовать о процессах, ведущих к заболачиванию. В реке, в отличие от водохранилища, зарегистрированы представители оксифильной экологической группы макрозообентоса — изоподы *Asellus aquaticus* (Linne, 1788) и 2 вида подёнок. Обилие видов бентофауны в нижнем бьефе плотины в 2 раза меньше, а показатели численности и биомассы бентонтов в 4 раза меньше, чем на участке реки выше водохранилища. Низкие количественные показатели развития донных макробеспозвоночных в реке ниже плотины обусловлены засоренностью донного грунта строительными отходами в виде камней и бетонной крошки антропогенного происхождения.

Результаты исследований Института биологии южных морей экофизиологии антарктических сальп *Salpa thompsoni* Foxton

Минкина Н. И., Самышев Э. З.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

niminkina_fmeco@imbr-ras.ru

В антарктическом планктоне сальпы по своему обилию уступают только эвфаузиевым. В локальных районах их количество бывает соизмеримым и даже превышающим обилие массовых видов макро- и мезопланктона. Это обусловило интерес к ним ещё на ранних этапах исследований в Южном океане. Видовой состав, биология, распределение, сезонная изменчивость в развитии и относительной численности различных стадий их жизненного цикла в разные сезоны года достаточно хорошо изучены [Makintosh, 1934 ; Foxton, 1966], и эти исследования продолжают [Самышев, 2000а, б ; Pakhomov et al., 2002 ; Gille, 2002 ; Atkinson et al., 2004 ; Самышев, Ломакин, 2004 ; Smetacek, Nicol, 2005 ; Pakhomov et al., 2006 ; Bombosch, 2008 ; Loeb, Santora, 2011 ; Pakhomov, Hant, 2017]. По нашим наблюдениям, в 1997 г. в водах, примыкающих к традиционному району промысла криля (у Южных Оркнейских островов), концентрация сальп, представленных *Salpa thompsoni* Foxton, превышала в 25 раз концентрацию криля. Проведённый в 1998 г. учёт этих животных показал ещё большее возрастание их количества: обилие сальпы относительно криля в 1,5 раз превышало таковое в 1997 г. Основные скопления сальп приурочены к водам Антарктического циркумполярного течения, чем и обусловлено их отмежевание от максимумов криля [Самышев, 2000б ; Pakhomov et al., 2002 ; Самышев, Ломакин, 2004].

Сальпы — пелагические туники, имеющие сложный жизненный цикл, который состоит из перемежающихся генераций полового (колониальные формы, или бластозоиды) и партеногенетического (одиночные формы, или оозоиды) размножения. У сальп функции движения и питания совмещены. Из-за этой особенности сальпы являются неизбирательными фильтраторами, эффективно захватывающими частицы в широком спектре размеров. Характеризуясь высокой плодовитостью и скоростями фильтрации, сальпы являются основными пищевыми конкурентами криля. Поэтому важным представляется выявление условий среды, благоприятствующих возрастанию обилия сальп и, наоборот, приводящих к ингибированию их жизнедеятельности.

С этой целью нами был применён разработанный нами метод мониторинга «благополучия» пелагиали на основании оценки пространственной вариативности уровня энергетического обмена (далее — ЭО) массовых видов зоопланктона [Минкина, 2007 ; Минкина, Самышев, 2014]. Метод предполагает исключение составляющих дисперсии величин интенсивности дыхания, которые измерены на различных станциях обследуемого полигона, связанных с условиями опытов — экспериментальной плотностью популяции животных, выраженной в единицах массы [Хайлов и др., 1999], и суточным ритмом жизнедеятельности гидробионтов [Минкина, Павлова, 1995]. Влияние гетерогенности среды обитания данного вида описывается оставшейся компонентой изменчивости интенсивности ЭО.

В результате наших экспериментов в ходе 3-й и 7-й Украинских антарктических экспедиций на НИС «Э. Кренкель» (26 марта — 7 апреля 1998 г.) в районах о-ва Мордвинова, Южных Оркнейских о-вов, возле о-ва Кинг-Джордж и НИС «Горизонт» (11–18 марта 2002 г.) в проливе Брансфилда нами было показано, что две генерации различаются не только морфологически, но и уровнем энергетического обмена [Минкина, Самышев, 2004]. Существование различий у разных форм

сальп ранее достоверно не было подтверждено [Iguchi, Ikeda, 2004]. Две формы проявляли сходный суточный ритм дыхания, оценённый по данным измерения потребления кислорода полярографическим методом [Минкина, Павлова, 1995 ; Греков и др., 2003]. Между тем у колониальных форм интенсивность дыхания была почти в 2 раза ниже, чем у одиночных форм. При выбранной приведённой плотности посадки животных в экспериментальные сосуды, равной 3 г сыр. массы на л, независимо от индивидуальной массы тела, среднесуточная величина энергетического метаболизма составила $79,5 \text{ мкг O}_2 \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$ у оозоидов и $41,5 \text{ мкг O}_2 \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$ у бластозоидов, или 125 и 61 % содержания углерода в теле за сутки соответственно. Эти значения принимаются за статистическую «норму» для данной формы сальп, или за 100 % в расчётах.

Результаты наших экспериментов были использованы для оценки состояния пелагической экосистемы в Атлантической части Антарктики [Самышев, 2000а ; Павлова, Самышев, 2011].

Вектор и величина отклонения ЭО от статистической «нормы» у сальп, в конце 1970-х гг. внедрившихся в основу ареала криля, при прочих благоприятных физико-химических условиях в океанической зоне зависят от обеспеченности желетелых кормом. Позитивные значения ЭО сальп наблюдаются в динамически активных зонах, а их ингибирование, напротив, — в зонах стационарных круговоротов, возникающих в узостях проливов, над поднятиями дна и вследствие изрезанности берегов, что приводит к длительной аккумуляции скоплений желетелых и тем самым создаёт дефицит корма [Минкина, Самышев, 2014].

Весной 2002 г. нами также были выполнены измерения рационов и прироста сальп радиоуглеродным методом. Общая продолжительность экспериментов по определению составляющих энергетического баланса сальп — от 12 до 29 часов. В качестве корма туникатам были использованы меченые C^{14} культуры зелёных водорослей *Dunaliella maritima* и *Plathymonas viridis*. Содержание углерода в теле сальп было определено Б. Е. Аннинским и А. М. Щепкиной [2003]. В 2–4-часовых экспериментах величины рационов в диапазоне размеров исследованных особей 2,1–16,4 г сырого веса с увеличением концентрации корма, соответствовавшей биомассе фитопланктона в диапазоне $0,56\text{--}15,9 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$, линейно возрастали от 0,15 до 6,8 % содержания углерода в теле одиночных сальп и от 0,03 до 39 % у колониальных в пересчёте на сутки, независимо от индивидуальной массы тела особей. Рационы недавно отпочковавшихся колониальных сальп на II стадии развития с длиной тела 24,2 мм и сырым весом 0,28 г составляли 0,17–9,2 %.

Если рационы сальп в природных условиях могут на порядок превышать таковые у криля, то темп роста и, соответственно, значения коэффициента K_1 у сальп в наших экспериментах оказались на порядок меньше — 0,4–1 % у оозоидов и 0,06–0,3 % у бластозоидов (по экспериментальным данным, во всём диапазоне размеров криля с увеличением размеров рачков коэффициент K_1 снижался с 4,4 и 3,4 % [Самышев, 1991]). Прирост сальп в наших опытах составил 0,003–0,03 % содержания углерода в теле животных в сутки у одиночных форм, или 0,3–0,85 мм длины тела в сутки, и $0,0004\text{--}0,013 \text{ \%} \cdot \text{экз}^{-1} \cdot \text{сут}^{-1}$ у колониальных форм, или 0,14–0,78 мм·экз⁻¹·сут⁻¹.

Эти значения, полученные *in vitro*, хорошо согласуются с расчётными величинами, полученными на основании многолетних наблюдений *in vivo* за размерными когортами сальп [Loeb, Santora, 2012]. По оценкам исследователей, в районе Антарктического п-ова у одиночных сальп Томпсона темп роста составил $0,23 \text{ мм} \cdot \text{экз}^{-1} \cdot \text{сут}^{-1}$, а у колониальных — $0,40 \text{ мм} \cdot \text{экз}^{-1} \cdot \text{сут}^{-1}$.

Таким образом, показано, что две генерации сальп различаются не только морфологически, но и уровнем энергетического обмена. С помощью разработанного нами метода «благополучия» «пелагиали выявлены условия, неблагоприятные для жизнедеятельности сальп и их массового развития. Применение радиоуглеродного метода в экспериментах по определению элементов энергетического баланса *S. thompsoni* позволило получить зависимость рационов сальп от концентрации микроводорослей и оценить прирост данных туникат при этих рационах.

Сравнительная характеристика липидного и жирнокислотного профиля некоторых видов мезопелагических рыб моря Ирмингера

Мурзина С. А.¹, Воронин В. П.¹, Артеменков Д. В.², Орлов А. М.^{2,3,4}, Немова Н. Н.¹

¹Институт биологии — обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Россия

³Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

⁴Институт проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

voronen-viktor@mail.ru

Метаболические изменения липидов и их жирнокислотных компонентов обеспечивают разнообразные адаптации мезопелагических гидробионтов, обитающих в относительно стабильных, но при этом экстремальных условиях. Различия по местообитаниям, жизненным циклам и внутривидовой структуре у мезопелагических гидробионтов могут влиять на вариабельность количественных и качественных показателей липидного метаболизма и на специфику компенсаторного ответа рыб. В настоящей работе проведено сравнительно-видовое исследование липидного и жирнокислотного состава у некоторых видов морских мезопелагических рыб моря Ирмингера — скопелагадуса Бина (*Scopelogadus beanii*), угря пилосошникового (*Serrivomer beanii*), лампаникта Макдональда (*Lampanyctus macdonaldi*) и батилага европейского (*Bathylagus euryops*), обитающих в диапазоне глубин 375–700 м. Данные виды совокупно и стабильно присутствуют в траловых уловах.

Липидный профиль мышечной ткани мезопелагических видов рыб, отловленных на разных глубинах моря Ирмингера, оценивали по содержанию общих липидов (далее — ОЛ), основных липидных классов: общие фосфолипиды (ФЛ), триацилглицерины (далее — ТАГ), диацилглицерины (ДАГ), моноацилглицерины (МАГ), холестерин (далее — ХС), эфиры холестерина (далее — ЭХС), воски; также был изучен жирнокислотный состав с помощью высокоэффективной тонкослойной хроматографии (ВЭТСХ) и газовой хроматографии (ГХ). Биохимический анализ выполнен на базе лаборатории экологической биохимии ИБ КарНЦ РАН с использованием оборудования ЦКП КарНЦ РАН. Полученные результаты оценены статистически и с применением различных алгоритмов машинного обучения.

Показано, что среди исследованных видов мезопелагических рыб содержание ОЛ в мышцах было наибольшим у лампаникта Макдональда (36 % от сухого вещества в среднем по глубинам). Для других видов содержание ОЛ в мышечной ткани составило: для угря пилосошникового — 15 %; батилага европейского — 23 %; скопелагадуса Бина — 22 %. В градиенте глубин установлено снижение содержания ОЛ в мышцах у угря пилосошникового и батилага европейского с 18 до 10 % и с 28 до 18 % соответственно. Отмечено увеличение количества ОЛ с глубиной для лампаникта Макдональда и скопелагадуса Бина — от 35 до 39 % и от 20 до 25 % соответственно.

Установлено, что именно запасные липиды — ТАГ, ЭХС и воски — вносят наибольший вклад в межвидовые различия исследованных рыб. Доминирование запасных липидов в форме ТАГ наблюдалось в мышечной ткани скопелагадуса Бина и батилага европейского — до 9 и 12 % сухого вещества соответственно. Эти два вида рассматриваются и как абиссальные виды, для которых депонирование липидов в форме ТАГ, вероятно, является метаболически выгодным в услови-

ях больших глубин. Напротив, для лампаникта Макдональда показано накопление восков и ЭХС в мышцах (10 и 11 %, в то время как количество ТАГ составляет 8 %). Для угря пилосошникового установлена схожая со стратегией лампаникта Макдональда качественная стратегия запасания энергетических липидов, однако количественное содержание ТАГ, ЭХС и в особенности восков существенно ниже и не превышает 5 % для ТАГ и ЭХС и 2 % для восков. Угорь пилосошниковый и лампаникт Макдональда относятся к группе вертикально мигрирующих видов рыб, для которых накопление ЭХС и восков сопряжено с необходимостью аккумуляции «универсальных» по функции молекул для удовлетворения потребностей организма и обеспечения надлежащей компенсаторной реакции в изменяющейся экологической обстановке. Так, воски способствуют поддержанию надлежащей плавучести рыб, а в структуру ЭХС, кроме жирных кислот, включена и молекула ХС; эти компоненты могут участвовать в различных механизмах компенсаторных адаптаций, связанных с изменением жидкостности биомембран, а также обеспечения сигнальной и регуляторной функции в условиях изменения глубины.

Жирные кислоты (далее — ЖК) являются наиболее мобильными с точки зрения обмена липидов и характеризуются мультифункциональностью: их состав напрямую связан с условиями окружающей среды, в первую очередь такими, как температура, давление, фотопериод, трофика. Нами впервые установлена видоспецифичность ЖК-профиля мышечной ткани исследованных видов рыб. Показано, что мононенасыщенные ЖК (далее — МНЖК) доминировали в мышечной ткани рыб, их содержание варьировало от 48 % (угорь пилосошниковый) до 61 % от суммы ЖК (батилаг европейский); далее следовали полиненасыщенные ЖК (далее — ПНЖК) и насыщенные ЖК (НЖК). При этом у скопелагадуса Бина и батилага европейского содержание этих ЖК достоверно не различалось и достигало 19 и 25 % соответственно, у угря пилосошникового — 27 и 25 %, у лампаникта Макдональда — 29 и 8 %. Одним из адаптивных механизмов к глубоководному образу жизни является повышение степени ненасыщенности липидов за счёт доминирования МНЖК и ПНЖК: таким образом поддерживается надлежащее физико-химическое состояние биологических мембран, их состояние и проницаемость, при которых обеспечивается нормальное функционирование мембраносвязанных ферментов.

Интересно следующее: несмотря на схожий липидный профиль, установленный для лампаникта Макдональда и угря пилосошникового, жирнокислотный состав ОЛ у этих видов сильно различался. Для лампаникта Макдональда определено самое низкое содержание физиологически значимой докозагексаеновой кислоты, 22:6(n-3) (далее — ДГК) (6 %) и основной пальмитиновой кислоты, 16:0 (4 %), что может указывать на меньшую значимость ДГК в обеспечении компенсаторных перестроек липидного метаболизма у этого вида. Для угря пилосошникового доминирующей ЖК являлась олеиновая, 18:1(n-9) (18 %), составляющая значимую долю среди МНЖК. Эта ЖК — одна из ключевых в метаболизме липидов ввиду своих физико-химических характеристик и биосинтеза *de novo* в организме. Олеиновая ЖК (в совокупности с другими ЖК) также является биомаркером бактерио- и фитопланктона. Известно, что одна из приспособительных особенностей к глубине у рыб — накопление 18:1 ЖК. У скопелагадуса Бина преобладающей ЖК является насыщенная миристиновая ЖК, 14:0 (6 %); также установлено высокое содержание таких МНЖК, как 16:1(n-7) и 18:1(n-7) (6 и 2% от суммы ЖК), которые имеют бактериальное происхождение и указывают на питание детритом. Тем самым показаны различия состава индивидуальных ЖК и их композиций, в том числе жирных кислот — пищевых маркеров, что позволяет обсуждать пищевые спектры и трофические взаимоотношения исследованных видов мезопелагических рыб.

Таким образом, липиды и их ЖК-компоненты принимают активное участие в приспособительных реакциях, способствуя поддержанию гомеостаза организма, мезопелагических рыб с учётом их жизненного цикла, типа питания, поведенческих реакций, что в конечном счёте определяет выбор жизненной стратегии, оптимальной для устойчивой жизнедеятельности в глубоководных условиях обитания.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ МД-5761.2021.1.4, а также частично в рамках государственного задания КарНЦ РАН № 0218–2019–0076.

Антимикробная активность липидных экстрактов иглокожих залива Нячанг (Южно-Китайское море)

Мурзина С. А.¹, Обухова Е. С.^{1,2}, Рожина А. М.², Воронин В. П.¹, Дгебуадзе П. Ю.³

¹Институт биологии — обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

²Петрозаводский государственный университет, Медицинский институт, Петрозаводск, Россия

³Институт проблем экологии и эволюции имени А. Н. Северцова РАН, Москва, Россия

murzina.svetlana@gmail.com

Повышение уровня антибиотикорезистентности микроорганизмов — одна из наиболее значимых проблем мировой медицины. Иглокожие, широко распространённые в тропических экосистемах, являются альтернативными и безопасными источниками «морских» липидов, перспективных с позиции получения антибактериальных соединений. Кроме того, многие виды — это популярные объекты аквакультуры Индо-Вестпацифической области. В настоящей работе изучена антимикробная активность липидных экстрактов тканей (печень и гонады) морских звёзд *Linckia laevigata* и *Culcita novaeguineae*, а также морского ежа *Diadema setosum* — массовых видов залива Нячанг (Южно-Китайское море). Проведено сопоставление состава липидов и их жирнокислотных компонентов тканей иглокожих, а также их антимикробной активности в отношении нозокомиальных штаммов *Klebsiella pneumoniae*, *Enterococcus faecium*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Streptococcus pyogenes*, *Staphylococcus aureus* и *Candida* sp., выделенных из многопрофильного стационара г. Петрозаводска (Республика Карелия).

Экстракцию общих липидов (далее — ОЛ) проводили по методу Дж. Фолча [Folch et al., 1957]. Анализ отдельных классов липидов осуществляли методом высокоэффективной тонкослойной хроматографии (ВЭТСХ), состав жирных кислот (далее — ЖК) изучен методом газовой хроматографии (ГХ). После удаления хлороформ-метанольной смеси к липидным экстрактам добавляли диметилсульфоксид (далее — ДМСО) в концентрациях 30, 50 и 90 % для дальнейшего скрининга антимикробной активности. Приготавливали инокулюм плотностью 0,5 по стандарту МакФарланда, выполняли посев газоном на агар Мюллера — Хинтона. На инокулированные чашки Петри по секторам наносили 50 мкл липидных экстрактов, растворённых в ДМСО в концентрации 30, 50 и 90 %. Посевы инкубировали при +37 °С в течение 24 ч. В качестве контроля использовали ДМСО соответствующей концентрации. Антимикробную активность определяли визуально по формированию зоны задержки роста — от отсутствия зоны задержки роста до полного бактерицидного действия, характеризующегося лизисом исследуемой культуры.

Исследованные виды иглокожих различались содержанием ОЛ и количественным составом липидных классов. Так, наибольшее количество ОЛ показано для морского ежа (25 % сухого вещества) за счёт преимущественно неполярных липидов — триацилглицеринов, которые, как известно, практически не проявляют антимикробного действия. Для морских звёзд *L. laevigata* и *C. novaeguineae* содержание ОЛ составило 14,2 и 13,8 % соответственно. При этом доминирующими классами липидов являлись свободные ЖК, фосфолипиды и холестерин, антимикробные свойства которых достаточно выражены. ЖК-профиль морских звёзд характеризовался преобладанием полиненасыщенных ЖК (далее — ПНЖК) (45 % суммы ЖК — *C. novaeguineae*; 52 % — *L. laevigata*) за счёт доминирования n-6 ПНЖК (17,9 и 12,3 % соответственно), в которых основной являлась 20:4(n-6). Содержание мононенасыщенных ЖК (далее — МНЖК) варьировало от 30 до 34 % за счёт 20:1(n-11), 18:1(n-9) и 18:1(n-7). Количество насыщенных ЖК (далее — НЖК)

составило от 8 до 10 % за счёт 18:0, 16:0 и 20:0. Обнаружено, что ЖК-профиль морского ежа характеризовался доминированием НЖК (42 % суммы ЖК) за счёт 16:0 и 14:0, затем в количественном отношении следовали ПНЖК (31,5 %), где n-6 ПНЖК составляли 18 % за счёт 20:4(n-6), и МНЖК (26 %) за счёт 16:1(n-7).

Нами установлено, что липидные экстракты иглокожих проявляют наибольшее антимикробное действие в отношении грамположительной бактерии *S. ruogenes*, при этом наиболее эффективно действующая концентрация ДМСО — 30 %. Действие экстрактов *L. laevigata*, *D. setosum* и *C. novaeguineae* на изучаемый микроорганизм варьировало от неполного до полного бактерицидного эффекта, в то время как в контроле фиксировали либо отсутствие, либо бактериостатическое действие образцов. Экстракты *D. setosum* в концентрациях ДМСО 30 и 50 % бактериостатически действовали на изоляты *S. aureus* и *Candida* sp. (при отсутствии действия в контрольных пробах). При изучении антибактериального действия липидных экстрактов на грамотрицательные микроорганизмы *K. pneumoniae*, *E. coli* и *P. aeruginosa* обнаружен бактериостатический и бактерицидный эффект некоторых экстрактов *C. novaeguineae* в концентрации ДМСО 90 %; в контрольных пробах фиксировали отсутствие действия. В отношении *E. faecium* антимикробное действие липидных экстрактов *L. laevigata*, *D. setosum* и *C. novaeguineae* не установлено.

Работа проведена в рамках государственного задания КарНЦ РАН № 0218-2019-0076.

О питании мраморного краба *Pachygrapsus marmoratus* (Fabricius, 1793) в прибрежной зоне Восточного Южного бережья Крыма (Чёрное море)

Наумкин Т. П., Усанов С. С., Шаганов В. В.

ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», Керчь, Россия

vshaganov@yandex.ru

Мраморный краб является массовым и широко распространённым видом инфраотряда Brachyura Восточного Южного бережья Крыма и представляет собой характерный компонент биоценоза камней и скал. Он населяет биотопы верхней сублиторали до глубины 1,5–2 м, а также, будучи амфибионтным видом, зону заплеска (псевдо- и супралитораль).

Согласно нашим предварительным наблюдениям, по характеру питания мраморный краб является перифитонофагом, который обкусывает прикрепленные формы фито- и зообентоса, лишённые твёрдых покровов. Основу питания мраморного краба в водах Восточного Южного бережья Крыма (бухты Двукорная, Тихая, Капсель, п-ов Киик-Атлама) составляли водоросли — красные, бурые и диатомовые. По встречаемости ведущее значение занимали красные (42,3 %), из родов *Ceramium* и *Laurensia*. Бурые водоросли составляли 33,3 % по встречаемости и были представлены *Cystoseira* sp. и *Scytosiphon lomentaria* (Lyngbye) J. Agardh. Диатомовые водоросли составляли 22,2 % по встречаемости, зелёные водоросли — 13,3 % (*Cladophora* sp. и *Chaetomorpha* sp.). Животные компоненты в пищевых комках по встречаемости имели второстепенное значение и были представлены кишечнополостными из класса Hydrozoa (встречаемость 6,67 %), ракообразными из отряда Amphipoda (6,67 %) и насекомыми из отряда Coleoptera (4,4 %).

Являясь массовым видом в узкоприбрежной зоне Восточного Южного бережья Крыма, мраморный краб, безусловно, играет важную роль в пищевых цепях экосистемы данного региона. Это также касается трофических отношений с другими гидробионтами, схожими по своим экологическим особенностям и питанию с мраморным крабом. В частности, это относится к рыбам семейства собачковых (Blenniidae, Perciformes). Представители данного семейства населяют верхнюю сублитораль и встречаются в тех же биотопах, которые осваивает мраморный краб. По стратегии добывания пищи и пищевому спектру наиболее близки к мраморному крабу пятнистая морская собачка *Parablennius sanguinolentus* (Pallas, 1814) и морская собачка-сфинкс *Aidablennius sphynx* (Valenciennes, 1836). Эти виды отдают предпочтение растительным компонентам перифитона, обкусывая слоевища макрофитов. В составе пищи пятнистой морской собачки значительную долю по встречаемости составляют водоросли-макрофиты — бурые (*Cystoseira* sp.) и красные (*Laurensia* sp. и *Ceramium* sp.), а значение беспозвоночных второстепенно. Морская собачка-сфинкс является бентофагом с широким спектром питания, в пищевом комке которого встречаются и растительные, и животные организмы бентоса. Однако доминирующее значение в питании данного вида играют водоросли — диатомовые и зелёные (*Cladophora* sp.).

Вместе с тем, несмотря на сходство в составе пищи, между мраморным крабом и морскими собачками напряжённые пищевые отношения отсутствуют. Этому способствуют, прежде всего, разнообразие кормовых организмов в каменистой сублиторали и их высокая биомасса, что обеспечивает обитающим здесь гидробионтам достаточно стабильную кормовую базу. Кроме того, адаптацией к более эффективному использованию богатых кормовых ресурсов каменистой сублиторали являются биотопическая разобщённость и пространственная дифференциация видов в пределах каждого биотопа, позволяющие избегать напряжённых пищевых отношений.

Гистофизиологические особенности сига-пыжьяна (*Coregonus lavaretus pidschian* Gmelin, 1788) в субарктическом озере плато Путорана

Некрасов И. С., Баиева Е. И.

Лаборатория AquaBioSafe, Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

nekrasov.i.s@mail.ru

Последнее десятилетие характеризуется усиливающимся процессом глобализации и освоения труднодоступных регионов, в перечень которых входит и Арктика. Активная индустриализация районов Крайнего Севера выдвигает на первый план вопросы сохранения экологии и биоразнообразия, так как восстановительные процессы там значительно замедлены и осложнены погодными условиями. Наиболее удобными для оценки антропогенного воздействия на среду являются водные экосистемы.

Ихтиоценозы boreальных вод в большой степени представлены лососеобразными. Сиговые, являющиеся яркими представителями данного отряда, чувствительны к изменяющимся условиям обитания и могут служить биоиндикаторами. Сиг-пыжьян, обитающий в субарктическом озере Кутарамакан, представлен двумя экологическими формами — озёрной и озёрно-речной [Бочкарёв и др., 2020].

Сбор материала был проведён 2–18 августа 2016 г. с использованием разноячейных ставных сетей. При выполнении работы руководствовались стандартными ихтиологическими [Правдин, 1966] и гистологическими методами [Микодина и др., 2009], проводили клиническое и патологоанатомическое обследование рыб [Комплексные..., 2011, 2012]. Отпрепарированные участки органов фиксировали в смеси Бродского. Гистологические препараты оценивали по наличию патологий и степени поражённости органов. Возраст определяли по чешуе. Всего для исследования было выловлено 70 особей сига-пыжьяна разных форм; изготовлено 122 гистологических препарата.

Анализ цитометрических показателей печени сигов двух экологических форм продемонстрировал достоверные различия в площади липидных включений и их доли на срезах ($p < 0,05$) (преобладание у озёрной формы рыб). По таким показателям, как площадь гепатоцитов и их ядер, а также по ядерно-цитоплазматическому отношению достоверных различий не обнаружено. Различия между двумя формами сигов проявились в большем количестве наблюдаемых патологий органа у озёрно-речных особей, однако площадь гистопатологий органа была выше у озёрной формы рыб. Наиболее часто встречаемым отклонением была кавернизация печёночной ткани. Следующими по площади и частоте встречаемости патологиями у озёрных рыб были фиброзы кровеносных сосудов и желчных протоков. У озёрно-речных особей в значительной степени наблюдались участки воспалений и деструкции гепатоцитов, усугубляющиеся наличием неоплазий. Стоит отметить, что патологии озёрных рыб по своему характеру являются обратимыми, в то время как у озёрно-речных они являются сублетальными, что говорит о большой нагрузке именно на этих рыб. Половой специфичности в проявлении данных патологий не обнаружено.

Репродуктивная система является наиболее защищённой от влияния внешних факторов. По результатам проведённого гистологического анализа установлено, что в прошедшем нересте принимали участие 43 % озёрных и 82 % озёрно-речных самок; 59 и 69 % самцов соответственно. Как следствие, определённая доля рыб не примет участие в предстоящем нересте. Установле-

но, что экологические формы имеют разные сроки нереста, обусловленные отличиями в стадии зрелости гонад на момент сбора материала. У озёрных самок старшая генерация клеток представлена ооцитами фазы вакуолизации цитоплазмы, у озёрно-речных — фазы накопления желтка. Яичники озёрных рыб подвержены массовой резорбции ооцитов старшей генерации. Гонады самцов также имеют разную степень развития, но отличия в созревании менее выражены. На основании проведённого анализа можно сделать заключение, что в предстоящем нересте примут участие 29 % самок и 76 % самцов озёрной формы; 82 и 100 % озёрно-речных рыб соответственно.

Таким образом, на основании проведённого гистологического анализа можно с определённой долей уверенности утверждать, что на сига-пыжьяна озера Кутарамакан действует фактор(-ы), угнетающий основные жизненно важные системы организма (репродуктивная, пищеварительная). Выяснению причин, вызвавших столь серьёзные отклонения, будут посвящены дальнейшие исследования. Стоит отметить, что угнетённое состояние какой-либо системы организма нельзя рассматривать в качестве нормы.

Липидный профиль молоди лептоклина пятнистого *Leptoclinus maculatus* в раннем постэмбриональном развитии в летний период в Арктике

Пеккоева С. Н.¹, Воронин В. П.¹, Falk-Petersen S.², Berge J.^{3,4,5}, Немова Н. Н.¹, Мурзина С. А.¹

¹Институт биологии — обособленное подразделение Федерального исследовательского центра
«Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

²Akvaplan-niva AS, Fram Centre, Tromsø, Norway

³UiT The Arctic University of Norway, Department of Arctic and Marine Biology, Tromsø, Norway

⁴The University Centre in Svalbard, Longyearbyen, Norway

⁵Norwegian University of Science and Technology, Centre for Autonomous Marine Operations and Systems,
Tromsø, Norway

pek-svetlana@mail.ru

Водные организмы арктических экосистем находятся под влиянием комплекса специфических факторов среды (низкие температуры, значительные сезонные колебания светового режима, ледяного покрова и др.) и потому имеют ряд адаптаций, в том числе на биохимическом уровне, для успешного роста и развития в данных условиях [Falk-Petersen et al., 1986, 1990 ; Lee et al., 2006 ; Berge et al., 2015 ; Мурзина, 2010, 2019]. Липиды как незаменимые источники энергии, а также биологически активные вещества играют особую роль для гидробионтов высоких широт. Известно, что морские рыбы способны за счёт активного питания в наиболее продуктивный летний период накапливать липиды в организме, в том числе в таких уникальных адаптивных образованиях, как липидный мешок, а далее использовать зимой для поддержания жизнедеятельности [Falk-Petersen et al., 1986, 1990 ; Lee et al., 2006]. Процессы накопления, трансформации и использования энергетических резервов гидробионтами арктических экосистем всё ещё исследованы недостаточно.

Лептоклин пятнистый *Leptoclinus maculatus* (Fries, 1838) из семейства стихеевых — один из экологически значимых видов рыб в пищевых цепях Арктики; у него обнаружено значительное количество липидов как в теле, так и в специальном образовании — липидном мешке (у молоди) [Falk-Petersen et al., 1986 ; Мурзина, 2010, 2019 ; Пеккоева, 2018], поэтому он является ценным объектом питания для многих рыб, птиц и млекопитающих. Ранее [Мурзина, 2010] были представлены результаты сравнительного исследования липидного и жирнокислотного состава мышц и липидного мешка молоди лептоклина пятнистого для типично пелагической L3 стадии развития из разных биотопов акватории Северо-Западного Шпицбергена в летний период. Позднее опубликованы данные о липидном профиле мышц и липидного мешка молоди лептоклина пятнистого в постэмбриональном развитии (L1–L5 стадии развития) из Конгсфьорда в полярную ночь [Пеккоева и др., 2017а, б, 2018, 2019 ; Пеккоева, 2018 ; Пеккоева et al., 2020], раскрыты сезонные особенности состава липидов, их суточная динамика у молоди лептоклина L3 стадии развития в Конгсфьорде [Мурзина и др., 2020 ; Murzina et al., 2020]. В данной работе проведён сравнительный анализ липидного профиля молоди арктическо-бореальной рыбы, пятнистого лептоклина разных стадий развития (L1–L5) из двух биотопов — Конгсфьорда (модельный биотоп) и высокоарктического Рипфьорда (особи лептоклина из данного биотопа исследуются впервые) — акватории о-ва Западный Шпицберген в летний период.

С использованием различных методов хроматографии определено содержание общих липидов (далее — ОЛ) и ряда их отдельных классов (фосфолипидов, холестерина, триацилглицеринов (далее — ТАГ), эфиров холестерина (ЭХС) и восков, моноацилглицеринов, диацилглицеринов и свободных жирных кислот), жирнокислотный состав общих липидов молоди пятнистого лептоплина разных стадий постэмбрионального развития (L1, L2, L3, L4, L5). Биохимический анализ выполнен на базе лаборатории экологической биохимии ИБ КарНЦ РАН с использованием оборудования Центра коллективного пользования ФИЦ «Карельский научный центр РАН». Статистическая обработка данных проведена в открытой программируемой среде R.

Установлено более эффективное накопление ОЛ у рыб из Конгсфьорда (до 37 % сухой массы) по сравнению с рыбами из Рипфьорда (до 26 %) за счёт запасных липидов (ТАГ и восков), что может быть связано с трофическими условиями местообитания. Конгсфьорд, в отличие от Рипфьорда, характеризуется разнообразием фито- и зоопланктона из сосуществующих бореальных и арктических видов [Kwasniewski et al., 2003]. Отличительной особенностью молоди L1 стадии развития является высокий уровень ЭХС (9 %) наравне с ТАГ, что может указывать на присутствие в её питании летом фитопланктона, характеризующегося высоким уровнем именно ЭХС [Henderson et al., 1991]. Содержание ТАГ, доминирующих у молоди рыбы старших стадий развития, выше в Конгсфьорде (до 12 % сухой массы), чем в Рипфьорде (до 8 %). При этом только в Конгсфьорде количество ТАГ повышается с возрастом рыбы (от 8–9 до 12 % сухой массы). Мононенасыщенные жирные кислоты (далее — МНЖК), как правило, входят в состав ТАГ [Sargent et al., 1995]. В работе показано также повышение уровня МНЖК в процессе роста и развития лептоплина: в Конгсфьорде — от 30,7 до 49,06 % суммы ЖК, в Рипфьорде — от 29,1 до 47,2 % суммы ЖК. На ранних стадиях развития рыбы преобладают полиненасыщенные ЖК (далее — ПНЖК). Наблюдается снижение их содержания от L1 к L4/L5 стадиям развития: с 43 до 33 % суммы ЖК в Конгсфьорде, с 46 до 30 % в Рипфьорде; это может быть связано с их активным использованием в период раннего личиночного развития у рыб северных регионов, в том числе в качестве источника энергии [Sargent et al., 1989, 2002 ; Tocher, 2003]. Динамика содержания групп ЖК (повышение МНЖК и понижение ПНЖК и насыщенных ЖК) в процессе развития лептоплина пятнистого из Конгсфьорда в летний период имеет сходную тенденцию с динамикой в зимний период [Пеккоева, 2018], что отражает онтогенетические особенности метаболизма молоди лептоплина пятнистого на уровне липидов. В группе МНЖК в мышцах молоди лептоплина доминировали 20:1(n-9) и 22:1(n-11) ЖК, а также 16:1(n-7), 18:1(n-7) и 18:1(n-9) ЖК, уровень которых изменяется в процессе раннего постэмбрионального развития лептоплина. Биосинтез *de novo* 20:1(n-9) и 22:1(n-11) ЖК является характерной чертой для зоопланктона рода *Calanus* spp., которым активно питается молодь лептоплина с L2 стадии развития. В Рипфьорде уровень 20:1(n-9) (7–10 %) и 22:1(n-11) (4–8 %) ЖК ниже, чем в Конгсфьорде, и не различается между стадиями, тогда как содержание других кислот — 16:1(n-7) и 18:1(n-9) — повышается с возрастом рыбы, что указывает на различия в кормовой базе у пелагической молоди лептоплина (L1–L3) и придонной (L4–L5).

Полученные результаты исследования липидного профиля молоди лептоплина пятнистого из Конгсфьорда и Рипфьорда являются отражением особенностей питания молоди рыбы в зависимости от сложившихся в месте их обитания экологических условий и, как следствие, важны для понимания физиолого-биохимических механизмов адаптаций, направленных на нормальное развитие молоди одного из ключевых видов рыб в пищевых цепях в Арктике.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ МК-2188.2020.4 (2020–2021 гг.), в рамках государственного задания КарНЦ РАН № 0218-2019-0076.

Оценка воздействия ионов меди на динамику роста клоновых культур трёх видов бентосных диатомовых водорослей (Bacillariophyta) Чёрного моря

Петров А. Н., Неврова Е. Л., Трофимов С. А., Литвин Ю. И.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

alexpet-14@mail.ru

Усиление антропогенной нагрузки на прибрежные морские экосистемы определяет актуальность биологического мониторинга и дальнейшего развития экотоксикологических методов для определения состояния различных групп гидробионтов под влиянием поллютантов. Перспективными, но недостаточно широко используемыми тест-объектами являются бентосные диатомовые водоросли — в связи с их массовым развитием и приуроченностью к определённым прибрежным биотопам, а также видоспецифичной чувствительностью к загрязняющим веществам водной среды. Выбор оптимальных тест-объектов, анализ их морфофизиологических откликов и определение диапазонов резистентности разных видов на воздействие поллютантов является важной задачей при биотестировании и опосредованной оценке качества морской среды.

Исследована динамика роста численности клеток клоновых культур трёх видов бентосных диатомовых (Bacillariophyta) — *Thalassiosira excentrica* Cleve, 1903, *Pleurosigma aestuarii* (Bréb. in Kütz.) W. Smith, 1853 и *Ardissonea crystallina* (C. Agardh) Grunow, 1880 — при воздействии $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ разной концентрации в условиях 10-суточных лабораторных экспериментов. Указанные виды характеризуются широкой встречаемостью в сублиторали Чёрного моря и удобством культивирования, однако мы не нашли информации о применении этих видов в качестве тест-объектов для оценки качества природной воды и грунта, а также данных о динамике развития и физиологическом состоянии культур в длительном эксперименте. Такие сведения могли бы служить основой для дальнейших исследований по внедрению диатомовых бентоса в практику биотестирования. Цель работы состояла в сравнительной оценке изменений доли (%) живых клеток, абсолютной численности и удельной скорости прироста клеток в культурах тестируемых видов при разных сроках экспозиции и спектре концентраций ионов меди от 32 до 1024 $\text{мкг} \cdot \text{л}^{-1}$.

Установлено, что у эволюционно наиболее древней и морфологически примитивнее устроенной *T. excentrica* на протяжении первых 7 суток экспозиции при низких концентрациях Cu^{2+} (до 64 $\text{мкг} \cdot \text{л}^{-1}$) доля живых клеток почти не меняется (99–96 %), лишь к 10-м суткам снижаясь статистически недостоверно до 93–92 % (в контроле и при 32 $\text{мкг} \cdot \text{л}^{-1}$) и до 77 % (при 64 $\text{мкг} \cdot \text{л}^{-1}$). При увеличении концентрации ионов меди до 128 $\text{мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ доля живых клеток в культуре уже на 5-е и 7-е сутки значительно (и достоверно) снижается до 70 и 54 % соответственно, а на 10-е сутки — до 42 %, что позволяет считать данную концентрацию токсиканта пороговой для выживания *T. excentrica*. При концентрациях Cu^{2+} 256 $\text{мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ и выше, вплоть до максимально тестируемой 1024 $\text{мкг} \cdot \text{л}^{-1}$, отмечено резкое угнетение клоновой культуры уже начиная с 1-х суток опыта, а на 3–5-е сутки доля живых клеток снижалась практически до 0 %.

У *A. crystallina* в диапазоне концентраций ионов меди 32–128 $\text{мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ доля живых клеток в культуре плавно возрастает от исходных 67–70 % до 84–86 % к 5-м суткам, а на 7-е и 10-е сутки статистически недостоверно снижается до 79 и 67 % соответственно. Однако при концентрации ионов меди 256 $\text{мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ доля живых клеток резко снижается до 47 % начиная с 3-х суток эксперимента, а к 10-м суткам — до 35–37 %, что определяет данную концентрацию токсиканта как критическую

для выживания *A. crystallina*. При концентрациях ионов Cu^{2+} $384 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ и более происходит резкое снижение доли живых клеток *A. crystallina* и последующее отмирание культуры; для концентраций $448\text{--}1024 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ 100%-ное отмирание клеток отмечено уже на 3-и сутки эксперимента.

Результаты тестирования третьего объекта — эволюционно наиболее молодого и морфологически сложно организованного вида *P. aestuarii* — показали, что в контроле и при концентрациях ионов меди $32\text{--}256 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ доля живых клеток в тест-культуре на протяжении всего эксперимента почти не меняется (95–99 %). Это свидетельствует о более высокой резистентности вида по сравнению с остальными тест-объектами. Однако при повышении концентрации Cu^{2+} до $320 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ доля живых клеток в культуре уже на 3-и сутки резко снижается с 90 до 23 %, а на 5-е сутки — до 10 %, что характеризует данную концентрацию как пороговую для выживания *P. aestuarii*. При концентрации Cu^{2+} $384 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ и выше отмечено резкое угнетение культуры уже через сутки, а на 3–5-е сутки доля живых клеток падает до 0 %.

Результаты исследования динамики абсолютной численности клеток у тестируемых видов диатомовых показали, что при малых концентрациях ионов меди (до $64 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ у *T. excentrica*, до $128 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ у *A. crystallina* и до $256 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ у *P. aestuarii*) характер прироста описывается сигмоидной кривой отклика тест-объекта. В период 1–5-х суток прирост численности клеток у разных видов возрастает в 3–8 раз по сравнению с исходными значениями, достигая максимума и выходя на плато к 5–7-м суткам, а в последующий период он характеризуется некоторым снижением (на 10–25 %) за счёт действия токсиканта и старения культур. Для всех видов выявлено достоверное ($P < 0,05$) соответствие между снижением абсолютных показателей прироста культуры и возрастанием концентраций токсиканта в экспериментальной среде. Для каждого тест-объекта данные зависимости являются видоспецифичными с учётом пороговых концентраций токсиканта: наиболее крутой сигмоидный тренд прироста клеток зарегистрирован у *T. excentrica*, а наиболее сглаженный вид сигмоиды отмечен в культуре *A. crystallina*.

Расчёт скорости удельного прироста численности клеток в популяции как одного из важных биотестовых показателей выполнен на основе учёта количества клеточных делений в сутки (v) [Спиркина и др., 2014]. Определены параметры прямой зависимости между увеличением концентрации токсиканта и снижением интенсивности удельного прироста клеток тестовых видов диатомовых в культуральной среде. Для культуры *T. excentrica* наибольший положительный удельный прирост ($1,27\text{--}0,13$) выявлен только в первые 3 суток в диапазоне концентраций Cu^{2+} $32\text{--}128 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$. При пороговой концентрации токсиканта ($128 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$) скорость прироста клеток *T. excentrica* ещё сохраняется положительной ($0,13$ деления в сутки), что ниже контроля в 12 раз. В последующий период (3–5-е сутки) положительный удельный прирост ($0,35\text{--}0,12$) сохраняется только при концентрациях ионов меди 32 и $64 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$. Для концентраций $256 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ и выше резко отрицательный удельный прирост ($-0,20\text{--}0,43$) регистрируется уже после 1-х суток опыта.

Для культуры *A. crystallina* самый высокий удельный прирост тест-культуры также отмечен в период 1–3-х суток ($3,0\text{--}0,17$) для концентраций Cu^{2+} от 32 до $128 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$, однако уже с 5-х суток удельный прирост (кроме контроля) становится отрицательным, культура отмирает. При концентрации $256 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ и выше и в остальные периоды экспозиции культура *A. crystallina* характеризовалась отрицательным приростом ($-0,11\text{--}0,34$).

Тест-культура *P. aestuarii* характеризуется положительным удельным приростом численности ($0,89\text{--}0,18$) для концентраций Cu^{2+} $32\text{--}256 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ в период 1–7-х суток, при этом максимум удельного прироста приходится на период с 3-х по 5-е сутки ($0,73\text{--}0,89$). Начиная с пороговой концентрации токсиканта $320 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ и выше удельный прирост популяции становится отрицательным ($-0,25\text{--}0,50$).

Изученные виды диатомовых бентоса могут быть рекомендованы как тест-объект в токсикологических экспериментах, а также при экологическом мониторинге и опосредованной оценке состояния прибрежных морских акваторий в условиях техногенного загрязнения донных биотопов.

Работа выполнена по теме госзадания ФИЦ ИнБЮМ 0556-2021-0002, № гос. регистрации 121030100028-0.

Распределение и структура популяций ветвистоусых ракообразных (Cladocera, Crustacea) в различных бассейнах Балтийского моря в летний сезон

Полунина Ю. Ю.

Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

jul_polunina@mail.ru

В современный период, в меняющихся условиях среды и климата, при высокой антропогенной нагрузке, а также вселении и расселении по акватории чужеродных видов, происходят изменения состава и структуры зоопланктона Балтийского моря. В летнем зоопланктоне возросло значение ветвистоусых ракообразных, однако сведений о распределении, структуре популяций, особенностях размножения, соотношении полового и бесполого поколения, недостаточно. Цель работы — проанализировать распределение и структуру популяций кладоцер в разных частях Балтийского моря в летний период.

Зоопланктон отбирали летом 2016 и 2018 гг. в Южной (далее — ЮБ) и Центральной Балтике (далее — ЦБ) (глубины открытой части — 55–215 м, прибрежной — 10–40 м) и в Финском заливе (далее — ФЗ) (глубины 32–52 м) планктонной сетью WP2 ($\varnothing = 56$ см, ячей 100 мкм) по слоям.

В открытой части ЮБ (включая Борнхольмский, Гданьский бассейн, Слупский желоб) и в Готландской впадине в 2016 г. были отмечены четыре вида кладоцер — *Eubosmina maritima*, *Evadne nordmanni*, *Pleopsis polyphemoides* и *Podon leuckartii* — при поверхностной и придонной солёности ($7,1 \pm 0,4$) и ($13,3 \pm 2,7$) ПЕС соответственно. Доля кладоцер в среднем в столбе воды составляла около 30 %, а в поверхностном слое — около 60 %. Фильтрующая кладоцера *E. maritima* (1,4–49,4 тыс. экз.·м⁻³) в столбе воды составляла около 30 % от общей численности зоопланктона в различных бассейнах моря, что характеризует этот вид как доминирующий. Популяция была представлена молодью, партено- и гамогенетическими самками и самцами длиной 0,20–0,50 мм; преобладало бесполое поколение (молодь и партеногенетические самки), доля полового поколения составляла 21 %. Три других вида, хищные кладоцеры, встречались во всей акватории, но были малочисленны, в среднем в столбе воды каждый вид был представлен 50–108 экз.·м⁻³. *P. leuckartii* был многочисленнее в более солёных районах Балтики (ЮБ, солёность поверхностных вод $\sim 7,5$ ПЕС). Численность *Pl. polyphemoides* была выше в опреснённых районах (ЦБ, поверхностная солёность $\sim 6,5$ ПЕС). *E. nordmanni* встречен повсеместно; размер особей — 0,250–0,500 мм, популяция представлена партеногенетическими самками (76 %) с 1–4 эмбрионами и молодью (17 %), а также половым поколением — самцами и гамогенетическими самками с одним яйцом, доля полового поколения — всего 7 %. Севернее о-ва Готланд (район впадин Форё и Северо-Балтийской) помимо этих четырёх видов отмечены понто-каспийские вселенцы — *Evadne anonyx* и *Cercopagis pengoi* — численностью всего 1,5–7 экз.·м⁻³. Поверхностная [(6,1 \pm 0,2) ПЕС] и придонная солёность [(12,2 \pm 0,5) ПЕС] здесь была ниже, чем в ЮБ и Готландской впадине. Популяции вселенцев были представлены бесполом и половым поколениями, преобладали партеногенетические самки, большинство несли в камерах 5–20 яиц. Плодовитость *E. anonyx* (5–11 яиц) сопоставима с таковой нативного ареала, но выше, чем отмечали в Финском заливе (2–6 яиц). Плодовитость церкопагиса (5–20 яиц) схожа с данными в нативном ареале и др. районах Балтики. Размеры особей церкопагиса (1,0–2,0 мм) схожи с таковыми особей в нативном ареале, но меньше, чем были отмечены в Вислинском заливе (1,0–2,7 мм). *E. anonyx* имели

размер 0,420–0,625 мм и были мельче, чем в нативном ареале (до 2 мм) и в Финском заливе (0,5–1,5 мм).

Летом 2018 г. в ЮБ, включая открытые и прибрежные участки, отмечены 6 видов кладоцер, а в Финском заливе — 11. В ФЗ, при солёности поверхностных вод $\sim 3,5$ ПЕС, зарегистрированы, помимо типичных морских кладоцер и понто-каспийских вселенцев, пресноводные виды рода *Daphnia*, *Bosmina longirostris*, *Chydorus sphaericus*, *Leptodora kindtii* и *Bythotrephes* sp. Доля кладоцер от общей численности зоопланктона в ЮБ составляла в столбе воды в среднем 7 %, а в Финском заливе — почти 16 %. В поверхностном слое ЮБ доля кладоцер возрастала до 18 %. В ЮБ по численности и биомассе преобладал один вид — *E. maritima* (в среднем ~ 60 % от всех кладоцер). Численность других видов была невелика. В большей части акватории ЮБ отмечены понто-каспийские вселенцы, при этом *S. pengoi* был многочисленнее (1–800 экз. \cdot м⁻³), чем *E. anonyx* (4–120 экз. \cdot м⁻³). В ФЗ по численности преобладали пресноводные виды — *Daphnia cristata*, *D. cucullata* (в среднем 57 %), *Bosmina longirostris* (9 %). Численность других видов была невелика. Среди вселенцев более многочисленным был *S. pengoi*. Вид *E. anonyx* отмечен повсеместно (средняя численность 13 экз. \cdot м⁻³), а *E. nordmanni* — только на одной станции, где численность его не превышала 1 экз. \cdot м⁻³. Популяции видов-вселенцев представлены всеми возрастными и половыми группами.

В целом в открытой части ЮБ отмечено минимальное число видов кладоцер; в прибрежных районах ЮБ, ЦБ и ФЗ видовое разнообразие возрастало, что, вероятно, обусловлено солёностными условиями. Доля этой группы от общей численности и биомассы зоопланктона менялась в зависимости от бассейна и периода исследования, однако в поверхностном слое кладоцеры составляли не менее 18 %. В ЮБ и ЦБ в этой группе преобладала *E. maritima*, в ФЗ — виды рода *Daphnia*. Вселенцы отмечены в ЦБ, прибрежной зоне ЮБ и ФЗ, где многочисленным был *S. pengoi*.

Работа выполнена в рамках госзадания ИО РАН, тема № 0128-2021-0012.

Размерный анализ двух черноморских популяций токсикогенных диатомовых водорослей (*Bacillariophyta*) из рода *Pseudo-nitzschia*

Полякова С. Л., Давидович Н. А., Давидович О. И.

Карадагская научная станция имени Т. И. Вяземского — природный заповедник РАН — филиал
ФИЦ ИНБЮМ, Феодосия, Россия
svietlana.poliakova.77@mail.ru

В планктонных пробах (конец февраля, начало марта), отобранных в прибрежной зоне Карадагского заповедника и с побережья г. Адлера, доминирующее положение занимала диатомовая водоросль *Pseudo-nitzschia calliantha* Lundholm, Moestrup & Hasle. Этот вид, продуцирующий токсичную домоевую кислоту, относится к семи потенциально опасным видам из рода *Pseudo-nitzschia*, указанным для Чёрного моря [Рябушко et al., 2008]. В период цветения этот нейротоксин, накапливаясь в тканях моллюсков, передаётся по пищевым цепям [Bates, 1997], вызывая амнезийное отравление [Wright, Quilliam, 1995 ; Rhodes et al., 1996]. В жизненном цикле диатомовых обязательным этапом является половое воспроизведение, которое возможно только при достижении подходящего клеточного размера [Давидович и др., 2015]. Для выяснения того, на каком этапе жизненного цикла находятся исследуемые популяции, были изучены их размерные характеристики. Всего было измерено 407 клеток, из них 151 клетка — из адлеровской популяции и 256 — из карадагской.

Особенность этого вида и ещё нескольких представителей рода *Pseudo-nitzschia* состоит в том, что переход к репродуктивной фазе наступает при достижении клетками 60–70 % от максимально видоспецифического размера [Hiltz, 2000 ; Полякова, Давидович, 2020]. Эти данные позволяют более точно определить количество клеток в популяции, находящихся в дорепродуктивной и репродуктивной фазах жизненного цикла. Размерный анализ клеток адлеровской популяции показал, что основная её часть находилась в репродуктивной фазе. Размер большей части клеток лежал в диапазоне 80–100 мкм. Клеток максимально видоспецифического размера в пробе не наблюдалось. Та же картина отмечена и в карадагской популяции: основная её часть (около 95 % клеток) находилась в таком же размерном диапазоне 80–100 мкм, хотя встречались единичные клетки, близкие по размерам к максимальному видоспецифическому. Это может свидетельствовать о начавшемся половом воспроизведении, которое ещё не стало массовым, с вовлечением в процесс большинства клеток в популяции.

Таким образом, в ходе измерений изучено размерное распределение двух черноморских популяций *P. calliantha*. Определена фаза жизненного цикла, на которой находилась основная часть клеток в данный период времени.

Роль микроводорослей рода *Prorocentrum* в питании мидий *Mytilus galloprovincialis* Lam.

Приймак А. С., Поспелова Н. В.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

nvpospelova@mail.ru

Основным источником питания двустворчатых моллюсков является детрит и фитопланктон. Уровень концентрации фитопланктона в морской воде определяет степень обеспеченности двустворчатых полноценными пищевыми ресурсами, а качественный состав — энергетическую ценность, усвояемость и прирост биомассы. Так, диатомовые водоросли играют ключевую роль в питании и развитии двустворчатых. Что касается динофлагеллят, то их клетки перевариваются двустворчатыми с разной интенсивностью: например, стенки клеток рода *Gymnodinium* тонкие и быстро разрушаются под воздействием клеточного сока мидий, а у рода *Prorocentrum*, напротив, плотные и могут, не перевариваясь, выходить в составе фекалий и псевдофекалий. В Чёрном море для микроводорослей рода *Prorocentrum* характерно их накопление в желудках моллюсков, в то время как в составе фитопланктона воды их численность чаще всего минимальна. В данной работе было доказано наличие избирательности мидий при питании фитопланктоном, предположительно в связи с разной степенью усвояемости различных видов микроводорослей рода *Prorocentrum*.

Исследования проводились в 2020 г., пробы отбирались ежемесячно. Материалом служили пробы фитопланктона, собранные с поверхности воды, объёмом 1–1,5 л, сгущённые методом обратной фильтрации через ядерные мембраны с диаметром пор 1 мкм до объёма 20–40 мл. Сгущённые пробы фиксировали раствором Люголя (2 мл на 100 мл пробы) и обрабатывали с помощью световых микроскопов JenaVal и Olympus. Обработка заключалась в применении метода прямого счёта в живой и сгущённой капле ($V = 0,01$ мл) и камере ($V = 0,8$ мл). Численность и биомассу фитопланктона рассчитывали с помощью компьютерной программы «Глория». Для определения таксономического состава и численности микроводорослей в пищевом комке по 3 экз. моллюсков (≥ 4 см) отбирали с коллекторов фермы на глубине 6 м, препарировали желудок и анализировали его содержимое под микроскопом. Численность микроводорослей в 1 экз. мидии определяли методом прямого счёта в трёх повторностях. Для сбора биоотложений по 7–10 экз. мидий очищали сразу после отлова и помещали в фильтрованную морскую воду (после фильтрации через ядерные фильтры с диаметром пор 0,1 мкм) с постоянной подачей воздуха компрессором. Моллюсков выдерживали 4 ч для освобождения содержимого их желудков. Экскременты анализировали под микроскопом.

В соответствии с полученными в 2020 г. результатами, в планктоне, желудках и биоотложениях мидий было зафиксировано 8 видов динофитовых водорослей рода *Prorocentrum*: *P. compressum*, *P. cordatum*, *P. micans*, *P. scutellum*, *P. pusillum*, *P. balticum*, *P. maximum* и *P. lima*. Из них *P. maximum* был отмечен лишь в планктоне, *P. lima* — только в желудках в августе и октябре. В биоотложениях зафиксировано 5 видов, *P. maximum* и *P. lima* не встречались. Количество видов в трёх типах проб совпадало в большинстве случаев.

Максимальная численность микроводорослей данного рода (более 3000 кл·л⁻¹) с наибольшим разнообразием была отмечена в июне, минимальная (менее 200 кл·л⁻¹) — в феврале. При этом наиболее часто встречаемыми и многочисленными видами были *P. micans*, *P. balticum*, *P. compressum* и *P. cordatum*.

Количество клеток в желудках варьировало от 67 до 49700 кл. на экз. мидии с минимальным значением в июле и максимальным в декабре. Наиболее многочисленными и часто встречаемыми видами были *P. micans*, *P. compressum* и *P. cordatum*.

Количество клеток в фекалиях варьировало от 2 до 1469 кл. на экз. мидии с минимальным значением в мае и максимальным в декабре.

Анализ количественного состава фитопланктона морской воды показывает, что доля динофитовых водорослей рода *Prorocentrum* была минимальной в апреле и максимальной в ноябре, составляя 0,02 и 2 % от общей численности фитопланктона соответственно. В желудках мидий их доля колебалась от 2 % в марте до 66 % от суммарной численности микроводорослей в ноябре. Что касается доли в фекалиях, то в мае она была минимальной (0,4 %), а в ноябре — максимальной (85 %). Примечательно, что как максимальные (ноябрь), так и повышенные (январь, июнь, август) относительные значения количества динофитовых в планктоне, желудках и фекалиях мидий совпадали по месяцам.

Анализ качественного состава пророцентрумов в воде, желудках и биоотложениях в относительных единицах (%) показал, что в планктоне зимой преобладали *P. cordatum* и *P. micans*, весной — *P. balticum*, летом — *P. cordatum*, *P. micans*, *P. balticum* и *P. pusillum*, осенью — *P. micans*. При этом в желудках в течение года доминировали *P. compressum* и *P. micans*. В биоотложениях летом и осенью преобладал *P. micans*, а весной доминировали *P. compressum* и *P. cordatum*.

Отсутствие корреляции между видовым составом микроводорослей в пробах воды, желудков и фекалий говорит о возможной избирательности или разнице в усвояемости клеток разных видов динофитовых микроводорослей рода *Prorocentrum*. Например, клетки *P. balticum* мелкие и, возможно, хорошо перевариваются мидиями, поэтому мало встречались в желудках и фекалиях. *P. cordatum* в желудках встречался в минимальных количествах, но концентрировался в фекалиях. По-видимому, он плохо усваивается мидиями. *P. compressum* встречался в желудках, но в некоторые месяцы отсутствовал в пробах фитопланктона. Возможно, он трудно переваривается мидиями.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Севастополя в рамках научного проекта № 20-44-925001, а также в рамках темы НИР государственного задания ФИЦ ИнБЮМ (№ гос. регистрации 121030300149-0).

Количественные характеристики бактериобентоса литорали южного колена Кольского залива в зимний период

Пуговкин Д. В.¹, Корсунова Е. В.², Венгер М. П.¹

¹Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, Россия

²Мурманский государственный технический университет, Естественно-технологический институт, Мурманск, Россия

pugovkin2005@yandex.ru

Хозяйственная деятельность человека, особенно в районе крупных городов, может нарушить ход естественных процессов, протекающих в Мировом океане и биосфере в целом. Бактериальные сообщества одними из первых реагируют даже на мельчайшие изменения в окружающей среде. Проведённые ранее исследования микробных сообществ Кольского залива позволили выявить влияние антропогенного фактора на бактериоценозы пелагиали, бентали и перифитона. Несмотря на то, что ситуация с изменением количественных показателей бактерий в Кольском заливе мониторится специальными службами, ряд вопросов, касающихся биомассы, трофических групп, размерно-морфологических характеристик, таксономической структуры бактериальных сообществ, в современной научной литературе остаётся недостаточно освещённым. Особенно это касается бактериобентоса. Работы, затрагивающие данную группу бактерий, проводятся крайне редко. Между тем антропогенная нагрузка на экосистемы Кольского залива остаётся на высоком уровне. С учётом строительства новых объектов инфраструктуры можно предполагать, что в будущем она только увеличится. Вышесказанное и определяет актуальность работы.

Целью исследования являлось определение основных количественных и качественных характеристик бентосных бактериальных сообществ литоральной зоны южного колена Кольского залива.

Пробы грунта и воды отбирались в феврале и марте в районе литорали пос. Абрам-Мыс (68°58'N, 33°01'E) и Морского порта (68°56'N, 33°01'E).

В результате исследований было показано, что в феврале на станциях в Морском порту и в районе пос. Абрам-Мыс общая численность бактерий (далее — ОЧБ) составляла $5,7 \times 10^7$ и $6,57 \times 10^7$ кл·г⁻¹ грунта соответственно. В марте численность бактерий на обеих станциях увеличилась более чем на порядок и достигла $3,37 \times 10^8$ кл·г⁻¹ для пос. Абрам-Мыс и $1,31 \times 10^8$ кл·г⁻¹ для морского порта.

Несмотря на то, что в бентали могут концентрироваться органические соединения, как легко окисляемые, так и трудно окисляемые (например, нефтепродукты), бактерии грунта морфологически были менее разнообразны, чем пелагические формы, и были представлены в основном мелкими клеткам палочковидной и кокковой форм. При этом как в феврале, так и в марте доля палочек (59,2–71,7 %) была несколько выше, чем доля кокков (28,3–40,4 %). Отмечены единичные бактерии нитевидной формы, не оказывающие существенного влияния ни на биомассу, ни на общую численность бактерий.

В феврале в грунте количество культивируемых бактерий в районе пос. Абрам-Мыс составило 750 тыс. кл·г⁻¹, что более чем в пять раз ниже, чем в порту, где было отмечено 3,9 млн кл·г⁻¹. Численности культивируемых углеводородокисляющих бактерий (далее — УОБ) составили 750 кл·г⁻¹ и 18 тыс. кл·г⁻¹ соответственно. В марте как в районе пос. Абрам-Мыс, так и в порту наблюдалось резкое увеличение численности культивируемых бактерий до 18 млн и 39 млн кл·г⁻¹. При этом количество УОБ не изменялось, а в порту даже резко уменьшалось (до десятков кл·г⁻¹).

В целом доля культивируемых бактерий относительно ОЧБ в грунте морского порта была выше (5,93 % в феврале, 29 % в марте), чем в районе пос. Абрам-Мыс (1,31 % в феврале, 5,34 % в марте).

Доля углеводородокисляющих бактерий на обеих станциях в феврале была выше, чем в марте. При этом она варьировала от менее чем тысячной доли процента до 0,46 % от количества культивируемых бактерий.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ «Опасные явления», № 18-05-80058.

Быстрые стрессовые реакции клеток *Acrosiphonia arcta* (Dillwyn) Gain на действие эмульсии дизельного топлива

Рыжик И. В., Салахов Д. О.

Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, Россия

alaria@yandex.ru

Acrosiphonia arcta — представитель зелёных водорослей, этот вид широко распространён в литоральной зоне и образует достаточно большие заросли. *Acrosiphonia arcta* выдерживает широкий диапазон абиотических факторов, что указывает на её устойчивость и широкие адаптационные возможности. Антропогенное загрязнение является новым видом воздействия. Отмечено, что в условиях загрязнения ксенобиотиками биомасса *Acrosiphonia arcta* снижается, что может негативно сказаться на прохождении сукцессионных процессов, так как она является одним из видов-первопоселенцев. Наиболее часто встречающиеся токсиканты в прибрежной среде — разные виды нефтепродуктов, в том числе дизельное топливо. У организма при встрече с токсикантом поэтапно запускаются несколько систем защиты, каждая из которых является триггером для активации последующей. В первую очередь это системы антиоксидантной защиты (каталаза, супероксиддисмутаза, глутатионпероксидаза и другие), процессы дыхания и фотосинтеза; после запускаются глубинные перестройки циклов, когда затрагиваются уже синтез белков/аминокислот и т. д. Скорость, с которой активируются системы защиты, важна для дальнейшей адаптации организма к токсиканту.

Цель настоящего исследования — оценить уровень окислительного стресса, возникающего в первые сутки контакта растения с эмульсией дизельного топлива, и показать характер изменения ферментной системы при появлении в среде токсиканта.

Длительность эксперимента составляла 1 сутки. Измерения проводили 1, 3, 7, 10 и 24 часа. Воздействие токсиканта оценивалось по маркерам окислительного стресса [концентрация перекиси водорода и перекисное окисление липидов (далее — ПОЛ)], по состоянию ферментов антиоксидантной системы (супероксиддисмутаза (далее — СОД), каталаза (КАТ), пероксидаза) и по интенсивности фотосинтеза.

В результате проведения эксперимента было показано, что в контроле количество перекиси водорода колеблется в пределах 0,004–0,005 ед. Для ПОЛ в течение суток отмечаются волнообразные изменения с пиками на 1-й и 10-й час измерений, динамика — 0,003–0,005 ед. Изменения в течение суток обусловлены наличием биологических ритмов. В опытных образцах количество перекиси изменяется в пределах 0,004–0,007 ед., с максимумом (0,007 ед.) в первый час воздействия токсиканта. ПОЛ свойственен такой же характер изменений, как и в контроле, однако пики сдвигаются на 7 часов и 24 часа.

Активность фермента СОД в контроле изменялась незначительно, регистрировалось повышение на 1-й и 7-й час. В опыте происходят увеличение в 1,5 раза активности фермента в 1-й час и снижение на 7-й час; к первым суткам активность сходна с контролем.

В контроле отмечено два повышения каталазы — в 5 и 3 раза на 3-й и 10-й час соответственно. В опыте значительное увеличение происходит на 7-й час измерений.

В процессе измерения активности фермента пероксидазы в контрольных образцах отмечена значительная динамика. У опытных образцов происходит существенное увеличение активности к первым суткам: значения на 10-й и 24-й час превышают контрольные цифры в 2 и 1,5 раза соответственно.

Интенсивность фотосинтеза в контроле повышается на 7-й час измерений; затем фиксируется снижение на 10-й час; через сутки значение выходит на начальный уровень. В опыте с 1-го часа воздействия до 10-го часа отмечается повышение интенсивности фотосинтеза по сравнению с контролем в 1,25 раза. При этом уже к концу первых суток (24 часа воздействия) интенсивность фотосинтеза снижается.

Результаты исследования показали, что ответная реакция у растений начинает формироваться уже в первые часы воздействия: накапливаются активные формы кислорода (в 1,5 раз выше), которые стимулируют поэтапную активацию ферментов. Активация происходит в ряду СОД — каталаза — пероксидаза. У контрольных образцов анализируемые параметры изменяются волнообразно, что может свидетельствовать о сохранении биоритмов в лабораторных условиях. У экспериментальных образцов происходит нарушение цикличности процессов. Негативное воздействие дизельного топлива заключается не только в непосредственном воздействии токсиканта на структуры клеток и биохимические процессы, но и в опосредованном, через нарушение биоритмов, которые позволяют организмам адаптироваться к периодически изменяющимся факторам (например, приливо-отливному циклу).

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ «Опасные явления» № 18-05-80058 «Новые технологии биоремедиации и роль фитоценозов в очистке прибрежных акваторий арктических морей при чрезвычайных ситуациях, связанных с хранением и транспортировкой углеводов».

Различия и физиологические особенности органов кроветворения хрящевых и костистых рыб в эмбриональный период развития на примере кошачьей акулы *Scyliorhinus canicula* L. и леща обыкновенного *Abramis brama* (L.)

Светашева Д. Р.¹, Грушко М. П.²

¹Каспийский морской научно-исследовательский центр, Астрахань, Россия

²Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

svetashevadr@yandex.ru

Физиология как промысловых, так и редких видов рыб на ранних этапах развития тесно связана с аквакультурой и вопросами разведения рыб в искусственной среде обитания, а также с разработкой благоприятных условий вдали от естественного местообитания рыб. Важность изучения и развития эмбриологии рыб в последние годы возросла в связи с нарушениями экологической обстановки в водоёмах, вызванными в наибольшей степени антропогенными факторами.

Для рыб характерно наличие множества взаимозаменяемых мест и органов кроветворения. Многочисленные исследования дают неоднозначные представления о гемопоэзе различных таксономических групп.

Целью данной работы явилось изучение морфологии и функционирования органов, осуществляющих кроветворение в раннем онтогенезе. Объектами исследований послужили эмбрионы кошачьей акулы в возрасте 8 суток и 4 месяца, полученные в искусственных условиях аквариума, и личинки леща, полученные в условиях нерестово-выростного хозяйства.

В эмбриональный период у кошачьей акулы активно развивающимся органом гемопоэза является мезонефрос. С самых ранних этапов развития здесь формируются клетки крови всех рядов кроветворения, однако большая часть продуцируемых клеток приходится на лейкоциты. В тимусе происходит формирование клеток белой крови, но в большей степени агранулоцитов. В жабрах формируются лейкоциты, среди которых доминируют гранулоциты. Слизистая оболочка кишечника и селезёнка кошачьей акулы функционируют как органы кроветворения. Селезёнка определяется как универсальный орган гемопоэза, с небольшим преобладанием клеток гранулопоэтического ряда. В собственной пластинке слизистой оболочки пищевода и кишечника происходит формирование клеток лимфоцитопоэтического ряда. В печени зародышей акулы интраваскулярно созревают клетки эритропоэтического ряда.

Почка леща в онтогенезе претерпевает значительные метаморфозы. В туловищной почке начиная с первого дня после выклева предличинки образуются кроветворные элементы эритропоэтического, гранулоцитопоэтического и агранулоцитопоэтического рядов. Наиболее интенсивно в мезонефросе происходит эритропоэз.

Несмотря на довольно раннее возникновение первых очагов кроветворения в селезёнке личинки леща, максимум её активности и наибольшая важность значения как органа кроветворения у личинки леща приходится на конец личиночного периода развития. В этот период селезёнка представляет собой универсальный орган кроветворения, где осуществляются эритропоэз, гранулоцитопоэз и лимфопоэз. Кишечник начинает выполнять функцию кроветворения после перехода личинки на активное питание. В основном здесь дифференцируются клетки грануло- и агранулопоэтического ряда, в меньшей степени — эритропоэтического. У личинок леща печень не выполняет самостоятельной кроветворной функции. Жабры и тимус у личинок леща являются органом

активного гемопоэза, при этом в жабрах развиваются клетки только белой крови, преимущественно лимфоцитопоэтического ряда.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что кроветворение у костистых и хрящевых рыб имеет как сходства, так и различия.

Селезёнка и почки у обеих таксономических групп являются универсальными органами кроветворения, однако у акул в обоих органах количественно преобладали лейкоциты, а у леща в почках в основном дифференцировались эритроциты. В тимусе и жабрах личинок леща преобладали лимфоциты.

Цитоморфологические и генетические особенности двух видов рыб — *Siganus fuscescens* и *Gerres oblongus* (Actinopterygii: Perciformes) — сублиторальной зоны о-ва Малапаскуа (Филиппины)

Селюков А. Г., Жигилева О. Н., Боричевская А. И., Шадрин С. С.

Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

zhigileva@mail.ru

Тёмный сиган, или рыба-кролик, *Siganus fuscescens* (Houttuyn, 1782) — представитель семейства сигановых, травоядный обитатель сублиторальной зоны Западной Пацифики, встречается от берегов Южной Кореи и Японии до Северной Австралии, у Филиппинских островов, Индонезии, Папуа — Новая Гвинея. *Gerres oblongus* Cuvier, 1830 имеет сходную экологию и распространение, но его ареал захватывает также северную часть Индийского океана. Оба вида ассоциированы с коралловыми рифами, однако *G. oblongus* может также обитать в опреснённой воде эстуариев, питается беспозвоночными. Оба вида имеют промысловое значение, *S. fuscescens* также представляет интерес для рыбоводства. Цель работы — сравнительное изучение цитоморфологических и генетических особенностей этих двух видов рыб.

Всего было изучено 13 экз. *S. fuscescens* и 10 экз. *G. oblongus*, отловленных в сублиторали о-ва Малапаскуа (Филиппины). Морфометрический анализ включал 17 меристических и пластических параметров. Оценку цитоморфологических показателей жаберного аппарата, печени, почек и гонад проводили с использованием гистологических методик.

Для оценки генетического полиморфизма было проведено генотипирование семи особей каждого вида с использованием четырёх ISSR-праймеров — (AG)₈C (UBC-808); (AG)₈T (UBC-807); (AC)₈T (UBC-825); (TC)₈C (UBC-823). В результате было интерпретировано 47 ампликонов у *S. fuscescens* и 49 — у *G. oblongus*. По отдельным праймерам ISSR-паттерны включали от 7 до 16 ампликонов на особь у *S. fuscescens* и от 6 до 13 — у *G. oblongus*. Доля полиморфных локусов составила 32,8 и 56,9 %; средняя гетерозиготность — 0,14 и 0,23; наблюдаемое число аллелей на локус (n_a) — 1,3 и 1,6; эффективное (n_e) — 1,2 и 1,4 для *S. fuscescens* и *G. oblongus* соответственно. Данные указывают на низкое генетическое разнообразие, особенно у тёмного сигана, несмотря на эволюционную молодость и незавершённость видообразования в семействе сигановых. При сопоставимых объёмах выборок и числе изученных бэндов уровень генетического полиморфизма у *S. fuscescens* был в 1,6 раза ниже, чем у *G. oblongus*, что свидетельствует о меньшем потенциале к изменчивости первого вида.

В целом оценки ISSR-полиморфизма оказались довольно низкими для таких широкоареальных морских видов, а также для используемого типа генетических маркеров, для которого полиморфность достигает 80–100 %, а генетическое разнообразие — 0,32. Также оценки были существенно ниже по сравнению с оценками для многих других изученных нами видов пресноводных рыб (окуневые, карповые, сиговые, щуковые).

Исследованные рыбы были представлены молодыми особями, гонады которых находились на II стадии зрелости. Старшей генерацией половых клеток в яичниках были превителлогенные ооциты, в семенниках — сперматогонии и сперматоциты I порядка. Цитолого-гистологический анализ позволил установить значительные патологические изменения в жаберном аппарате, охватывающие у большинства рыб 95–98 % площади жаберного эпителия. Помимо десквамации ре-

спираторного эпителия и гиперплазии клеток афферентной зоны, выявлены обширные участки некроза, срастание респираторных ламелл соседних филламентов и их деструкция вплоть до оголения хрящевой основы филламентов. Эти данные свидетельствуют о прекращении функционирования респираторной системы в таких участках. Патологические изменения в печени этих видов менее значительны, но также отчётливо выявляемы: гемостаз, фиброз желчных протоков, мелано-макрофагальные центры, жировая дистрофия гепатоцитов и их дегенерация. Достаточно обширные нарушения выявлены в мезонефросе; установлены гиперемия и дистрофические изменения в эпителии почечных канальцев и боуменовых капсул, фиброэластоз; также выявлены мелано-макрофагальные центры.

Изложенное позволяет характеризовать сублитораль о-ва Малапаскуа — широко известного туристического и дайвинг-центра — как зону крайнего экологического неблагополучия, где даже молодые, до года, особи тропических прибрежных видов обладают полным набором патологий, далеко не всегда присутствующих у старшевозрастных половозрелых рыб в других регионах.

Биоиндикационная оценка Таганрогского залива (Азовское море) с использованием биохимических показателей печени бычка-кругляка *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814)

Сигачева Т. Б., Скуратовская Е. Н., Куршаков С. В.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

mtk.fam@mail.ru

Особые гидролого-гидрохимические характеристики Таганрогского залива обуславливают оптимальные условия для нагула многих проходных и полупроходных ценных промысловых видов рыб, включая осетровых [Селифонова, 2015]. Однако в условиях функционирования крупнейшего промышленного узла г. Мариуполя (Украина), промышленных и портовых городов РФ, а также с речными стоками (преимущественно Дона и Кальмиуса) в Таганрогский залив и собственно море попадает широкий спектр загрязняющих веществ, приводящих к дестабилизации экосистемы и снижению её биологической и рыбопродуктивности. Особенно напряжённая экологическая ситуация сложилась в районе городов Мариуполя, Таганрога и на взморье Дона [Неграфонтова, 2000]. С учётом высокой экономической значимости Таганрогского залива как рыбохозяйственного водоёма, а также сложного комплекса действующих антропогенных и природных факторов необходима оценка его экологического состояния с точки зрения комфортности для биоты.

В связи с этим целью работы явилась биоиндикационная оценка двух районов Таганрогского залива с применением комплекса биохимических показателей печени бычка-кругляка *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814).

Ихтиологический материал был получен в результате учётной траловой съёмки на рыболовецком сейнере «Илия» в октябре 2019 г. Рыбу отбирали в центральной южной части Таганрогского залива (р-н 1) и в районе Белосарайской косы (р-н 2), характеризующихся разным уровнем загрязнения и гранулометрическим составом донных осадков.

Материалом для биохимических исследований служила печень 24 и 30 экз. рыб из р-нов 1 и 2 соответственно. В печени рыб определяли показатели прооксидантно-антиоксидантной системы [уровень окислительной модификации белков (ОМБ), содержание продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) — ТБК-активных продуктов (ТБК-АП), активность супероксиддисмутазы (СОД) и каталазы (КАТ)], активность холинэстеразы (ХЭ), аспартатаминотрансферазы (АСТ), аланинаминотрансферазы (АЛТ) и содержание альбумина методами, описанными ранее [Rudneva et al., 2016]. Достоверность различий между выборками оценивали с применением *U*-критерия Манна — Уитни. Различия считали достоверными при уровне значимости $p \leq 0,05$. Статистический анализ проводили с использованием компьютерных программ Past 3 и Microsoft Office Excel 2016.

В наших исследованиях содержание продуктов ОМБ и ПОЛ было почти в 3 раза выше в печени бычков из р-на 2, чем у рыб из другой локации. При этом реакция антиоксидантных ферментов была неоднозначной. В печени рыб из р-на 2 активность СОД была достоверно выше (в 2,8 раза), а активность КАТ не отличалась от таковой у рыб из р-на 1. Активность АЛТ, АСТ и ХЭ, а также содержание альбумина были достоверно выше в печени бычка-кругляка из р-на 1 по сравнению с аналогичными показателями бычков из второй локации.

В условиях географической обособленности Таганрогского залива размер фракций грунта во многом определяет геодинамическую и геохимическую устойчивость ландшафтов, формируя

зоны с разной сорбирующей способностью [Натарова, Серебряков, 2015]. В связи с этим результаты биоиндикационных исследований сопоставляли не только с данными химического загрязнения, но и с гранулометрическими характеристиками донных отложений в районах исследования.

В составе осадков р-на 2 преобладают мелкоразмерные фракции с высоким содержанием глины. Обладая высокой сорбирующей способностью [Кизицкий, 2000 ; Натарова, Серебряков, 2015 ; Матишов и др., 2017], эти осадки «собирают» загрязняющие вещества и образуют зону экологического риска. В результате функционирования металлургических и химических предприятий г. Мариуполя в акваторию залива попадают большие количества загрязняющих веществ. Смещение прооксидантно-антиоксидантных реакций в сторону свободнорадикального окисления белков и липидов в печени бычков из р-на 2 свидетельствует о высоком уровне комплексного загрязнения этой локации. Более низкие значения активности ХЭ и содержания альбумина и отсутствие адекватной реакции со стороны КАТ в печени рыб из р-на 2, вероятно, обусловлены токсическим действием высоких концентраций Hg и Pb в глинистой фракции донных осадков [Кизицкий, 2000]. В результате связывания с сульфгидрильными группами ферментов (ХЭ, КАТ) и других белков (альбумин) действие этих элементов приводит к необратимым конформационным изменениям белковых молекул — ингибированию активности ферментов и усилению процессов окислительной модификации белков [Скугорева и др., 2016].

В р-не 1 отсутствуют прямые источники загрязнения, в составе донных отложений преобладают крупноразмерные фракции. В условиях небольших глубин и высокой гидродинамической активности эти осадки подвергаются постоянному переотложению в границах прибрежной зоны [Натарова, Серебряков, 2015]. Они активно вымываются и выносятся ближе к центральной части залива, «забирая» с собой и большую часть загрязняющих веществ [Натарова, Серебряков, 2015]. Анализ биохимических показателей печени бычка-кругляка из р-на 1 позволил характеризовать его экологическое состояние как благополучное, что, несмотря на высокий уровень загрязнения Таганрогского залива в целом, вероятно, обусловлено особенностями гидродинамического режима и гранулометрического состава донных осадков.

Таким образом, результаты биоиндикационных исследований позволили установить окислительное повреждение гепатоцитов и перестройку белкового метаболизма в печени бычка-кругляка из района Белосарайской косы, что свидетельствует о неблагоприятном экологическом состоянии этой локации по сравнению с центральной южной частью Таганрогского залива. Комплекс биомаркеров, предложенный в работе, является информативным для оценки качества морских акваторий и может быть использован при проведении биоиндикационных исследований в других водоёмах естественного обитания бычка-кругляка.

Линейный рост и продукция двустворчатого моллюска *Mya arenaria* Linnaeus, 1758 в условиях литорали Баренцева и Белого морей

Смолькова О. В.

Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, Россия

sm.olj@mail.ru

Mya arenaria Linnaeus, 1758 — это крупные двустворчатые моллюски, зарывающиеся в грунт. Моллюски широко распространены в Северном полушарии. Встречаются как на атлантическом и тихоокеанском побережьях Северной Америки, так и в морях Арктического региона (Баренцево, Белое море) и Восточной Атлантики (Балтийское, Чёрное и Средиземное моря). *M. arenaria* ведут малоподвижный образ жизни, способны выдерживать изменение факторов среды в широких диапазонах. Высокая степень эврибионтности определяет большое значение этого вида для оценки влияния климатических изменений на природную среду. Получение новых данных об особенностях биологии *M. arenaria* не только играет фундаментальную роль, но и является важным и с практической точки зрения, поскольку связано с вопросами развития марикультуры, рационального использования природных ресурсов и оценки антропогенной нагрузки на морские бентосные сообщества.

Целью работы было изучить особенности линейного роста двустворчатых моллюсков *M. arenaria* в различных условиях Баренцева и Белого морей, оценить влияние абиотических факторов на темпы роста моллюсков, рассчитать продукционный потенциал.

Закономерности роста *M. arenaria* были изучены в арктической части географического ареала вида. Районы исследования располагались на литорали Баренцева моря [губа Ярнышная (кут), губа Зеленецкая (Дальний пляж)] и Белого моря (губа Северная и губа Долгая Кандалакшского залива, губа Сорокская и губа Колежемская Онежского залива). Исследования проведены в августе 2009 и 2010 гг. Пробы отобраны по стандартным гидробиологическим методикам на литорали во время отлива. Солёность и температура воды измерены одновременно с отбором проб с помощью портативного рефрактометра и термометра. Гранулометрический состав грунта определён с помощью набора почвенных сит. При биологическом анализе определена длина раковины, рассчитана величина годового прироста длины раковины. Возраст определён подсчётом годичных колец, образующихся при зимней остановке роста и представляющих собой утолщённые линии нарастания. Линейный рост моллюсков *M. arenaria* аппроксимирован с помощью уравнения Бергаланфи. Линейная корреляционная зависимость рассмотрена с использованием непараметрического коэффициента корреляции Спирмена (r). Продукция моллюсков *M. arenaria* рассчитана для разовой выборки; удельная продукция определена как величина продукции, отнесённая к средней биомассе за один и тот же отрезок времени (P/B -коэффициент). Математические расчёты проведены с использованием программного пакета STATISTICA 10.0. Для определения характера линейного роста и анализа полученных данных всего обработано 106 раковин моллюсков.

В Белом море встречены моллюски от 3 до 14 лет. Исследования показали, что в Кандалакшском заливе Белого моря моллюски были представлены 10 возрастными классами, основную долю составляли моллюски в возрасте 7 лет (41,7 %) (в губе Северная) и 9 лет (26,7 %) (в губе Долгая); в Онежском заливе — 9 возрастными классами, преобладали моллюски в возрасте 6 лет (29,4 %) (в губе Сорокская) и 5 и 7 лет (по 25 %) (в губе Колежемская). В Баренцевом море по-

селения состояли из моллюсков в возрасте от 4 до 12 лет и делились на 9 возрастных классов. Основную долю составляли моллюски в возрасте 7 лет (30,4 %) (в губе Ярнышная) и 6 лет (37,0 %) (в губе Зеленецкая). Длина раковины моллюсков *M. arenaria* варьировала от 26,3 до 62,5 мм в Баренцевом море и от 14,9 до 91,5 мм в Белом. Средний прирост длины раковины моллюсков в губе Ярнышная составлял $(5,4 \pm 0,2)$ мм·год⁻¹, в губе Зеленецкая — $(4,9 \pm 0,2)$ мм·год⁻¹. В губе Северная и губе Долгая Кандалакшского залива прирост составлял $(6,4 \pm 0,2)$ и $(6,0 \pm 0,1)$ мм·год⁻¹ соответственно. В Онежском заливе средний прирост длины раковины в губе Сорокская был $(5,6 \pm 0,4)$ мм·год⁻¹, в губе Колежемская — $(4,2 \pm 0,1)$ мм·год⁻¹.

Максимальный прирост длины раковины составил 16,4 мм·год⁻¹ и отмечен у моллюсков в губе Зеленецкая Баренцева моря. В Белом море максимальный прирост составлял 14,5 мм·год⁻¹ у моллюсков в губе Северная Кандалакшского залива. Параметры уравнения Берталанфи, рассчитанные для этих моллюсков, были следующими: для губы Зеленецкая предельная (асимптотическая) длина раковины L_{∞} составила 118,49 мм, показатель возрастного замедления скорости роста k был равен 0,0566 год⁻¹; для губы Северная — 174,7 мм и 0,0721 год⁻¹ соответственно.

В результате определения гранулометрического состава грунта выявлены отличия местообитаний моллюсков по содержанию мелкодисперсных фракций. В губах Зеленецкая, Северная, Долгая и Сорокская содержание в грунте частиц размером менее 0,25 мм варьировало от 49,6 до 60,3 %. Моллюски имели здесь наибольшие значения предельной длины раковины L_{∞} . В губе Ярнышная и губе Колежемская наблюдалось сильное заиление с преобладающим содержанием в грунте мелких фракций — 71,0 и 76,7 % соответственно. Показатели линейного роста моллюсков здесь были самыми низкими: в губе Ярнышная предельная (асимптотическая) длина раковины L_{∞} составляла 84,27 мм, показатель замедления скорости роста k был равен 0,0721 год⁻¹; для губы Колежемская — 89,69 мм и 0,0650 год⁻¹ соответственно. Корреляционный анализ выявил сильные положительные связи между гранулометрическим составом грунта и предельной длиной раковины моллюсков ($r = 0,94$).

Очевидно, что для бентосных организмов, ведущих неподвижный образ жизни, важным фактором является характер грунта, однако наличие положительной корреляции между характером грунта и предельной длиной раковины моллюсков нельзя интерпретировать как прямое влияние. В нашем случае данные о гранулометрическом составе грунта на литорали могут косвенно характеризовать степень гидродинамики исследованных районов, что, вероятнее всего, определяет условия питания моллюсков. Так, губа Зеленецкая Баренцева моря, губы Долгая и Северная Кандалакшского залива и губа Сорокская Онежского залива, помимо схожего гранулометрического состава грунта, характеризуются наличием в кутовых частях пресных ручьёв, которые, вероятнее всего, выносят достаточное количество взвешенного органического вещества, необходимого для активного питания и роста моллюсков.

Величина годовой продукции в Баренцевом море в губе Зеленецкая была выше, чем в губе Ярнышная, и составляла 90,5 и 44,8 г·м⁻² соответственно; значения P/B-коэффициента — 0,35 в губе Зеленецкая и 0,14 в губе Ярнышная. В Белом море максимальная величина годовой продукции была получена для губы Долгая Кандалакшского залива, минимальная величина — для губы Колежемская Онежского залива (166,0 и 86,7 г·м⁻² соответственно); значения P/B-коэффициента — 0,17 и 0,40. Продукция моллюсков губы Северная Кандалакшского залива составляла 143,8 г·м⁻² (P/B-коэффициент — 0,27); губы Сорокская Онежского залива — 125,0 г·м⁻² (P/B-коэффициент — 0,20).

В результате наших исследований выявлено, что наибольшую скорость роста имеют моллюски губы Северная Кандалакшского залива Белого моря. Предельная длина раковины $L_{\infty} = 174,7$ мм, показатель замедления скорости роста $k = 0,0518$ год⁻¹. Наименьшими показателями скорости роста характеризуются моллюски губы Ярнышная Баренцева моря — $L_{\infty} = 84,27$ мм, $k = 0,0721$ год⁻¹. На скорость линейного роста моллюсков и прирост биомассы (продукцию) оказывают влияние гранулометрический состав грунта и разные гидрологические условия исследованных районов.

Особенности функционирования пищеварительной системы в симпатрических парах сигов рода *Coregonus*

Соловьев М. М.¹, Василенко В. А.¹, Кашинская Е. Н.¹, Бочкарев Н. А.¹, Шокурова А. В.¹,
Власенко П. Г.¹

¹Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

yarmak85@mail.ru

Coregonus lavaretus — широко распространённый в Северном полушарии вид, который образует в озёрах симпатрические пары, отличающиеся по типу питания. В Сибири подобные пары обитают в озёрах Телецкое (Республика Алтай) и Баунт (Республика Бурятия). В Телецком озере симпатрическая пара представлена малотычинковым (менее 30 тычинок на первой жаберной дуге) сигом-пыжьяном *C. l. pidschian* (бентофаг) и многотычинковым (в среднем 34 тычинки) сигом Правдина *C. l. pravdinellus* (планктофаг). В озере Баунт обитают три морфологически различные группы сигов: малотычинковый (в среднем 22 тычинки) сиг-пыжьян *C. l. pidschian* (бентофаг), многотычинковый (в среднем 33 тычинки) сиг *Coregonus* sp. (бентофаг) и баунтовская ряпушка *C. baunti* sp. nova (в среднем 43 тычинки) (планктофаг). Согласно одной из гипотез, кормовая база водоёма послужила ключевым фактором в морфологической адаптации данных форм/видов сигов к их типам питания. Однако остаётся невыясненной функциональная адаптация пищеварительных ферментов к данным типам питания.

Цель работы — провести сравнительный анализ ключевых биохимических параметров пищеварительных ферментов в желудочно-кишечном тракте сигов.

Сбор материала проводился на озере Телецкое (51°79'N, 87°26'E) в сентябре 2012 и 2017–2020 гг. и на озере Баунт в июле 2020–2021 гг. Сигов отлавливали ставными жаберными сетями (18–25 мм), затем в пластиковых контейнерах с водой доставляли в лабораторию. У живых особей желудочно-кишечный тракт немедленно извлекали и замораживали в жидком азоте для последующего анализа. Активности, pH и температурные оптимумы, а также кинетические характеристики основных групп пищеварительных ферментов (желудочные, панкреатические и пристеночные) определяли в желудке и кишечнике с пилорическими придатками. Изоферментный состав щелочных протеаз определяли только в кишечнике.

Нами не выявлено существенных различий в исследуемых характеристиках пищеварительных ферментов, кроме активности, между исследованными ситами. На примере сигов из озера Телецкое не обнаружено достоверных отличий в активности пепсина (желудок) и ферментов щёточной каймы энтероцитов кишечника. В то же время специфическая активность ключевых ферментов поджелудочной железы (трипсин, химотрипсин, липаза и амилаза) была достоверно выше у сига телецкого по сравнению с сигом Правдина.

Таким образом, на данном этапе работы можно констатировать, что основные биохимические отличия между сигом Правдина (планктофаг) и сигом телецким (бентофаг) заключаются в уровне активности панкреатических ферментов. Для всех исследованных сигов из озёр Телецкое и Баунт характерны сходные значения кинетических характеристик, pH и температурных оптимумов исследованных пищеварительных ферментов.

Работа поддержана Российским научным фондом, проект № 19-74-10054.

Распространение полихеты *Laonome хервоала* (Bick & Bastrop, 2018) в акватории Финского залива (Балтийское море)

Тамулёнис А. Ю., Стратаненко Е. А., Зуев Ю. А.

Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» имени Л. С. Берга), Санкт-Петербург, Россия

tamulyonis@yandex.ru

Впервые чужеродный вид полихет *Laonome хервоала* Bick & Bastrop, 2018 в Финском заливе был обнаружен в 2018 г. в Лужской губе в районе впадения рек Хаболовка и Луга. Показатели обилия *L. хервоала* здесь были следующими: численность варьировала от 80 до 2200 экз.·м⁻², биомасса — от 0,01 до 4,88 г·м⁻². В период гидробиологических исследований 2019–2020 гг. данный вид был отмечен уже в более восточных районах Финского залива (Выборгский залив, бухта Большая Пихтовая). Численность *L. хервоала* в Выборгском заливе в 2019 г. варьировала от 20 до 500 экз.·м⁻², в 2020 г. — от 20 до 280 экз.·м⁻², а биомасса — от 0,02 до 0,55 г·м⁻² в 2019 г. и от 0,02 до 0,61 г·м⁻² в 2020 г. [Тамулёнис и др., 2020]. Интересно, что оба эти района приурочены к крупным портам Финского залива — портам Высоцк и Усть-Луга, где в начале 2000-х гг. проводились активные работы по дноуглублению. Глубины встречаемости вида в пределах рассматриваемых районов Финского залива варьируют от 3 до 25 м; грунты представлены преимущественно мелким песком с растительными остатками и чёрными илами; придонная солёность не превышает 4 ‰.

В 2021 г. *L. хервоала* была обнаружена на более мористых участках Финского залива Лужской губы (глубина — 10–22 м; солёность — не более 5 ‰; грунты — чёрный ил), что говорит о её достаточно успешном и быстром расселении по акватории залива.

Можно предположить, что вселению *L. хервоала* в Финский залив (районы расположения рассматриваемых портов) способствовали проводимые в 2000-х гг. дноуглубительные работы с использованием голландской техники. Дальнейшее распространение полихеты по заливу, по всей видимости, направлено из районов расположения портовых сооружений морскими судами с балластными водами, остатками грунта на якорях и на гидротехнической технике.

Опыт использования спутниковой информации для изучения состояния популяций каспийских раков (*Astacidae*)

Ушивцев В. Б., Галактионова М. Л., Сеницына Т. А.

Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

v_ushivtsev@mail.ru

Космические технологии визуального наблюдения за поверхностью нашей планеты позволяют широко использовать получаемые данные для решения научных, производственных, чрезвычайных и прочих задач. Доступность и обновление космической информации дают возможность осуществлять мониторинговые исследования.

В современном Каспии, на всём его протяжении, на западном и восточном шельфе, на многих банках открытых частей моря можно встретить раков *Astacidae*. На восточном шельфе Среднего и Южного Каспия их скопления пригодны для промышленной эксплуатации. Наиболее многочисленны скопления раков в прибрежных водах на глубинах 5–15 м.

С экологической стороны состояние популяций раков является индикатором благополучия места их обитания. Астациды чувствительны к уровню загрязнений, и в местах морской нефтедобычи (районы Апшерона, Челекена, Кашагана) в настоящее время не обитают. С хозяйственной стороны раки — традиционный объект промысла и сырьё для деликатесной продукции.

Целью данной работы было изучение распространения и сравнительная оценка современного и прошлого (1970-е, 1990-е гг.) состояния популяций раков на восточном шельфе Каспийского моря в местах их массового обитания (прибрежные воды Казахстана в Среднем Каспии) с использованием данных космического мониторинга Каспийского моря.

В методическом плане для решения поставленных задач применялась космическая информация физиономического состояния донных отложений прибрежных мелководий, позволяющая выделить, различить и оценить полезные площади биотопов раков.

В качестве источника космической информации использовали программу Google Earth Pro.

Результаты современных исследований показали, что на обследованном участке ареала обитают два вида раков — длиннопалый рак *Pontastacus eichwaldi* (Bott) и толстопалый рак *Caspiastacus pachypus* (Rathke). Состояние астакофауны характеризуется тенденцией к увеличению численности *C. pachypus*. Ареал этого вида расширился в южном направлении на 60 км. Анализ полученных материалов свидетельствует о потенциальных биоресурсах в виде запасов раков.

Применение данных космических съёмок даёт возможность на основе контрастного различия физиономических особенностей донных отложений составить карты дна прибрежных мелководий (до глубин 15 м), обозначить на них участки, на которых располагаются рачьи биотопы, и оценить их площадь. Полученная информация позволяет быстро и качественно изучить состояние популяций раков, организовать рациональный промысел.

О влиянии соединений ванадия на фотосинтез фитопланктона

Хорошевская В. О.

ФГБУ «Гидрохимический институт», Ростов-на-Дону, Россия

vv.z2@yandex.ru

Рядом учёных было высказано предположение о том, что ванадий, наряду с железом, участвует в процессах фотосинтеза фитопланктона. Для подтверждения этой теории нами был проведён эксперимент на природной воде реки Дон, в котором исследовалось в том числе и влияние соединений ванадия на фотосинтез фитопланктона. В процессе эксперимента определялось содержание пигментов растений — хлорофиллов *a*, *b* и *c*. Хлорофилл *a* является основным пигментом и характерен для всех организмов, осуществляющих окислительный, то есть с выделением кислорода, фотосинтез. У зелёных и эвгленовых водорослей, кроме хлорофилла *a*, имеется хлорофилл *b*, содержание которого составляет от 1/4 до 1/5 от содержания хлорофилла *a*. Это дополнительный пигмент, расширяющий спектр поглощения света. У некоторых групп водорослей, в основном бурых и диатомовых, дополнительным пигментом служит хлорофилл *c*, а у красных — хлорофилл *d*. Основную роль в фотосинтетическом процессе играет хлорофилл *a*; все другие пигменты лишь передают поглощённую ими энергию хлорофиллу *a*. Соотношения между пигментами водорослей характеризуют также физиологическое состояние популяции фитопланктона. Высокое содержание хлорофилла *a* свидетельствует об интенсивной фотосинтетической деятельности фитопланктона, а уменьшение его содержания и повышение количества хлорофилла *c* указывают на затухание развития фитопланктонного сообщества. Таким образом, содержание хлорофилла *a* является важнейшей характеристикой фотосинтетической активности фитопланктона.

Эксперимент по изучению влияния соединений ванадия на фотосинтез фитопланктона проводили с 29.07.2014 по 04.08.2014, в лабораторных условиях при естественном освещении в стеклянных аквариумах вместимостью 10 л. Воду для экспериментов отбирали 28.07.2014 в р. Дон на участке, расположенном выше сбросов сточных вод, ниже водосброса гидроузла г. Константиновска. Географические координаты точки отбора — 47°56'86" с. ш., 41°09'91" в. д. Этот участок реки характеризуется отсутствием значительных содержаний ванадия, определяемых в течение 2012–2014 гг. В ходе эксперимента ванадий добавляли в воду в анионной форме в виде ванадата аммония NH_4VO_3 . В аквариумы вносили NH_4VO_3 в концентрациях 0,5; 5,0; 25,0; 100 $\text{мкг} \cdot \text{дм}^{-3}$ в расчёте на элемент V, что составляет соответственно 0,5; 5,0; 25,0; 100 ПДК ванадия в воде рыбохозяйственных водоёмов. В один из аквариумов, который служил контролем, ванадат аммония не добавляли. На второй (30.07.2014) и четвёртый день (01.08.2014) эксперимента определяли валовое содержание взвешенных и растворённых форм соединений ванадия и его растворённых форм.

При проведении анализа на определение ванадия было установлено, что валовое содержание соединений металла в каждом из аквариумов превышало количество внесённого в них ванадия. Это свидетельствует о том, что изначально в речной воде, отобранной для эксперимента, присутствовало незначительное (в пределах погрешности прибора) количество соединений ванадия. Определение валового и растворённого количества соединений ванадия 01.08.2014 показало, что в опыте 2 (5,0 $\text{мкг} \cdot \text{л}^{-1}$) и опыте 3 (20,0 $\text{мкг} \cdot \text{л}^{-1}$) различия между растворёнными и валовыми содержаниями были незначительными, в пределах погрешности измерения. В опыте 4 (100,0 $\text{мкг} \cdot \text{л}^{-1}$) количество растворённых соединений металла на 12 $\text{мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ (12 %) меньше, чем валовое содержание, что указывает на процесс абсорбции растворённых соединений ванадия фитопланктоном.

В ходе эксперимента с 29.07.2014 по 04.08.2014 ежедневно в каждом из опытов, включая контрольный, определялись хлорофиллы *a*, *b* и *c*. Концентрацию хлорофилла *a* определяли двумя методами — спектрофотометрическим и флуориметрическим. Спектрофотометрический метод основан на измерении оптической плотности ацетоновых экстрактов пигментов фитопланктона при разных длинах волн.

Для приготовления экстракта пробу воды фильтровали через мембранный фильтр с нанесённым на него слоем углекислого магния, осадок размельчали, пигменты экстрагировали 90%-ным раствором ацетона, с помощью центрифугирования из экстракта удаляли светорассеивающую взвесь. Оптическую плотность экстракта измеряли на спектрофотометре Spocol 211 при 430, 480, 630, 645, 663 и 750 нм относительно 90%-ного раствора ацетона.

Флуориметрический метод определения концентрации хлорофилла *a* основан на регистрации интенсивности люминесценции проб воды, которую измеряют на флуориметре «КВАНТ-5» вблизи $\lambda = 685$ нм при возбуждении её на трёх волнах — 410, 515 и 540 нм. Этот метод позволяет измерять концентрации хлорофилла *a* с распределением его по трём основным отделам водорослей (зелёные, диатомовые и синезелёные).

Анализ результатов показывает, что во всех опытах содержание хлорофилла *a* увеличилось по сравнению с контролем в основном на второй и третий день эксперимента, а в опыте 4 (100 ПДК ванадия) — только на третий день. Наиболее интенсивно по сравнению с контролем повышалось содержание хлорофилла *a* в течение трёх дней в опыте 1 (0,5 ПДК ванадия) и опыте 3 (25,0 ПДК ванадия).

Эта закономерность в основном подтверждается и значениями хлорофилла *a*, определёнными флуориметрическим методом. Повышение содержания хлорофилла *a* по сравнению с контролем на второй и третий день эксперимента, а в опыте 4 (100 ПДК ванадия) — только на третий день, характерно для синезелёных водорослей, вносящих основной вклад в содержание хлорофилла *a* как в контроле, так и в опытах. Содержание хлорофилла *a* диатомовых водорослей значительно возросло в опыте 2 (5,0 ПДК ванадия), опыте 3 (25,0 ПДК ванадия) и опыте 4 (100 ПДК ванадия) на четвёртый (кроме опыта 3) и пятый день эксперимента. Повышение по сравнению с контролем хлорофилла *c*, определённого спектрофотометрическим методом, с третьего по пятый день эксперимента фиксируется (кроме четвёртого дня) для опыта 1 (0,5 ПДК ванадия), опыта 2 (5,0 ПДК ванадия) и опыта 3 (25,0 ПДК ванадия). Для опыта 4 (100 ПДК ванадия) характерно превышения контроля в течение всего эксперимента. Поскольку хлорофилл *c* служит дополнительным пигментом диатомовых водорослей, повышение его содержания в опытах, по-видимому, больше свидетельствует об усилении фотосинтетической деятельности диатомового планктона, чем о затухании развития фитопланктонного сообщества. Это положение подтверждается данными по содержанию хлорофилла *a* диатомовых водорослей, определённому экспресс-методом — флуориметрическим. Хлорофилла *b* в опытных образцах обнаружено не было.

В целом полученные в ходе натурального эксперимента двумя методами данные по содержанию хлорофилла *a* и одним методом — хлорофилла *c* свидетельствуют о стимулирующей роли растворённого ванадия в концентрациях от 0,5 до 25,0 мкг·дм⁻³ (0,5–25,0 ПДК) на интенсивность фотосинтетической деятельности всего фитопланктонного сообщества [Хорошевская и др., 2015].

Оценка результатов применения различных методов определения индивидуального возраста *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846)

Хорошутина О. А.

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), Москва,
Россия

khoroshutina@vniro.ru

Rapana venosa (Valenciennes, 1846) — хищный брюхоногий моллюск, исходный ареал которого находится на Дальнем Востоке России; он вселился в Чёрное море в середине XX в. [Драпкин, 1953] и в настоящее время играет важную роль в экосистеме Чёрного моря. Для оценки динамики популяции вида-интродуцента и его пресса на экосистему большое значение имеет определение индивидуального возраста особей. Косьян, Антипушина [2011] применили для определения индивидуального возраста рапаны анализ содержания стабильных изотопов кислорода в карбонатах раковины и показали, что его результаты согласуются с подсчётом количества нерестовых меток (следует учитывать, что нерест рапаны начинается в среднем в 2 года [Чухчин, 1963], поэтому возраст = количество нерестовых отметок + 2 года). Тем не менее определение возраста по нерестовым меткам также бывает затруднено: у старых особей метки могут практически сливаться. Применяется и определение возраста по линиям прироста на крышечках, хотя ряд авторов считает, что отметки на крышечках не отражают годовую периодичность [Чухчин, 1963 ; Косьян, Антипушина, 2011]. Методика подсчёта индивидуального возраста по приростам на статолитах отработана на таких видах брюхоногих моллюсков, как *Buccinum undatum*, *Nassarius reticulatus*, *Neptunea antiqua* и др. [Hollyman, 2018].

В настоящей работе произведено сравнение результатов оценки индивидуального возраста *Rapana venosa* двумя методами — по линиям остановки роста (нерестовым отметкам) и по линиям прироста на крышечках. Также оценена возможность определения возраста по отметкам прироста статолитов без применения шлифовки.

Материал собран 27.02.2021 в российском секторе Чёрного моря, на территории заказника «Большой Утриш». Собрано свыше 100 экземпляров, для анализа отобрано 57 экз. 11 размерных классов с шагом в 5 мм. Произведён биологический анализ отобранных экз. (определены линейные размеры раковины и крышечки, масса особи и пустой раковины, пол). Подсчитывалось количество нерестовых отметок на раковине и линий прироста на крышечке (3 раза для каждого экз. с временным промежутком). Статолиты извлекались по следующей методике. Тело моллюска извлекалось из раковины и рассекалось в сагитальной плоскости. Из статоцистов, располагающихся вблизи pedalных ганглиев с дорсолатеральной стороны, извлекались статолиты, очищались от статолимфы и посторонних тканей и исследовались под проходящим светом. Также произведён анализ размерно-возрастной структуры выборки.

Анализ результатов определения возраста путём подсчёта нерестовых отметок и подсчёта отметок на крышечке показывает наличие средней/сильной корреляции между этими показателями ($r = 0,65...0,83$). При этом следует отметить, что часто подсчёт нерестовых отметок был затруднён из-за корродированности раковины; кроме того, крышечки возрастных особей могут плохо читаться.

Анализ согласованности оценок показал сильную корреляцию для нерестовых отметок ($r = 0,70 \dots 0,72$). Согласованность оценки возраста по крышечкам была средней ($r = 0,54 \dots 0,65$).

Произведена оценка применимости определения возраста по статолитам по упрощённой методике — под проходящим светом без шлифовки. Выборочное изучение нешлифованных статолитов показало, что наиболее чёткие кольца читаются и в целом статолите, однако для точной оценки возраста шлифовка необходима. Это затрудняет применение метода как полевого, хотя в целом он остаётся перспективным.

Анализ размерно-возрастной структуры показывает наличие внутривидовой изменчивости темпов роста моллюска, которая, скорее всего, связана с различиями в условиях обитания и в обеспеченности пищи в первые годы жизни (период интенсивного роста). Поэтому методика выделения размерных классов для определения возраста *R. venosa* слабо применима.

С учётом средней согласованности оценки возраста по крышечкам и плохой их читаемости у возрастных особей предпочтительным для *R. venosa* выглядит метод определения возраста по нерестовым отметкам. Подсчёт линий прироста на крышечках может использоваться как дополнительный метод. Перспективным выглядит и метод определения возраста по шлифованным статолитам.

Автор выражает глубокую признательность Михаилу Владимировичу Переладову за содействие и Александру Ежелю за помощь в сборе материала.

Реакция клеточной системы антиоксидантной защиты, кардиоактивности и двигательной активности створок беломорской мидии (*Mytilus edulis* Linnaeus, 1758) на краткосрочное понижение солёности воды

Чуйко Г. М.¹, Холодкевич С. В.^{2,3}, Шаров А. Н.¹, Кузнецова Т. В.², Куракин А. С.²

¹Институт биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина РАН, Борок, Россия

²Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН — Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург, Россия

³Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

gchuiko@ibiw.ru

Оценка состояния водных организмов и экосистем — одна из актуальных задач современных гидробиологии и экологии. Одним из наиболее развиваемых в настоящее время методов оценки является использование биомаркеров — морфофункциональных и молекулярно-генетических показателей организма гидробионтов. С этой точки зрения особенно перспективные биомаркеры — показатели состояния окислительного стресса (далее — СОС), кардиоактивности и двигательной активности створок двустворчатых моллюсков. Для того чтобы эффективно использовать с этой целью биомаркеры, необходимо знать диапазоны их изменчивости при действии природных и антропогенных факторов — гомеостатический (норма реакции), адаптивный и патологический [Чуйко и др., 2018]. В число природных факторов, с которыми морским двустворчатым моллюскам постоянно приходится сталкиваться и к которым приходится адаптироваться, входит изменение солёности. Это особенно актуально для моллюсков, обитающих в эстуарных зонах рек.

Цель работы — исследование реакции клеточной системы антиоксидантной защиты, кардиоактивности и двигательной активности створок беломорской мидии (*Mytilus edulis* Linnaeus, 1758) на краткосрочное понижение солёности воды.

Эксперименты проводились в климатической комнате Ресурсного центра СПбГУ при постоянной температуре воздуха ($10 \pm 0,5$) °С на моллюсках, которые были собраны с многолетних образцов искусственных субстратов, подвешенных в верхнем 3-метровом слое воды в бухте Круглая (губа Чупа, Кандалакшский залив Белого моря, N66.336°, E33.639°). Солёность воды в момент сбора — 26 ‰, температура — +12 °С. После доставки в лабораторию в изотермических контейнерах мидий адаптировали в течение 7 суток к экспериментальным условиям (постоянное освещение; искусственная морская вода 26 ‰, приготовленная с использованием соли BIO-ACTIF от компании Tropic Marin® и дистиллированной воды; температура воды +10 °С; аэрация на уровне насыщения).

Мидий одного размера помещали в 40-литровый аквариум, оборудованный проточной системой воды для быстрой замены и постоянной аэрацией. Солёность воды в эксперименте снижали до 13 ‰ путём слива 0,5 объёма морской воды и добавления 0,5 объёма дистиллированной воды. Длительность всего эксперимента составляла 270 мин: 30 мин — при солёности 26 ‰, 60 мин — 13 ‰, 180 мин — 26 ‰.

Для определения биохимических параметров СОС по 5 моллюсков отбирали в начале эксперимента и далее с интервалом 15 мин (30 мин для последних двух точек). Сразу после извлечения из воды их помещали в жидкий азот, где хранили до проведения биохимического анализа. Для анализа отбирали ткани пищеварительной железы и жабр. Их гомогенизировали, центрифугировали

и определяли показатели СОС — активность каталазы (далее — КАТ) и глутатион-S-трансферазы (далее — GST), содержание малонового диальдегида (далее — МДА). Более детально процедура определения описана ранее [Klimova et al., 2019].

Измерение частоты сердечных сокращений (далее — ЧСС) проводили индивидуально на каждой особи разработанным в НИЦЭБ РАН неинвазивным волоконно-оптическим методом, обеспечивающим многоканальную непрерывную длительную регистрацию ЧСС в режиме онлайн [Kholodkevich et al., 2017]. Анализ кардиоактивности и расчёт средних ЧСС проводили с помощью оригинального программного обеспечения VarPulse, которое позволяет осуществлять многоканальную обработку сигнала в реальном времени, включая адаптивную цифровую фильтрацию, передачу, визуализацию данных и их архивирование. Кардиоактивность и двигательную активность створок (далее — ДАС) регистрировали одновременно у 16 мидий.

Динамика ответа показателей СОС в обоих органах имела одинаковый характер. Понижение солёности воды вызывало быстрое повышение содержания МДА и GST и снижение активности КАТ, за которым следовало восстановление значений показателей до исходного уровня к концу периода экспозиции в низкой солёности. При возвращении к первоначальной солёности реакция исследованных показателей была различной. Содержание МДА медленно, прогрессивно повышалось, а активность GST после краткосрочного повышения снижалась до конца эксперимента. Динамика активности КАТ имела тот же характер, что и при понижении солёности.

Средняя ЧСС моллюсков отличалась у разных особей и составляла от 9 до 15 ударов в мин. Индивидуальные особенности кардиоактивности наблюдались в ходе всего эксперимента. При снижении солёности все моллюски реагировали первоначально небольшим (10–15 %) увеличением ЧСС, но после 30–45 мин, как правило, происходило снижение ЧСС до 5 ударов в мин. После возвращения к первоначальной солёности ЧСС мидий относительно быстро возрастала и уже через 10–15 мин была выше исходных значений в среднем на 20 %. Полное восстановление ЧСС наблюдалось через 30 мин, но у некоторых особей пульс восстанавливался только через 2 часа.

Раковины мидий при исходной солёности были открыты большую часть времени. Максимальное расстояние между створками составляло 11 мм. Наблюдалось периодическое, с интервалом 10–15 мин, кратковременное закрывание раковин на 1–2 мин. Сразу после понижения солёности все мидии закрыли раковины на весь период воздействия. При возвращении к исходной солёности все моллюски открыли раковины в течение 10–15 мин. После часового воздействия низкой солёностью характер движения створок практически не изменился по сравнению с первоначальным.

Таким образом, все исследованные показатели СОС, кардиоактивности и двигательной активности створок моллюсков реагируют на краткосрочное, двукратное по сравнению с исходным, снижение солёности воды. При этом значения показателей СОС повышаются (МДА, GST) или снижаются (КАТ), возвращаясь к первоначальным ещё при пониженной солёности, в то время как показатели ЧСС и ДАС в течение этого периода остаются на новом уровне. После восстановления исходной солёности значения показателей СОС либо прогрессивно и постепенно возрастают (МДА) или снижаются (GST), либо повторяют динамику, наблюдаемую при снижении солёности (КАТ). Показатели ЧСС и ДАС достаточно быстро возвращаются к первоначальным уровням.

Данная работа выполнена в рамках госбюджетной темы Министерства высшего образования и науки РФ № 121050500046-8.

Мониторинг показателей безопасности скумбрии японской

Чупикова Е. С., Ткаченко С. А., Борисенко Г. С., Ковековдова Л. Т., Попков А. А.

Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), Владивосток, Россия

tinro@vniro.ru

Здоровое питание и повышение качества пищевой продукции — приоритеты государственной политики РФ. В целях реализации Основ государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 г., утверждённых Президентом Российской Федерации 30.04.2012, и Экологической доктрины Российской Федерации, одобренной распоряжением Правительства Российской Федерации от 31.08.2002 № 1225-р, в соответствии с Федеральным законом от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» и ст. 42 Федерального закона «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов» для эффективного сохранения и устойчивого использования биологического разнообразия дальневосточных морей Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО») в рамках программы государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды) осуществляет сбор информации о качестве водных биоресурсов дальневосточных морей, используемых в качестве сырья для производства пищевой продукции.

Показатели безопасности рыбы как сырья для производства пищевой продукции регламентируются санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами, а также техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» и техническим регламентом Евразийского экономического союза ТР ЕАЭС 040/2016 «О безопасности рыбы и рыбной продукции».

Скумбрия японская (*Scomber japonicus*) как объект промысла российских рыбопромысловых и рыбоперерабатывающих судов вновь появилась в наших дальневосточных морях и в открытых водах северо-западной части Тихого океана в 2015 г. В настоящее время объёмы добычи этой рыбы увеличиваются и могут быть достаточно высокими в ближайшее время.

С учётом длительного отсутствия добычи скумбрии японской в промышленных масштабах и активного воздействия человека на среду её обитания и нереста мониторинг показателей безопасности скумбрии японской как промыслового объекта и сырья для производства пищевой продукции особенно актуален и являлся целью наших исследований.

Для реализации поставленной цели были решены следующие задачи:

- определить содержание токсичных элементов (As, Cd, Pb, Hg) в мышечной ткани скумбрии японской;
- определить присутствие N-нитрозаминов, пестицидов, полихлорированных бифенилов и радионуклидов цезия и стронция в мышечной ткани скумбрии японской.

Объектом исследований являлась скумбрия японская *Scomber japonicus*, выловленная в Южно-Курильской промысловой зоне и в Тихоокеанской подзоне Северо-Курильской промысловой зоны в путины в 2014–2019 гг.

В результате исследований установлено количественное содержание мышьяка, кадмия, ртути и свинца в сырой мышечной ткани скумбрии японской, выловленной в Южно-Курильской промысловой зоне и в Тихоокеанской подзоне Северо-Курильской промысловой зоны в летнее-осенний период промысла в 2014–2019 гг. Мониторинг токсичных элементов показал, что в скумбрии япон-

ской, выловленной в Южно-Курильской промысловой зоне и в Тихоокеанской подзоне Северо-Курильской промысловой зоны в путины в 2014–2019 гг., их содержание значительно ниже предельно допустимых уровней.

В связи с событиями на АЭС «Фукусима-1» большое внимание уделялось мониторингу радиационного загрязнения водных биоресурсов. Известно, что авария не оказала существенного влияния на радиационное заражение сайры и других рыб, добываемых в этом районе. Тем не менее мониторинг содержания радиологических показателей рыбного сырья в этом районе остаётся актуальным. Исследования содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в скумбрии японской, выловленной в 2014, 2015, 2016 и 2017 гг., показали, что уровни содержания цезия-137 находились в пределах от 0,28 до 1,18 Бк·кг⁻¹, а стронция-90 — от 0,28 до 0,60 Бк·кг⁻¹ сырой массы. Полученные величины значительно ниже допустимых уровней радионуклидов, регламентируемых санитарными нормами Российской Федерации (130 Бк·кг⁻¹ для цезия-137; 100 Бк·кг⁻¹ для стронция-90) и техническим регламентом Таможенного Союза ТР ТС 021/2011 [Чупикова, 2019]. Мониторинг радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в скумбрии японской, выловленной в 2018 и 2019 гг., показал, что их содержание находится на прежнем уровне и не представляет опасности при использовании рыбы в пищу.

Кроме токсичных элементов и радионуклидов, водные биологические ресурсы могут аккумулировать другие находящиеся в воде опасные для здоровья вещества, в том числе пестициды, нитрозамины и полихлорированные бифенилы. Они являются опасными токсикантами для окружающей среды и здоровья человека из-за своей стойкости и способности к биоаккумуляции.

По полученным данным установлено, что ни в одном из исследованных образцов скумбрии, добытой в Южно-Курильской зоне и в Тихоокеанской подзоне Северо-Курильской зоны в разные годы, не обнаружено содержание изомеров гексахлорциклогексана (α -, β -, γ -ГХЦГ), N-нитрозаминов и полихлорированных бифенилов.

Данные мониторинга содержания метаболитов дихлордифенилтрихлорметилметана (ДДТ): дихлордифенилдихлорэтилена (ДДЕ) и дихлордифенилдихлорэтана (ДДД) — в мышечной ткани скумбрии японской, выловленной в Южно-Курильской промысловой зоне и в Тихоокеанской подзоне Северо-Курильской промысловой зоны, свидетельствуют, что их максимальная концентрация наблюдалась в 2016 г. Тем не менее количество ДДТ и его метаболитов в мышечной ткани скумбрии находится значительно ниже предельно допустимого уровня.

Таким образом, проведённые исследования показателей безопасности скумбрии японской, добытой в Южно-Курильской промысловой зоне и в Тихоокеанской подзоне Северо-Курильской промысловой зоны в путины 2014–2019 гг., в рамках реализации программы государственного мониторинга водных биоресурсов продемонстрировали, что скумбрия японская «нового производства» соответствует современным требованиям безопасности, установленным нормативно-правовыми актами Российской Федерации, и может быть использована в качестве ценного сырья для производства пищевой продукции, которая отвечает современным требованиям безопасности.

Активность некоторых ферментов энергетического обмена, Na^+/K^+ -АТФазы и содержание кортизола у молоди горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walb.) при переходе из пресной среды в морскую

Чурова М. В., Шульгина Н. С., Крупнова М. Ю., Кяйвярйянен Е. И., Рендаков Н. Л.,
Мурзина С. А., Немова Н. Н.

Институт биологии — обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

mchurova@yandex.ru

Смолтификация — генетически запрограммированный процесс, при котором лососевые рыбы, живущие в пресной воде, претерпевают ряд физиологических изменений для дальнейшей миграции в море и обитания в условиях повышенной солёности. В то время как у большинства лососёвых период до наступления смолтификации может продолжаться до нескольких лет, молодь горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walb.) мигрирует в море непосредственно после выхода из грунта в состоянии малька, оставляя сравнительно мало времени для смолтификации. Биохимические механизмы, обеспечивающие при этом перестройку метаболических процессов у горбуши, изучены до сих пор недостаточно. Известно, что процессы адаптации рыб к изменению солёности среды, опосредованные глюкокортикоидными гормонами, такими как кортизол, включают изменения в осморегуляторной системе и перераспределение энергетических ресурсов. Целью настоящей работы было изучение активности ферментов энергетического и углеводного обмена (цитохром-с-оксидазы, ЦО; лактатдегидрогеназы, ЛДГ; глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы, Г-6-ФДГ; 1-глицерофосфатдегидрогеназы, 1-ГФДГ; альдолазы), Na^+/K^+ -АТФазы и содержание кортизола у личинок и смолтов горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walb.) при изменении солёности в краткосрочном аквариальном и долгосрочном садковом экспериментах.

Для достижения цели были поставлены два эксперимента по изучению адаптивных возможностей молоди горбуши к смене солёности среды на ранней стадии (личинки, вышедшей из гнезда) и смолтов в период ската. Первый (краткосрочный) эксперимент был направлен на исследование устойчивости личинок горбуши к переносу в морскую воду и пластичности реакции при возврате в пресную. Во втором (длительном) эксперименте в сравнительном аспекте изучали биохимические адаптации смолтов на разных по солёности участках их покатной миграции — в реке, эстуарии и море.

В краткосрочном эксперименте установлено снижение активности ЦО, ЛДГ, 1-ГФДГ и альдолазы уже в первый час после переноса личинок в морскую воду. Развитие устойчивости к повышенной солёности у молоди горбуши сопровождается активацией Na^+/K^+ -АТФазы через 1 и 24 ч пребывания в морской воде и повышением содержания кортизола через 1 ч данной экспозиции с последующим возвращением к исходному уровню через 24 ч. В длительном эксперименте показано, что у смолтов, выдержанных в эстуарии и в море, в отличие от особей из реки установлены низкие уровни активности 1-ГФДГ и альдолазы, высокий уровень Na^+/K^+ -АТФазы. Отсутствие изменений в активности ЛДГ на фоне снижения активности ЦО свидетельствует о том, что, по-видимому, у исследуемой молоди горбуши происходит перераспределение углеводов между реакциями аэробного и анаэробного обмена в пользу анаэробного синтеза АТФ. Изменений в активности фермента пентозофосфатного пути — Г-6-ФДГ — как у личинок, так и у смолтов по сравнению с особями, выдержанными в пресной воде, установлено не было.

Полученные в ходе проведённых экспериментов результаты демонстрируют, что метаболические перестройки, связанные с увеличением солёности воды, свойственны молоди горбуши уже на стадии личинки. Использование анаэробного пути синтеза АТФ и поддержание функционирования пентозофосфатного пути, увеличение активности Na^+/K^+ -АТФазы и содержания кортизола, а также пластичность регуляции этих процессов являются, по-видимому, одним из механизмов биохимической адаптации молоди горбуши к резкой смене солёности среды обитания, что необходимо для подготовки молоди горбуши к покатной миграции в море.

Исследование финансировалось из средств государственного бюджета, выделенных для выполнения госзадания КарНЦ РАН № 0218-2019-0076.

Исследования выполнены на оборудовании Центра коллективного пользования КарНЦ РАН.

Активность каталазы в листьях *Iris pseudacorus* L. в условиях осмотического стресса

Шахматова О. А.¹, Павшенко Д. А.¹, Матяш А. О.²

¹ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

²Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, Симферополь, Россия

oshakh@gmail.com

Iris pseudacorus L. — редкий вид флоры, занесённый в Красную книгу города Севастополя. *I. pseudacorus* является гигрофитом, способным произрастать в широком спектре засоления почвы. Данное исследование направлено на выявление адаптационных механизмов вида к изменяющимся условиям засоленности.

Фермент каталаза (К.Ф. 1.11.1.6) — один из основных неспецифических ферментов антиоксидантного комплекса, обеспечивающих устойчивость живой системы к патогенным и абиотическим стрессам.

Сведения об активности каталазы (далее — АК) *I. pseudacorus* отсутствуют. В связи с этим нами была поставлена цель — изучить АК в листьях *I. pseudacorus* на участках устья р. Чёрной, отличающихся уровнем концентрации в почве ионов натрия и хлора, чтобы охарактеризовать её отклик на различный уровень засоления.

Популяцию *I. pseudacorus* изучали на различном удалении от морского устья. В соответствии с этим были выделены 4 учётные площадки, отличающиеся степенью приближённости к морскому устью и, соответственно, уровнем засоленности. На каждой из исследуемых площадок был осуществлён отбор проб почвы, в которых были определены такие показатели, как влажность, электропроводность, рН, концентрация ионов Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , а также сумма карбонатов и активная известь. Отбор проб осуществляли в летний и осенний сезоны 2020 г. Определение АК ириса проводили по методу Баха и Зубковой на частях листьев растений в период вегетации.

Изучение состава почвы показало, что содержание натрия и хлора на площадке, расположенной ближе всего к морскому руслу, в 7 раз выше, чем на других исследуемых площадках, что свидетельствует о засолении здесь почвы. Это подтверждается и повышенной концентрацией калия (значение достигало $116,5 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$). Высокое содержание солей в почве ингибирует ростовые процессы растений на этой площадке, что отражается на их габитусе. Растения на данном участке имели угнетённый вид, их ростовые характеристики были ниже нормы, побеги были обезвоженными, плоды с нежизнеспособными семенами.

Было установлено, что на всех исследуемых площадках реакция почвы нейтральная, но тяготеющая к щелочной, что обуславливает повышенную карбонатность почвы. Это подтверждается количественным содержанием активной извести (8–10 %) и суммарным значением карбонатов (17–19 %), негативно влияющих на рост растений и приводящих к их угнетению, так как блокировка карбонатами многих макро- и микроэлементов нарушает баланс потребления питательных веществ и способствует более активному проявлению хлора. Фосфор, азот и магний были определены в следовых количествах. Концентрация калия и кальция как основных элементов составляла $24,5\text{--}79,8 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$, что считается достаточным для нормального развития растений. Полученные данные о содержании калия, натрия и хлора на всех исследуемых площадках позволяют сделать вывод, что *I. pseudacorus* произрастает в условиях натрий-хлоридного либо калий-хлоридного засоления почвы.

При исследовании АК *I. pseudacorus* обнаружено, что в летний сезон АК растений, произрастающих на площадке 1, была в 1,5–4 раза ниже, чем на площадках 2, 3 и 4, и составляла $(0,225 \pm 0,01)$ мкг $\text{H}_2\text{O}_2 \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}$. На площадках 2, 3 и 4 в летний сезон АК ириса достигала величин 0,825–0,866 мкг $\text{H}_2\text{O}_2 \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}$. Поскольку площадка 3 характеризуется оптимальным составом почвы и влажности, можно предположить, что значения АК 0,8–0,9 мкг $\text{H}_2\text{O}_2 \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}$ определяют её нормальное функционирование. Обнаруженное снижение АК ириса на площадке 1, почва которой характеризуется более высоким уровнем засоления, чем другие исследуемые площадки, может свидетельствовать об угнетении метаболических процессов при избытке ионов натрия и хлора. Растения, произрастающие на данном участке, пребывают в состоянии затяжного метаболического стресса, что вызывает истощение защитной антиоксидантной системы. Кроме того, выявлена обратная зависимость уровня активности каталазы от степени электропроводности почвенного раствора. Связь между активностью каталазы и удельной электропроводностью описывается коэффициентом корреляции ($R = -0,97$ при $p < 0,05$).

Отмечено, что значения АК *Iris pseudacorus* L. поздней осенью на площадках 1 и 3 составляли 0,896–0,996 мкг $\text{H}_2\text{O}_2 \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}$, а на площадках 2 и 4 — 1,51–1,58 мкг $\text{H}_2\text{O}_2 \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}$, что в 1,2–3,4 раза выше, чем летом. Это можно объяснить влиянием температурного фактора (в частности, известно увеличение АК при сезонном понижении температуры у макрофитов).

Таким образом, установлено, что засоление почвы вызывает ингибирование АК *Iris pseudacorus* L. Выявлено снижение АК ириса в 1,1–4 раза на засоленных участках почвы по сравнению с менее засоленными, при этом отмечено увеличение АК ириса в 1,2–4 раза в осенний сезон по сравнению с летним.

Работа подготовлена в рамках государственного задания ФИЦ ИНБЮМ № 121030100028-0.

Элементный состав желчи пресноводных костистых рыб из разнотипных озёр Сибири

Шокурова А. В.^{1,2}, Соловьев М. М.¹, Кашинская Е. Н.¹, Бочкарев Н. А.¹, Власенко П. Г.¹

¹Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

anastasya.shokurova@mail.ru

Желчь — сложный секрет печени, который играет важную роль в эмульгировании липидов, поступающих с пищей, для дальнейшего гидролиза липазой. К тому же желчь за счёт желчных кислот, белков, а также макро- и микроэлементов, входящих в её состав, способна формировать уникальную физико-химическую среду, которая может регулировать уровень активности пищеварительных ферментов и влиять на состав энтеральной микробиоты. Несмотря на важность элементного состава желчи для понимания функционирования пищеварительной системы, в литературе данный параметр представлен фрагментарно, как и факторы, оказывающие влияние на формирование этого состава, а следовательно, и на физиологию пищеварения рыб.

Цель данного исследования: 1) определить элементный состав желчи некоторых видов рыб из разнотипных озёр Сибири; 2) выявить основные факторы, оказывающие влияние на элементный состав желчи исследуемых видов рыб.

Всего было отобрано 300 особей 15 различных видов рыб (*Carassius gibelio*, *C. carassius*, *Leuciscus idus*, *L. leuciscus*, *Sander lucioperca*, *Perca fluviatilis*, *Cyprinus carpio*, *Esox lucius*, *Rutilus rutilus*, *Abramis brama*, *Lota lota*, *Gymnocephalus cernua*, *Coregonus lavaretus pidschian*, *C. l. pravdinellus*, *C. baunti* sp. nova) из 3 водоёмов (озёр Чаны, Телецкое и Байн). С помощью эмиссионной спектрофотометрии с индуктивно-связанной плазмой было определено 28 химических элементов, включая 6 макроэлементов (Ca, K, Mg, Na, P, S) и 22 микроэлемента (Al, As, Ba, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sr, Ti, Tl, V, Zn).

Макроэлементы вне зависимости от вида, типа питания и местообитания рыбы находились в наибольших концентрациях относительно других элементов и изменялись в следующих диапазонах: Na — от $(32344,4 \pm 612,7)$ до $57111,1$ мг·кг⁻¹ сухой массы; S — от $(24420,1 \pm 1090,2)$ до $(46279,6 \pm 844,6)$; Ca — от $(1973,0 \pm 51,9)$ до $(3397,5 \pm 287,7)$; K — от $(1877,9 \pm 89,0)$ до $(9678,1 \pm 2690,6)$; Mg — от $(251,1 \pm 11,2)$ до $(1001,0 \pm 164,3)$; P — от $(51,0 \pm 25,3)$ до $(3092,2 \pm 959,1)$ мг·кг⁻¹ сухой массы. Среди 22 изученных микроэлементов Cu, Li и Sr были обнаружены в желчи абсолютно всех исследуемых видов, в то время как Cd, Mo и Tl у большинства рыб отсутствовали. Статистический анализ полученных данных позволил сделать вывод о достоверном влиянии на элементный состав желчи таких факторов окружающей среды, как тип питания, местообитание, сезон и год.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-74-10054.

Изучение процессов роста у черноморских видов двустворчатых моллюсков в прибрежных биоценозах Севастополя и южного берега Крыма

Щербань С. А.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

shcherbansa@yandex.ru

Для разных видов двустворчатых моллюсков, обитающих в прибрежных биоценозах, характерна разная скорость аллометрического роста, соотношения объёма и веса раковины, межстворочной жидкости и массы тканей. Морфометрические методы оценки роста, на наш взгляд, должны дополняться физиологическими и биохимическими параметрами. К ним относятся величины содержания суммарных фракций рибонуклеиновых кислот (далее — сум. РНК), содержание белка, ростовые индексы РНК/ДНК и РНК / сырая масса.

Основные цели работ данного направления: 1) изучение размерно-возрастных, половых и фенотипических особенностей тканевого роста (соматического и генеративного) у массовых видов двустворчатых моллюсков в условиях их естественного обитания; 2) мониторинговые исследования линейного, общего весового, соматического и генеративного роста мидий на протяжении годовых циклов в биоценозах морских акваторий Крыма; 3) изучение тканевой специфики роста у моллюсков в экспериментальных условиях, при создании параметров внешнего стресса.

Работы выполнялись на молодых видах, на взрослых особях разных размерно-возрастных групп, собранных одновременно на одном полигоне. Период исследований — с 1987 по 2018 г. Районы взятия проб: прибрежные акватории г. Севастополя — бух. Казачья, бух. Стрелецкая, бух. Карантинная; районы ЮБК — бух. Ласпи и Голубой залив (пос. Кацивели). В большинстве работ полученные данные характеризовали уровень «мгновенных скоростей роста» тканей моллюсков в период их жизненного цикла (период относительно стабильного роста, покоя, период подготовки к нересту).

Наибольшее количество исследований проведено на черноморской мидии в период 1987–2008 гг. Одно из первых из них имело целью установление корреляций между сырой, сухой массой, содержанием белка, сум. РНК и ростовым индексом РНК/ДНК у мидий в процессе роста в аквариальных системах, с учётом параметров внешней среды (эксперимент, 30 суток). Отмечено увеличение общих масс, значений содержания белка, сум. РНК, сырой и сухой массы к концу эксперимента. Рассчитывались уравнения регрессии — зависимости значений индекса РНК/ДНК от содержания белка в сухой и сырой массе тканей. Коэффициенты корреляции ($r = 0,78$; $r = 0,82$) свидетельствовали о наличии положительной связи. Мониторинг линейного, весового, соматического и генеративного роста мидий из бухт Ласпи и Казачья проводили в период 1987–1989 гг. с целью оценки роста при разных условиях на протяжении годового цикла. Анализ выявил более интенсивный прирост популяции из бух. Ласпи, а данные по сухому веществу констатировали синхронность процессов гаметогенеза в популяциях в обеих бухтах.

Целью ряда исследований было установление особенностей репродуктивного синтеза у самцов и самок мидий, относящихся к разным морфам [чёрная, коричневая, смешанная (чёрно-коричневая) и редкая («альбиносы»)] на разных стадиях подготовки к нересту. Материал получали весной 1998, 2005 и 2007 гг. с коллекторов в бухтах Казачья и Ласпи. Максимальные величины сум. РНК и РНК/ДНК зарегистрированы на стадии вымета; уровень синтеза в гонадах аналогичных

стадий одинаков у всех морф. С высокой достоверностью данных ($p < 0,01$) определён фенотип депигментированной морфы («альбиносы») с высоким уровнем синтеза. Детально изучались особи чёрного фенотипа, как наиболее многочисленная фенотипическая группа в популяции. Определялось содержание РНК и ДНК в половых продуктах самцов и самок мидий этой морфы как в условиях природного нереста, так и при его температурной стимуляции. Результаты показали, что содержание нуклеиновых кислот возрастает по мере их созревания, достигая максимума на стадии нереста. В условиях природного нереста активность синтеза белка увеличивалась в среднем в 2–3 раза по мере созревания гонад и не различалась у двух полов. В простимулированных гонадах синтез у самцов в 2,1 раза выше, чем у самок.

С 2005 по 2018 г., с интервалами в несколько лет, исследовали соматический рост черноморской анадары в природной среде, а также специфику тканевого синтеза при дефиците пищи и аноксии. В разные годы изучались одни и те же три размерно-возрастные группы (длина раковины 14–17, 18–23 и 23–28 мм). Моллюсков брали из акватории устричной фермы в Голубом заливе и бух. Карантинная. Исследовали жабры, ногу, гепатопанкреас и реже мантию. Результаты показали, что высокая активность тканевого роста у анадары свойственна жабрам всех групп и мантии мелкоразмерных особей, причём его уровень у всех групп приблизительно одинаков. Отмечен стабильно низкий уровень биосинтеза в ткани ноги (ниже, чем в жабрах, в 2,2–3,0 раза; ниже, чем в печени, в среднем в 2,2 раза). К экспериментальной категории работ относились исследования белкового анаболизма в тканях анадары в условиях дефицита пищи и аноксии. Работы выполнялись на взрослых особях осенью 2006 и 2007 гг. В опытах содержание РНК в мантии фактически не менялось. Жабры реагировали на аноксию наиболее активно — снижением всех показателей: сум. РНК и РНК/ДНК — в среднем в 1,7–3,4 раза, содержанием белка — в 1,3 раза. В гепатопанкреасе уровень сум. РНК и свободных нуклеотидов даже возрастал (в 1,5 раза).

В 2008–2009 гг. изучалась популяция диплоидных и триплоидных линий устриц на коллекторах фермы в пос. Кацивели. Оценивалась скорость роста молоди (спат 2 месяцев, при длине 6,5 мм) с целью выявления наиболее быстрорастущих линий разной плоидности. Проводился мониторинг биохимических параметров, динамики сухого вещества у обеих линий спата в процессе роста в садках (5, 9, и 11 месяцев со дня посадки). Результаты показали, что в первые 5 месяцев интенсивность роста у триплоидных форм достоверно выше и сохраняется такой до года, а процесс роста у обеих линий характеризуется скачкообразностью.

В последние два-три года исследования направлены на исследование малоизученного для Крыма краснокнижного вида — черноморского гребешка. В ноябре 2018 и 2019 гг. моллюсков отбирали из акватории фермы в бух. Карантинная. Брали особей трёх групп — с длинами 13–17 и 21–24 мм (сеголетки), а также 25–30 мм (однолетки и старше). Проводился анализ линейных характеристик, величин общих масс, доли мягких тканей, биохимических показателей. Для всех групп получены прямые зависимости между общей массой и массой тканей с коэффициентами $r = 0,97$; $r = 0,82$; $r = 0,8$; это свидетельствовало о положительной аллометрии тканевого роста. Также сравнительные аспекты линейно-весовой аллометрии и тканевого роста анализировались на молоди анадары и гребешка. Для обоих видов получены корреляции весовых и линейных параметров с высокими коэффициентами ($r = 0,74$ и $r = 0,85$). Показатели содержания мягких тканей близки у молоди обоих видов: для гребешка — 18,5 %, для анадары — 19,0 %. Результаты свидетельствовали о том, что синтез белка тканей у анадары в 2,1–2,2 раза выше, чем у гребешка; в целом уровень соматического роста у молоди анадары можно оценить как высокий, а у гребешка — как средне-низкий.

Таким образом, по результатам многолетних исследований на онтогенетических группах мидий, анадары, устриц и гребешка установлено, что скорость линейного, весового и тканевого роста значительно отличается. К видам с высокими показателями роста отнесены мидии и устрицы, с самыми низкими — черноморский гребешок. Исследования на молоди устриц и анадары из естественных биоценозов свидетельствовали о более высоком уровне соматического роста у этих видов по сравнению с молодью гребешка.

Изменение белкового профиля плазмы крови японской медаки *Oryzias latipes* под влиянием гуминовой кислоты

Юрченко В. В.¹, Морозов А. А.¹, Кирюхин Б. А.²

¹Институт биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина РАН, Борок, Россия

²Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

victoria.yurchenko@rambler.ru

Во всех естественных водных объектах гумусовые вещества (гуминовые и фульвокислоты) являются основным компонентом растворённого органического вещества [Steinberg et al., 2003]. Наиболее значимые источники поступления гумусовых веществ в водные объекты — болота и заболоченные земли. Последние занимают более 20 % территории России [Вомперский и др., 2005 ; Sirin et al., 2017]. Существенная часть водных объектов питается болотными водами. Структурные компоненты гумусовых веществ способны проходить через биологические мембраны и взаимодействовать с внутриклеточными структурами [Wang et al., 1999 ; Beer et al., 2000 ; Nardi et al., 2002]. На сегодняшний день не вызывает сомнений то, что гумусовые вещества являются экологически значимым фактором, «движущей силой» как на уровне организма, так и на уровне водной экосистемы в целом [Steinberg, 2013].

Цель работы — исследование изменения протеома плазмы крови тест-объекта при действии гуминовой кислоты в остром опыте. Взрослых особей японской медаки *Oryzias latipes* (возраст — 42–44 недели; масса — $(0,48 \pm 0,06)$ г) содержали в воде с номинальными концентрациями гуминовой кислоты 0 (контроль), 5, 40 и 80 мг·л⁻¹ в течение 96 часов, при температуре (25 ± 1) °С и 16-часовом фотопериоде. В эксперименте был использован коммерческий препарат гуминовой кислоты (Sigma-Aldrich 53680). Ежедневно производили смену 50 % объёма воды. Плотность посадки не превышала 0,5 г·л⁻¹. Рыб кормили 4 раза в день сухим кормом TetraMin Mini Granules с помощью автокормушек и 2 раза в день живым кормом *Artemia nauplii* вручную.

По окончании эксперимента последовательно к каждой особи применяли анестезию препаратом MS-222 (100 мг·л⁻¹), отсекали хвостовой стебель, механическим дозатором с гепаринизированным наконечником отбирали кровь из хвостовой вены/артерии. Порцию крови от каждой рыбы вносили в отдельную пробирку с гепаринизированным физраствором. Пробирки центрифугировали, равные количества плазмы от 4 самцов и 4 самок из одной группы объединяли в суммарную пробу. Пробы плазмы замораживали и хранили в жидком азоте.

Протеомный анализ проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием после гидролиза белков трипсином с использованием фильтров STrap. Идентификацию белков осуществляли при помощи программы MaxQuant v. 1.6.3.4 с использованием поискового алгоритма Andromeda. Для идентификации белков использовали базу данных UniProt (Swiss-prot и TrEMBL) – *Oryzias latipes* (Feb. 2021). Белки рассматривались в качестве достоверно идентифицированных, если для них было обнаружено по крайней мере два пептида. Относительное количество белков рассчитывали методом безметковой количественной оценки (label-free quantitation, LFQ).

В пробах плазмы крови медаки было достоверно идентифицировано 164 белка. Подавляющее большинство обнаруженных белков плазмы характеризовалось отрицательной регуляцией даже при наименьшей силе фактора (5 мг·л⁻¹): отмечалось уменьшение относительного количества белков, участвующих в полимеризации белков, синтезе креатинфосфата (высокоэнергетическо-

го соединения), гомеостазе холестерина, метаболизме углеводов, свёртывании крови, активации разных стадий системы комплемента (иммунном ответе). Положительная регуляция была обнаружена для ряда белков, участвующих в связывании ионов кальция, транспорте жиров, метаболизме липопротеинов, протеолизе, адгезии клеток.

Гуминовая кислота представляет собой сложное полидисперсное вещество. Этим объясняются её высокая реакционная способность и значительный потенциал к включению в различные пути метаболизма и изменению регуляции белков.

Исследование проведено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 20-76-00030).

Протеомный анализ проб выполнен в ЦКП «Протеом человека» (ИБМХ, г. Москва).

Авторы выражают благодарность В. Г. Згоде и О. В. Тихоновой (ИБМХ), Р. А. Фёдорову и Д. А. Филиппову (ИБВВ РАН), а также Л. Г. Бакиной (СПб ФИЦ РАН) за помощь в проведении исследования.

Directed Cell Growth and Its Consequences in the Green Filamentous Alga *Ulothrix zonata* (F. Weber & Mohr) Kützing

Natyaganova A. V., Mincheva E. V., Bukin Yu. S., and Kulakova N. V.

Limnological Institute Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

avn61@mail.ru

Green filamentous alga *Ulothrix zonata* (F. Weber & Mohr) Kützing is widespread in the coastal zone of clean, well-aerated freshwater bodies, forming dark or yellow-green fouling on various submerged objects: stones, driftwood, waterworks, boat bottoms, etc. This representative of macrophytobenthos is one of the most studied members of the genus with a well-established development cycle. In Lake Baikal, *U. zonata* begins to develop in the coastal zone on the lower surfaces of ice hummocks in April [Bondarenko et al., 2009]. When the ice cover is melted, mass vegetation of these algae develops along the entire coast of the lake at depths of 0–1.5 m, forming *U. zonata* vegetation belt [Meyer, 1930]. However, in the last decade, the intensive blooms of *U. zonata* were reported in the lake in March at depths of 3–5 m near the source of the Angara River where there is no ice cover. The earlier development of these algae is associated with the intensive development of tourism in the village of Listvyanka [Kravtsova et al., 2013]. Based on the taxonomic analysis, there are only two varieties of ulothrix in Lake Baikal: *U. zonata* and *U. zonata* var. *zonata* [Izhboldina, 2007]. Carrying out the morphological identification of the samples collected during the expedition, we found a previously undescribed directed cell growth (tropism) in ulothrix filaments. We describe this principal biological process for the first time in our study.

Samples of *U. zonata* thalli were collected from boulders in the coastal splash zone of Lake Baikal at depths of 0–1 m during the expeditions in June 2020 and March 2021. For the comparison analysis, samples were collected in the Angara River: in the lower reaches of the Irkutsk hydroelectric power station and in one of the bays in Irkutsk (near Akademgorodok), and in the tributary of Ida River (near the Tikhonovka village in 100 km from Irkutsk). For light microscopy, temporary cytological slides were prepared by vital staining of ulothrix thalli in aceto-orcein. Also, thalli fixed in alcohol were stained in acetoorcein and hematoxylin. Samples were analyzed using an Olympus CX23 LED microscope with a TouPCam 9.0 MP digital camera, equipped with photo documentation. The species identification of the samples was carried out according to Moshkova, Gollerbakh [1986], and Izhboldina [2007]. According to the taxonomic description, this alga forms long (up to several decimeters), straight or variously curved, green or yellow-green filaments of uniseriate closely adherent cells. Typical vegetative cells (11 to 83 microns wide) of this species are cylindrical or barrel-shaped. Chloroplasts are girdle-shaped, encircling the cell, with several large pyrenoids. In our study, morphological changes in the form of protrusion and cone-shaped elongations of the transverse walls directed to neighboring empty or degenerating cells were detected in vegetative cells of filaments in all ulothrix samples by microscopy. In most cases, we could detect two cells forming protrusions or cone-shaped elongations directed to the same abnormal section of the filament located between them, *i. e.* towards each other. The analysis of other morphological modifications in the vegetative cells of *U. zonata* suggests that such directed counter-growth leads to a convergence of previously non-contacting cells. This process, as can be seen from the analysis of the samples, has two important physiological consequences that ensure the repair of the filament integrity. The first is the interaction of adjacent cells with the formation of intercellular contacts. The second is the fusion of protoplasts and nuclei of converged

cells (cell–cell fusion) with the formation of vegetative cells of increased size (presumably polyploid). Further division of increased in size cells causes sharp rather extended thickenings of the algae filaments or formation of gigantic hyphospores. It is interesting to note that the frequency of patterns of directed cell growth, formation of intercellular contacts, and fusion differed markedly between the sample collection sites. These processes were the most intense in the ulothrix samples collected from boulders in the splash zone of Lake Baikal (Listvyanka village, near the source of the Angara River) in March 2021 and in the Angara River near the hydroelectric power station. More than 10 such findings in each of the analyzed algae filaments were detected.

It is known that the increase in cell length is provided by the irreversible stretching: a very rapid type of cell growth, characteristic only of plant cells. It is already accepted that extension growth is one of the ways of plant movement. In algae attached to surface, this process provides the ability to move to food sources and other resources [Polevoy, 1989, 1998]. Elongation or stretching of plant organs or cells towards or away from any environmental stimulus is called directed growth or tropisms. The types of tropisms are determined by the nature of the stimulus that causes it: phototropism – growth reaction to light; geotropism – growth reaction to gravity; chemotropism – growth reaction to chemicals, etc. Tropisms provide plants with the maximum use of food and other resources, as well as serve to protect them from harmful influences. Based on these generally accepted concepts, we suppose that the above-described patterns of changes in cellular morphology in ulothrix filaments represent one of the types of directed growth or tropisms. We assume that the factors, in this case, are cell destruction or transforming into reproductive structures cells, which are either sources of additional nutrients, or living space, or both. According to the last data, tropisms in plants are associated with the redistribution of auxin phytohormones in cells. To date, it has also been shown that phytohormones play an important role in algae. The largest number of such phytohormones has been characterized in green algae (Chlorophyta) [Tarakhovskaya et al., 2007 ; Kiseleva et al., 2012]. In particular, the studied effects of auxin on the macroalgae indicate its role in the regulation of growth (branching of the thallus, formation of rhizoids) and the formation of reproductive structures that corresponds to the functions of phytohormones of higher plants. A similar mechanism of filament's repair was described in the red filamentous alga *Griffithsia pacifica* Kylin, 1925 [Waaland, Watson, 1980]. In case of its filament disruption, the phytohormone rhodomorphin is released in the basal cell of one of the fragments, under the influence of which the apical cell of the second fragment forms a specific “repair” cell that ensures cell fusion and restoration of the filament. Apparently, the first described processes of directed growth (probably, chemotropism), cell fusion, and the formation of intercellular contacts in filaments of the green alga *U. zonata* represents key cytological mechanisms promoting survival under adverse environmental conditions, increases the possibility of reproduction, and, thus, ensures the widespread distribution of this species. As a repair mechanism, the directed cell growth is not unique to *U. zonata* and may depend on environmental conditions.

This study was supported by the state project No. 0279-2021-0010 (121032300196-8).

Молекулярная биология и генетика гидробионтов

Новые молекулярные и фенотипические данные по виду *Maumathea arida* (Bock) Lange-Bertalot (Bacillariophyta) из почв Дальнего Востока

Багмет В. Б., Никулин А. Ю., Абдуллин Ш. Р., Никулин В. Ю., Гончаров А. А.

Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток,
Россия

gontcharov@biosoil.ru

Род *Maumathea* Lange-Bertalot (Bacillariophyta), описанный относительно недавно [Lange-Bertalot, 1997], включает 30 видов, 2 вариетета и 1 форму [Guiry, Guiry, 2021]. Преимущественно это мелкоклеточные таксоны, имеющие эллиптическую форму. Основная особенность представителей рода — наличие велума, тонкого перфорированного кремнезёмного слоя, закрывающего ареолу, который представляет собой гименатную окклюзию, а также наличие выраженного стернума, обнаруживаемого у большинства видов. Расположение гименума является важной характеристикой, которая отличает *Maumathea* от *Eolimna* Lange-Bertalot & W. Schiller и *Sellaphora* Mereschkowsky, в остальном эти роды имеют много общего, включая структуру шва, центральных пор и дистальных концов шва [Barragán et al., 2017 ; Kezlya et al., 2020]. Представители *Maumathea* распространены по всему миру, хотя большинство из них выявлено в Европе. Виды *Maumathea* предпочитают влажные наземные местообитания, а также пресноводные экосистемы; некоторые являются типичными обитателями почв [Barragán et al., 2017 ; Kezlya et al., 2020].

Maumathea arida (Bock) Lange-Bertalot является редким видом. Он был обнаружен в пробе песчаника из южной части горного массива Рён (Германия) и описан как *Navicula arida* Bock [Bock, 1963]. Ланге-Берталот, основываясь на морфологических особенностях, перенёс вид в род *Maumathea*, без дополнительных характеристик вида и указания новых местообитания [Lange-Bertalot, 1997]. Позднее, опираясь на данные ТЭМ, М. С. Куликовский значительно дополнил морфологическую характеристику вида и привёл для него два новых местообитания — Иваницкое болото и озеро Моховое (Пензенская область, Россия) [Kulikovskiy, 2006]. Недавно *M. arida* была обнаружена в почве на северо-западе Люксембурга и проиллюстрирована с помощью СЭМ [Antonelli et al., 2017].

На данный момент *Maumathea* остаётся слабо изученной молекулярно-генетическими методами. В базе данных GenBank депонировано всего 62 последовательности ДНК для 7 таксонов, из которых 21 — последовательности гена *rbcL* четырёх видов: *M. atomus*, *M. permitis*, *M. fossalis* и *M. terrestris*. Для *M. arida* данные отсутствуют.

Почвенная проба, из которой нами выделен штамм *M. arida*, была отобрана 04.08.2018 на острове Итуруп (Сахалинская область, Россия) в дерново-перегнойных охристых бурозёмах стандартными методами [Кузяхметов, Дубовик, 2001]. В древесном ярусе растительности доминировал *Quercus crispula* Blume, травяно-кустарниковый ярус представлен *Sasa kurilensis* (Rupr.) Makino & Shibata. Выделение и культивирование штамма было выполнено в лаборатории ботаники ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН стандартными методами [McFadden, Melkonian, 1986 ; Andersen, 2005]. Клетки изучали с использованием светового микроскопа (Olympus BX53, Japan, оборудованного оптикой Nomarski DIC и цифровой камерой Olympus DP27), а также сканирующей электронной микроскопии (Merlin, Carl Zeiss, Germany). Полученные морфометрические данные обрабатывали с использованием программного пакета Statistica 10.0 и Microsoft Office Excel 2007.

Полученная последовательность гена *rbcl* (праймеры DPrbcL1 и DPrbcL7) [Daugbjerg, Andersen, 1997] сравнивалась с другими в GenBank с помощью поиска BLAST (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>). Для уточнения филогенетического положения нашего штамма был составлен набор данных по работе Кезля с соавт. [Kezlya et al., 2020]. Реконструкцию филогенетических взаимосвязей осуществляли методом максимального правдоподобия (maximum likelihood, ML) в RAUP 4.0b10 [Swofford, 2002] и Байесовского подхода (BI) в Beast v. 1.10.1 [Drummond, Rambaut, 2007]. Устойчивость дерева оценивалась с помощью процентов бутстрепа (BP), используя веб-сервер RAxML [Kozlov et al., 2019], и апостериорных вероятностей (PP) соответственно.

Створки изученного штамма *M. arida* изменяются от эллиптических до линейно-эллиптических, концы широко закруглённые, изредка несколько клиновидные, 4,8–9,0 мкм длиной, 3,3–4,7 мкм шириной, индекс формы изменялся от 1,1 до 2,3. Наружная поверхность створки имеет нитевидный шов, ветви шва прямые, дистальные концы сильно отклонены в одну сторону и заходят на загиб створки. Проксимальные концы каплевидные, слегка отклонены в одну сторону, противоположную направлению дистальных концов. На внутренней поверхности створки дистальные концы шва заканчиваются хеликтоглоссой, а проксимальные слегка отклонены в сторону. Штрихи представлены одной вытянутой овальной ареолой, частично заходящей на загиб створки. Редко наблюдались створки с двумя ареолами, располагающимися ближе к концам и имеющими округлую или каплевидную форму. Штрихи в центральной части параллельные, а к полюсам створки — радиальные, 24–32 в 10 мкм. Осевое поле сильно развитое, покрывает почти всю часть створки; центральное поле отсутствует. Ранее для вида указывались следующие морфометрические данные: длина — 7–9 мкм, ширина — 3–5 мкм, число штрихов в 10 мкм — 24–28. Наши данные по морфологии, длине, числу штрихов и индексу формы дополняют морфологический диагноз вида.

В процессе культивирования у штамма были отмечены тератологические формы: створки приобретали округлую форму, их длина становилась менее 6 мкм, а индекс формы приближался к 1. Такие особи имели ассиметричную форму створки с удвоенным швом. Также шов мог оканчиваться посередине створки, или часть его могла быть редуцирована. Нередко отмечались случаи, когда ветви шва располагались под разными углами друг к другу вплоть до 75–85°. Изредка отмечены штрихи из 2 или 3 ареол, которые располагались не только возле края створки, но и в центре, делая створки похожими на створки *M. fossalis*. Появление тератологических форм встречается у разных видов диатомей и может быть связано с влиянием различных факторов, включая длительное культивирование [Bagmet et al., 2020 ; Falasco et al., 2021].

Ранее вид был выявлен в пресноводных и аэрофильных местообитаниях, а также в почвах из Европы. Нами *M. arida* впервые отмечена для почв Азии.

BLAST-анализ позволил выявить наиболее сходную последовательность по гену *rbcl* — *Mayamaea atomus* var. *permitis* Wes2f с невысокой идентичностью (94,28 %). Другие представители рода характеризовались более дивергентными последовательностями (< 94 %). Филогенетический анализ набора данных, включающего 106 представителей диатомей (1477 пар нуклеотидов), позволил установить, что *M. arida* достоверно входит в устойчивую кладу рода *Mayamaea* (BP, 100; PP, 1,00) и близка (BP, 93; PP, 0,99) *M. terrestris* и *M. atomus*.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ, грант № 21-14-00196.

Тубулины диатомей и связанные с ними белки как возможный фактор видоспецифической морфологии панцирей

Бедошвили Е. Д., Петрова Д. П., Хабудаев К. В., Лихошвай Е. В.

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

bedoshvilied@list.ru

Диатомовые водоросли — группа одноклеточных эукариот с высоким морфологическим разнообразием. Таксономия диатомовых водорослей основана на симметрии их кремнезёмных клеточных стенок, а также на филогении генов 18S rRNA и *rbcL*. Было показано, что элементы кремнезёмных панцирей диатомей формируются внутриклеточно в специализированной везикуле при активном участии цитоскелета. Микротрубочки локализируются вблизи формирующейся створки; ингибирование полимеризации и деполимеризации тубулина может приводить к различным морфологическим аномалиям не только формы и деталей панциря, но и его тонкого строения на уровне отложения кремнезёма. Генетические и клеточные механизмы, в том числе набор белков, ассоциированных с микротрубочками, отвечающие за морфологическое разнообразие панцирей диатомей, остаются малопонятными. Следует отметить, что α -, β - и γ -тубулины представлены во всех эукариотических филумах, в том числе у диатомовых водорослей. Одни из наиболее изученных белков, ассоциированных с микротрубочками, — белки, связывающихся с плюс-концами микротрубочек (end-binding proteins, EB), также ранее обнаруженные в геномах *Phaeodactylum tricornutum* и *Thalassiosira pseudonana*.

Последовательности генов тубулинов и EB-белков были идентифицированы в известных геномах диатомовых водорослей и в транскриптомах базы данных MMETSP (Marine Microbial Eukaryotic Transcriptome Sequencing Project) с применением BLAST. В качестве аут-группы для сравнительного филогенетического анализа α -, β - и γ -тубулинов были использованы гены тубулинов *Homo sapiens*, *Arabidopsis thaliana*, *Oryza sativa*, *Micromonas commoda* и *Fusarium graminearum*. Гены α - и γ -тубулинов были обнаружены во всех проанализированных геномах. Среди транскриптомных данных для 64 видов были обнаружены 53 последовательности α -тубулинов, 54 последовательности β -тубулинов и всего 17 последовательностей γ -тубулинов, что говорит о дифференциальной экспрессии этих генов. Были выделены диатом-специфичные группы тубулинов и их аминокислотные остатки в характерных позициях. Показано, что филогения диатом-специфичных групп тубулинов соответствует современной систематике диатомей. Анализ сайтов посттрансляционной модификации позволил выявить несколько консервативных участков, предположительно необходимых для корректной работы микротрубочек у диатомовых водорослей.

Филогенетически EB-белки диатомей распределены на шесть клад, в основном в соответствии с их систематикой. В доменной структуре EB-белков диатомей наблюдается высокая вариабельность, но домены CN и EBH, ответственные за связь с тубулином и другими MAP-белками, остаются наиболее консервативными.

Таким образом, проведённый филогенетический анализ и анализ первичной структуры тубулинов и EB-белков, а также ранее полученные факты о роли микротрубочек в морфогенезе створки позволили предположить взаимосвязь между морфологией створок диатомей и найденными группами белков.

Работа выполнена в рамках госзаданий ЛИН СО РАН № 0279-2021-0008 (рук. — Е. В. Лихошвай) и № 0279-2021-0009 (рук. — М. А. Грачев).

Морфологическое, ультраструктурное и молекулярно-генетическое исследование новой линии свободноживущих Kinetoplastea

Беляев А. О.^{1,2}, Загумённый Д. Г.¹, Тихоненков Д. В.¹

¹Институт биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина РАН, Борок, Россия

²Пензенский государственный университет, факультет физико-математических и естественных наук, Пенза,
Россия

abelyaev@ibiw.ru

Kinetoplastea Honinberg, 1963 — группа мелких одноклеточных жгутиконосцев, характерной особенностью которых является высоко конденсированная митохондриальная ДНК, сформированная в массивное тело, называемое кинетопластом.

Двужгутиковый бактериотрофный протист клон В-75 был отобран и выделен в клональную культуру из влажной почвы 11.10.2014 на о-ве Непостоянный в черте г. Киева (Киевская обл., Украина) (N50.531519°, E30.541785°), ниже залива Муромца (центральная часть), пойменный лес (ива, клён, осоки). Проведённые морфологические, ультраструктурные и молекулярно-генетические исследования по секвенированию гена 18S rRNA пресноводного свободноживущего гетеротрофного жгутиконосца клон В-75 выявили следующие детали.

Клетки медленно ползают по субстрату, используя передний жгутик для захвата и перемещения пищи к цитостомальному отверстию. Редко плавают в толще воды, вращаясь вокруг своей оси. Клетки плоские, овальной формы, длина клеток 8–12 мкм, ширина 4–7 мкм. Два жгутика выходят из глубокого жгутикового кармана, расположенного субапикально, продолжающегося в виде вентральной бороздки. Деление продольное. Цисты не обнаружены. Передний жгутик загнут крючкообразно, его длина 6–9 мкм. Задний жгутик тянется вдоль тела клетки внутри вентральной бороздки либо лежит свободно. Длина заднего жгутика 10–15 мкм. Оба жгутика оснащены акронемами. Акронемы длиной 1–1,5 и 2,5–3 мкм соответственно. Мастигонемы были замечены на жгутиках только внутри жгутикового кармана. Снаружи жгутики гладкие. Оба жгутика армированы параксиальными тяжами, которые имеют разную исчерченность филаментов. Аксонема жгутиков имеет типичное строение «9 + 2». Базальные тела жгутиков расположены в разных плоскостях почти перпендикулярно относительно друг друга и контактируют с митохондрией в месте расположения массивного кинетопласта. Кристы митохондрия дисковидные. Цитостом расположен апикально, имеет томентум и продолжается в виде глубокого цитофаринкса, заканчивающегося в дистальном конце клетки. Через цитостом происходит питание клетки бактериями — при помощи загребающих движений переднего жгутика. Сократительная вакуоль расположена вблизи жгутикового кармана, в дорсомедиальной части клетки. Покровы клетки представлены тубулеммой, прерывающейся только в области жгутикового кармана. Тубулемма состоит из трёх групп микротрубочек — вентральной, дорсальной и ФАС.

Филогенетический анализ по гену 18S rRNA показал, что клон В-75 формирует отдельную эволюционную линию внутри семейства Neobodonida (поддержка: RAxML бутстрэп = 99; Байесовская апостериорная вероятность = 1; IQ Tree бутстрэп максимального правдоподобия = 99), сестринскую по отношению к кладе, которая объединяет природные сиквенсы *Bodonidae* sp. @AY753631, *Bodonidae* sp. @AY753625, *Bodonidae* sp. @AY753624, *Bodonidae* sp. @AY753618 и несколько видов и родов бодонид: *Neobodo curvifilus*, *N. borokensis*, *N. designis*, *N. saliens*,

Cryptaulaxoides sp., а также *Actuariola*. На филогенетическом древе выделяются классические таксоны внутри Metakinetoplastina: Neobodonida, Eubodonida, Parabodonida и Trypanosomatida.

Морфологический анализ видов, принадлежащих к данной кладе, показал, что клон В-75 с ними не сходен и формирует, вероятно, новый род внутри семейства Neobodonida.

Авторы выражают благодарность Дубровскому Ю. В. за отбор почвенной пробы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, грант № 20-04-00583.

Вирусы в ассоциированном сообществе байкальских губок (*Baikalospongia bacillifera*) и окружающей их среде

Бутина Т. В., Букин Ю. С., Петрушин И. С., Майкова О. О., Ханаев И. В.

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

tvbutina@mail.ru

Вирусы, как наиболее распространённые, многочисленные и разнообразные биологические объекты на Земле, оказывают существенное влияние на биогеохимические процессы в экосистемах водоёмов, эффективно регулируют численность и видовое разнообразие водных обитателей. Вирусы входят в состав симбиотических организмов, таких как губки, где они также выполняют определённые функции и играют существенную роль в функционировании сообщества. Губки (тип Porifera) — экологически важный компонент морских и пресноводных экосистем; они являются природными фильтраторами, от них во многом зависят качество воды и состояние природных водоёмов.

Исследования генетического разнообразия вирусов в экосистеме оз. Байкал (в планктоне озера и в составе ассоциированных сообществ губок) проводятся с 2008 г. С помощью генетических маркеров нам удалось выявить уникальный состав отдельных таксономических групп вирусов (бактериофагов и цианофагов); показать различия в составе сообществ в различных котловинах озера; установить влияние факторов среды на их формирование; выявить отличия вирусных сообществ в воде озера и в составе губок. В 2013 г. нами были получены первые сведения о генетическом разнообразии вирусов в планктоне литорали оз. Байкал с помощью метагеномного анализа — исследования суммарного генетического вирусного материала, выделенного из природных образцов, с помощью высокопроизводительных технологий секвенирования и биоинформационного анализа.

Целью данной работы стало исследование генетического разнообразия вирусов в составе ассоциированного сообщества эндемичных байкальских губок *Baikalospongia bacillifera* с помощью метагеномного анализа и проведение сравнительного анализа виромов губок и окружающей их водной среды.

Отбор проб губки *B. bacillifera* производили с применением лёгкой водолазной техники в районе пос. Большие Коты (Южный Байкал). Пробы губок гомогенизировали, центрифугировали и фильтровали с помощью мембран с диаметром пор 0,2 мкм (Sartorius). Контрольный образец придонной воды объёмом 20 л, отобранный в пределах глубины отбора губок, фильтровали для удаления бактерий и других, более крупных планктонных организмов (фильтр с размером пор 0,2 мкм); вирусный материал концентрировали с помощью установки для тангенциальной фильтрации (Sartorius). Полученные пробы губок и воды обрабатывали нуклеазами, после инактивации ферментов выделяли вирусные ДНК. Анализ полученного генетического материала ДНК-содержащих вирусов, включая приготовление библиотек и их секвенирование, производили на платформе MiSeq (Illumina) на базе ЦКП «Персистенция микроорганизмов» ИКВС УрО РАН (г. Оренбург). Анализ полученных массивов данных проводили с помощью доступных ресурсов и специализированных программ.

Большинство идентифицированных вирусных последовательностей представляли собой двухцепочечные ДНК-содержащие вирусы, что связано прежде всего с подходом к приготовлению библиотек для платформы MiSeq (Illumina). Доля одноцепочечных ДНК-содержащих вирусов в резуль-

тате не превысила 0,05 %. Определённые виротипы (близкие вирусы из базы данных NCBI RefSeq) принадлежали 27 семействам ДНК-содержащих вирусов, 16 из которых доминировали, составляя около 80 % от всех идентифицированных последовательностей. Значительную часть составили не классифицированные до уровня семейства вирусные последовательности.

Наиболее многочисленными в виромах губок *B. bacillifera* и в придонном слое воды стали три семейства бактериофагов отряда Caudovirales — Myoviridae, Siphoviridae и Podoviridae. Среди доминирующих также оказались вирусные семейства, известные представители которых поражают микроводоросли (Phycodnaviridae), простейших (Mimiviridae и Marseilleviridae), рыб (Iridoviridae и Alloherpesviridae), насекомых и других беспозвоночных (Baculoviridae, Poxviridae и др.), а также позвоночных (Adenoviridae, Herpesviridae и др.). Бóльшая часть выявленных последовательностей, скорее всего, принадлежит вирусам симбионтов и гидробионтов, населяющих губки (моллюски, бокоплавы, рыбы и др.). Высока вероятность того, что определённая часть прочтений принадлежит неизвестным вирусам, поражающим сами губки.

Сравнительный анализ виромов поражённой и визуально здоровой губки *B. bacillifera* выявил отличие в представленности отдельных таксономических групп вирусов. Полученные результаты свидетельствуют в пользу следующего предположения: в поражённых тканях губок происходит изменение структуры сообществ микроорганизмов, уменьшение состава естественных симбионтов и инфицирующих их вирусов; при этом развивается нехарактерная для нормального состояния губок «микрофлора» и вирусы.

Вирома губок *B. bacillifera* и придонной воды литорали оз. Байкал также отличались по составу и соотношению вирусных семейств и виротипов. Так, например, отличительной особенностью вирома воды оз. Байкал оказалось более высокое содержание вирусов пикоцианобактерий (цианофагов).

Таким образом, в результате проведённого исследования получены новые данные о генетическом и таксономическом разнообразии вирусов в экосистеме оз. Байкал, что в целом расширяет представления о составе и роли вирусных сообществ в функционировании пресноводных экосистем.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 0279-2021-0011 при финансовой поддержке проекта РФФИ № 17-44-388080.

Представленность белкового семейства глутатион-S-трансфераз у мидии *Mytilus galloprovincialis*

Водясова Е. А.¹, Мегер Я. В.², Челебиева Э. С.¹, Андреева А. Ю.¹, Кладченко Е. С.¹

¹ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

²Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

eavodiasova@gmail.com

Глутатион-S-трансфераза (далее — GST) является одним из ключевых белков в метаболизме ксенобиотиков и выступает в роли клеточного протектора при различных интоксикациях, гипоксических условиях, заражении организма паразитами и т. д. Тем не менее существует очень мало работ, которые посвящены исследованию генов, кодирующих GST, у морских беспозвоночных. В настоящее время известно три подсемейства глутатион-S-трансфераз — цитозольные, митохондриальные (карра класс) и микросомальные (MAPEG класс). Цитозольное семейство имеет около 36 классов, представленность которых варьирует у различных организмов, некоторые являются специфичными для растений, животных, грибов и бактерий. Основные классы для многоклеточных животных — theta, omega, sigma, pi, mu и alpha. Показано, что для каждого из них может наблюдаться свой профиль экспрессии в зависимости от негативного фактора или от типа исследуемой ткани. Поэтому изучение представленности глутатион-S-трансфераз в геноме необходимо для комплексного и корректного анализа при токсикологических исследованиях.

Мидия *Mytilus galloprovincialis* L., 1819, являясь важным промысловым объектом, при культивировании подвержена ряду негативных стрессовых воздействий, в том числе дефициту кислорода. В то же время данный моллюск не в полной мере изучен методами геномики и транскриптомики. До этого времени для данного вида было описано только 3 класса цитозольных глутатион-S-трансфераз.

В данной работе мы отсековировали 7 полных транскриптомов *M. galloprovincialis* из тканей жабр моллюсков, которые содержались в нормальных (4 экз.) и гипоксических (3 экз.) условиях (номера GenBank SRR13013753, SRR13013754, SRR13013755, SRR13013756, SRR13013757, SRR13013758 и SRR13013759). В результате было обнаружено 83 транскрипта, которые выявили гомологию к генам, кодирующим GST. На основе нуклеотидных последовательностей с помощью TransDecoder были предсказаны аминокислотные последовательности белка. Филогенетический анализ позволил классифицировать все полученные нуклеотидные последовательности. Для *M. galloprovincialis* впервые были найдены все три подсемейства данного гена GST: митохондриальное (карра класс), микросомальное (MAPEG класс) и цитозольное (alpha, pi, sigma были известны для данного моллюска ранее; mu, omega, rho, tau, theta обнаружены впервые). Для sigma класса было обнаружено две изоформы. Была изучена экзон-интронная структура каждого гена на основе генома для *M. galloprovincialis* (GCA_900618805.1). Некоторые классы дублированы в геноме. Практически все гены продемонстрировали повышение уровня экспрессии в разной степени в условиях дефицита кислорода. Вероятно, гены, практически лишённые интронов, являются генами «быстрого ответа», так как именно они сильнее всего отреагировали на краткосрочную гипоксию. Полученные данные позволят в дальнейшем изучить экспрессию генов всего семейства GST методами qPCR как в различных тканях моллюска, так и в ответе на различные внешние факторы (загрязнение, кислородное голодание, заражение и т. д.).

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы ФИЦ ИнБЮМ № 121030100028-0 и гранта Министерства науки и образования РФ № 14.W03.31.0015.

Морфологическое и молекулярно-генетическое исследование видов рода *Symbella* (Bacillariophyta, Symbellaceae) из озера Байкал

Глуценко А. М., Мальцев Е. И., Кузнецова И. В., Куликовский М. С.

Институт физиологии растений имени К. А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

gluschenkoam@studklg.ru

Крупноклеточные представители рода *Symbella* были обнаружены нами в материалах, собранных на оз. Байкал в 2011 г. Получение моноклональных культур, их дальнейший морфологический и молекулярно-генетический анализ был проведён при помощи общепринятых методов. Всего исследовано три штамма. Первый идентифицирован нами как *Symbella himalaspera* Jüttner & Van de Vijver in Jüttner et al. 2010, ранее известный только из типового местонахождения в Непале [Jüttner et al., 2010]. Остальные штаммы идентифицированы как вид, являющийся новым для науки. Было проведено их морфологическое сравнение с близкими видами из группы видов *Symbella aspera*. Молекулярно-генетический анализ трёх штаммов показал, что, несмотря на их ультраструктурное сходство, они представляют собой два самостоятельных вида. Известно, что диатомовая флора древних озёр характеризуется наличием такого феномена, как «видовой пучок» (species flock), — группа близкородственных видов, живущих в водной экосистеме. Таким образом, показанный нами новый для науки вид *Symbella*, по нашему мнению, относится именно к этому феномену. Необходимо дальнейшее морфологическое и молекулярно-генетическое исследование видов рода *Symbella* из озера Байкал.

Работа выполнена за счёт гранта Президента Российской Федерации (МД-1446.2020.4) и в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 121041200194-7).

Таксономическая ревизия моллюсков рода *Corbicula* (Bivalvia: Cyrenidae) из вулканического озера Тоба, Северная Суматра, Индонезия

Кропотин А. В., Аксёнова О. В., Беспалая Ю. В., Болотов И. Н., Кондаков А. В.

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени акад. Н. П. Лавёрова

УрО РАН, Архангельск, Россия

alekscropotin@yandex.ru

Азиатские моллюски рода *Corbicula* привлекают значительное внимание учёных из-за своего широкого распространения по всему миру [Bieler, Mikkelsen, 2019 ; Paunović et al., 2007 ; Penãrrubia et al., 2017 ; Pfenninger et al., 2002]. Виды *Corbicula* считаются одними из самых массовых чужеродных вселенцев в пресноводные экосистемы Америки и Европы [Pigneur et al., 2014]. Нативный ареал рода *Corbicula* охватывает Ближний Восток, Индию, Юго-Восточную Азию, Восточную Азию, Индонезийский архипелаг, Австралию и Африку [Araujo et al., 1993 ; Naronski, Ó Foighil, 2019].

В настоящее время ряд вопросов, связанных с таксономией и филогеографией видов рода *Corbicula*, остаются нерешёнными [Pigneur et al., 2011]. Запутанная систематика рода *Corbicula* препятствует фундаментальным и прикладным исследованиям этих моллюсков.

В данной работе представлен таксономический обзор видов рода *Corbicula*, которые обитают в озере Тоба (глубокая кальдера древнего супервулкана на о-ве Суматра), с применением интегративного подхода, базирующегося на использовании молекулярно-генетических, морфологических и анатомических методов. Молекулярно-генетические исследования включали анализ секвенированных фрагментов мтДНК (маркер COI) и фрагмента большой субъединицы рибосомальной ДНК (маркер 28S). Нуклеотидные последовательности COI и 28S были амплифицированы для 13 особей *Corbicula* из оз. Тоба. Методики выделения ДНК, наборы праймеров, а также условия ПЦР, секвенирования, обработки первичных сиквенсов и их выравнивания детально изложены в наших работах [Bespalaya et al., 2018 ; Bolotov et al., 2015].

Установлено, что моллюски *Corbicula* из оз. Тоба принадлежат к двум самостоятельным генетическим линиям, имеющим разные морфотипы. Первая линия морфологически соответствует виду *Corbicula tobae* по форме и размеру, внешней и внутренней окраске раковины, а также положению макушки. Этот вид отличается от ближайшего сестринского вида, *Corbicula fluminea*, шестью заменами во фрагменте гена COI и четырьмя заменами в последовательностях фрагмента гена 28S. Вторая линия морфологически и генетически может быть отнесена к инвазивному виду *Corbicula leana* (= *Corbicula* sp. form R; = *Corbicula* sp. lineage FW1 + FW4; = *Corbicula* sp. New World form V), который был зарегистрирован и в других частях Индонезии, Китае, Японии, Европе, Северной Америке, Южной Америке и Южной Корее. Образцы *Corbicula leana* из оз. Тоба имеют идентичный гаплотип COI с популяциями этого вида из Индонезии, Китая, Японии и Европы.

Полученные нами данные подтверждают самостоятельный видовой статус *Corbicula tobae*, эндемика оз. Тоба. Интересно, что этот эндемичный вид обособился за сравнительно короткий промежуток времени, поскольку извержение супервулкана Тоба и образование озера произошло около 75 тыс. лет назад [Christine et al., 2013]. Наши результаты подтверждают ранее выявленные закономерности, свидетельствующие о возможности ускоренного видообразования в гигантских озёрах. Кроме того, впервые в оз. Тоба выявлен широко распространённый инвазивный вид *Corbicula leana*, нативные популяции которого обитают в Восточной Азии (Япония и Восток Китая).

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 21-14-00092).

Молекулярно-генетическая верификация таксономического статуса цианобактерии *Arthrospira platensis*, штамм IBSS-31

Дегтяр И. В.¹, Лантушенко А. О.¹, Боровков А. Б.², Челебиева Э. С.²

¹Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

²ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

skuratovskaya95@mail.ru

Arthrospira platensis (Nordstedt) Gomont относится к фотоавтотрофным, планктонным, нитчатым цианопрокариотам и является перспективным объектом биотехнологии. Ценность *A. platensis* заключается в высоком содержании белка (60–70 % от сухого веса), незаменимых аминокислот и жирных кислот, витаминов и минералов [Clement, 1975]. Содержание аминокислот в ней соответствует пропорциям, рекомендованным Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (Food and Agriculture Organization, FAO) [Dillon et al., 1995].

Начиная с таксономических исследований цианобактерий Гейтлером [1932], есть сложности в идентификации видов, принадлежащих родам *Spirulina* и *Arthrospira* [Desikachary, Jeeji-Bai, 1996], хотя последовательности генов 16S рРНК этих двух родов указывают на их лишь отдалённое родство [Nelissen et al., 1996 ; Scheldeman et al., 1999]. Как правило, для быстрой и рутинной идентификации цианобактерий используется оптическая микроскопия, однако даже у квалифицированных и опытных исследователей иногда могут возникать неоднозначные суждения. Поэтому молекулярные подходы особенно полезны для обнаружения и идентификации конкретных штаммов, в первую очередь морфологически трудноотличимых [Nowicka-Krawczyk et al., 2019 ; Choi et al., 2012].

В экспериментах использовали культуру цианобактерии *Arthrospira platensis*, штамм IBSS-31 из ЦКП «Коллекция гидробионтов Мирового океана» ФИЦ ИнБЮМ.

Для уточнения таксономического статуса используемой в эксперименте культуры был проведён филогенетический анализ с применением последовательности 16S rDNA. Исследования выполнены в ЦКП «Молекулярная структура вещества» СевГУ.

Выделение ДНК осуществляли с помощью набора реактивов «ДНК-Экстран-2» (Синтол, Россия) в соответствии с инструкциями производителя. Для количественного определения полученной геномной ДНК использовали нанофотометр Implen (Германия). ПЦР проводили с использованием пары праймеров 16S27F и 23S30R [Weisburg et al., 1991]. Ампликоны визуализировали с помощью гель-электрофореза в 1%-ном агарозном геле. Секвенирование полученного фрагмента осуществляли на секвенаторе «Нанофор-05» (Синтол, Россия), длина последовательности составила 1585 п. н.

Полученную последовательность гена 16S рРНК первоначально сравнили с последовательностями, доступными в базе данных Национального Центра биотехнологической информации (National Center for Biotechnology Information, NCBI), используя алгоритм BLAST (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST>). Филогенетический анализ проводили в программе MEGA X [Kumar et al., 2018] и MrBayes [Ronquist et al., 2012]. Фильтрация выравнивания перед построением дерева осуществлялась вручную в программе BioEdit. Была определена наиболее подходящая модель эволюции нуклеотидов — параметрическая модель Kimura 2. Для реконструкции филогенетического дерева применяли методы максимального правдоподобия и Байеса. Достоверность установленной топологии проверяли при помощи bootstrap-анализа (1000 итераций). В качестве

внешней группы использовали последовательности *Gloeobacter violaceus* PCC 7421 (код GenBank NR 074282.1) и *Bacillus subtilis* IAM 12118 (NR 112116.2).

Филогенетический анализ полученного в данной работе ДНК-фрагмента показал максимальное соответствие нуклеотидным последовательностям фрагмента гена 16S рДНК, которые были получены для штаммов *Arthrospira platensis* NIES-39 (DQ393279.1), SAG 257.80 (DQ393282.1) и PCC 9108 (DQ393284.1). Это позволяет отнести штамм IBSS-31 к виду *Arthrospira platensis*.

Волны вселения холодноводных гидробионтов в Европу (через Тетис, Паратетис и Арктику)

Махров А. А.^{1,4}, Артамонова В. С.¹, Бардуков Н. В.¹, Болотов И. Н.^{2,3,4}, Винарский М. В.⁴

¹Институт проблем экологии и эволюции имени А. Н. Северцова РАН, Москва, Россия

²Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени акад. Н. П. Лавёрова
УрО РАН, Архангельск, Россия

³Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова, Архангельск, Россия

⁴Санкт-Петербургский государственный университет, лаборатория макроэкологии и биогеографии
беспозвоночных, Санкт-Петербург, Россия

makhrov12@mail.ru

Большинство авторов считает, что холодноводные виды пресноводных гидробионтов вселились в Европу из Азии в ледниковое время, то есть в плейстоцене; весьма популярна, в частности, гипотеза их расселения по грандиозной системе приледниковых озёр (обзоры: [Segestråle, 1982 ; Митенев, 1997 ; Svårdson, 1998 ; Гросвальд, 1999 ; Первозванский, 1999 ; Румянцев, 2007]).

Однако в последние годы появляются всё новые палеогеографические, палеонтологические, зоогеографические и молекулярно-генетические данные, указывающие, что вселение холодолюбивых видов в европейские воды происходило несколько раз, разными путями, и началось оно в весьма древние времена (обзоры: [Махров, Лайус, 2018 ; Махров и др., 2020 ; Artamonova et al., 2021 ; Laakkonen et al., 2021]). Сопоставление и анализ имеющихся в настоящее время данных приводят к следующим выводам.

Первая волна вселения из Азии была представлена, наряду с большим числом теплолюбивых видов, относительно холодолюбивыми планариями и унионидами (двустворчатые моллюски); они попали на юг Европы в конце мезозоя — начале кайнозоя, вероятно, через опреснённые заливы древнего океана Тетис или через пресноводные системы, некогда располагавшиеся на месте современного Тибетского плато.

Значительное число холодноводных видов (расщепобрюхие рыбы, предки некоторых родов усатых гольцов, пресноводные жемчужницы, лососевые и колюшковые) попало в Европу, расселяясь через систему водоёмов, главным из которых был океан (море) Паратетис, обособившийся от Тетиса в позднем эоцене, около 37 млн лет назад. Он был связан пресноводными системами сначала с современным бассейном Амура, а позже — с водоёмами на поднимающемся Тибетском плато. Из Паратетиса некоторые виды вселились в район современного Средиземноморья, а атлантический лосось, кумжа, трёхиглая колюшка, пресноводная жемчужница и, видимо, некоторые другие обитатели будущих Чёрного и Средиземного морей попали на запад и север Европы.

Третья волна вселенцев попала в Европу, точнее на север Европы, из Азии по Северному Ледовитому океану еще до эпохи оледенений или в один из первых межледниковых периодов. Эта волна вселенцев включала, в частности, арктических гольцов, ряпушку, обыкновенного сига и предка европейской корюшки. В период последнего оледенения эти виды отступали на юг, а также сохранились в рефугиумах на современной Новой Земле и в бассейне Печоры. После отступления ледника они снова распространились по северу Европы.

В этот период произошло также последнее (четвёртое) вселение в Европу азиатских холодолюбивых гидробионтов. Оно шло вдоль побережья Северного Ледовитого океана. Большинство этих вселенцев остались на северо-востоке Европы (это, в частности, тихоокеанская минога, малоротая и азиатская корюшки), и только арктический омуль дошел до Британских островов. После

отступления ледника произошло также вселение в воды Северной Европы атлантического лосося и, видимо, трёхиглой колюшки из Северной Америки. Кроме того, в пресные воды Арктики в этот период проникли некоторые морские виды, в частности четырёхрогий бычок (рогатка).

Таким образом, вселения холодноводных гидробионтов в Европу происходили в периоды, когда существовали водные пути, соединявшие Европу и Азию, — Тетис, Паратетис, — или свободный ото льда Северный Ледовитый океан, соединяющийся с Тихим океаном. Периодическое исчезновение этих водных путей обусловило прерывный, «пульсирующий» характер обогащения европейской фауны холодноводных видов.

Интересно, что многие группы холодноводных гидробионтов, вселившиеся в Европу из Азии через Паратетис, отличаются высокой эволюционной и экологической пластичностью [Artemonova et al., 2021]. Наоборот, послеледниковые вселенцы и особенно популяции, пережившие оледенение в рефугиумах, имеют ограниченный ареал распространения и могут служить примером филогенетической иммобилизации [Махров, Лайус, 2018].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 19-14-00066).

Характеристика митохондриального генома *Ligophorus vanbenedenii* (Plathelminthes: Monogenea)

Мегер Я. В.¹, Водясова Е. А.², Челебиева Э. С.², Шихат О. В.², Дмитриева Е. В.²

¹Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

²ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

meger_yakov@mail.ru

Паразитические плоские черви — моногенеи (Plathelminthes: Monogenea) — рассматриваются как удобные модели для изучения эволюционных процессов, которые привели к их диверсификации и современному разнообразию. Простой жизненный цикл, специфичность к хозяевам на уровне родов и видов, морфологическое разнообразие позволяют использовать их для изучения влияния факторов, формирующих структуру видов, и исследования процессов, приводящих к видообразованию. Низшие моногенеи (Plathelminthes: Monogenea: Monopisthocotylea) характеризуются высокой видовой дивергенцией, отдельные рода насчитывают свыше 900 видов, при этом каждый год описываются десятки новых видов.

Существует большое количество публикаций по моногенеям, сочетающих морфологические описания видов с полученными для них данными по нуклеотидным последовательностям ДНК. Однако подавляющее большинство работ содержит данные только по сиквенсам фрагментов ядерных генов рибосомальной РНК, таких как 18S, 28S, ITS1, реже ITS2 и 5.8S. Значительно меньше представлены последовательности митохондриальных генов, главным образом небольшие участки гена COI (1955 сиквенсов от 282 видов, из которых больше половины приходится на 5 видов), при этом при использовании универсальных праймеров для COI в данной группе беспозвоночных при амплификации часто возникают сложности. Недостаток данных по митохондриальным геномам затрудняет полноценный анализ филогеографии низших моногеней.

Объектом данного исследования были особи *Ligophorus vanbenedenii* (Parona & Perugia, 1890), собранные с жабр пиленгаса в Чёрном море. В работе были использованы парно-концевые прочтения длиной 100–150 п. н. общим объёмом 2,23 Гб, полученные с помощью NGS-секвенирования ДНК на платформе Illumina MiSeq. Выделение ДНК проводилось с помощью «К-Сорб» (Синтол, Россия) из 85 особей. Подготовка геномной библиотеки с использованием NEBNext® Ultra™ II DNA Library Prep — согласно протоколу производителя без отбора по длине фрагментов. Фильтрация по качеству и удаление адаптеров из массива прочтений производились с помощью fastp. Сборка митохондриального генома осуществлялась при помощи программы MitoZ и уточнялась выравниванием результата работы модуля plasmid программы Spades. Для аннотации сборки использовались модуль аннотации и проверки цикличности программы MitoZ. С целью проверки покрытия и поиска замен было проведено картирование прочтений с помощью bowtie2, обработка и сортировка — SAMtools.

Итоговая сборка включает один консенсусный скаффолд длиной 14965 п. н. и имеет закольцованную структуру, перехлест составляет 179 п. н. Картирование прочтений показало более чем 600-кратное покрытие для каждого нуклеотида, которое является равномерным, за исключением области D-петли, где кратность покрытия варьирует от 3000 до 15000. В результате аннотации обнаружено 32 гена, из которых 10 белок-кодирующих, 20 тРНК и 2 рРНК.

Для визуализации картирования и подсчёта SNP был использован геномный браузер IGV. Исходя из вероятности ошибки секвенирования и количества особей, была выбрана частота замен

0,05 среди картированных прочтений в качестве критерия достоверности. С заданным критерием было обнаружено всего 417 замен, из которых 236 пришлось на некодирующие области. Исходя из длины участков, были получены значения изменчивости каждой области. Ожидаемо наиболее изменчивой областью оказалась D-петля, имеющая 90 замен на 1757 п. н. Среди кодирующих областей изменчивость не превышала 0,04, что для тРНК означает не более одной замены на ген, за исключением *trnQ(uug)*, имеющей две замены. Впервые проведён филогенетический анализ для низших моногеной на основе полных последовательностей митохондриального генома, которые представлены в NCBI для 17 видов из 10 родов.

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы ФИЦ ИнБЮМ № 121030100028-0 и гранта РФФИ № 20-44-920004.

Генетическое разнообразие мраморного керчака *Myoxocephalus stelleri* Tilesius, 1811 (Actinopterygii: Cottidae) северо-западной части Тихого океана

Морева И. Н.^{1,2}, Радченко О. А.²

¹Национальный научный центр морской биологии имени А. В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток, Россия

²Институт биологических проблем Севера ДВО РАН, Магадан, Россия

irruz@yandex.ru

Мраморный керчак *Myoxocephalus stelleri* — один из самых многочисленных и широко распространённых видов рода *Myoxocephalus* (Myoxocephalinae), обитающий от Японского моря до залива Аляска. Молекулярно-генетические и цитогенетические данные о *M. stelleri* крайне ограничены. Кариологический анализ экземпляров из залива Одян Охотского моря и Амурского залива Японского моря показал их различия не только по числу и морфологии хромосом ($2n = 44$ и $2n = 40$; $NF = 44 + 2$), но и по количеству и локализации активных ядрышковых организаторов. Было предложено пересмотреть видовую принадлежность *M. stelleri* из Японского моря. Однако на основе молекулярно-генетического исследования было установлено, что гаплотипы особей из этих географических точек объединяются в единый кластер [Подлесных, Морева, 2014].

Цель данной работы — на основе анализа генетической и кариологической дифференциации внутри япономорской, охотоморской, южнокурильской выборки *M. stelleri* и между ними оценить географическую изменчивость вида и определить возможные причины её возникновения.

Анализ изменчивости нуклеотидных последовательностей генов COI, цитохрома *b*, 16S рРНК митохондриальной ДНК (мтДНК) вида показал, что, несмотря на невысокий уровень дифференциации мтДНК, *M. stelleri* генетически разнообразен. В каждой выборке обнаружено от 2 до 4 гаплотипов. Гаплотипы вида образовали три группы — северояпономорскую (NSJ), охотоморскую (SO) и западнояпономорскую (WSJ). Гаплогруппы соответствовали трём кладам, сформированным на филогенетическом дереве. *M. stelleri* из Японского моря (группы NSJ и WSJ: $d = 0,47\%$) различался больше, чем *M. stelleri* из Охотского и Японского морей (SO и NSJ: $d = 0,36\%$; SO и WSJ: $d = 0,42\%$). Географическое распределение гаплотипов неравномерно. *M. stelleri* из Охотского моря имеет только гаплотипы группы SO, тогда как гаплотипы из всех трёх гаплогрупп обнаружены в Японском море. Например, в его северной части гаплотипы NSJ встречались с частотой 50 %, гаплотипы SO — с частотой 31 %, гаплотипы WSJ — 19 %. В западной части Японского моря выявлены только гаплотипы WSJ. В прибрежных водах Тихого океана у южных Курильских островов гаплотипы NSJ и SO обнаружены с одинаковой частотой. Уникальный гаплотип *M. stelleri* с побережья о-ва Шикотан связал все исследованные группы, что может указывать на его предковую принадлежность.

Результаты анализа хромосомных наборов вида согласуются с генетическими данными. У *M. stelleri* выявлен робертсоновский полиморфизм. Всего идентифицировано пять цитотипов (I — $2n = 44$; II — $2n = 43$; III — $2n = 42$; IV — $2n = 41$; V — $2n = 40$). Все они присутствовали в Японском море. В Охотском море выявлен только один цитотип (I), вероятно наиболее близкий к предковому кариотипу. Цитотипы вида из побережья Южных Курил и западной части Японского моря сходны — $2n = 40$. Наибольшая вариабельность обнаружена среди особей из северной части Японского моря (цитотипы I–IV). Все установленные цитотипы имеют общие признаки, включая число хромосомных плеч (NF) — $44 + 2$, что свидетельствует о тесном родстве изученных особей.

При общем сходстве в хромосомных наборах наблюдаются различия по числу и морфологии хромосом. Различия между цитотипами по числу субтелоцентриков указывают на их участие в формировании метацентриков и субметацентриков в цитотипах II–V. Отсутствие в цитотипах II–IV пары крупных субтелоцентриков, дополнительных маркеров цитотипов I и V, а также размеры негомологичных хромосом цитотипа II позволяют предположить, что крупные субметацентрики цитотипов II–IV (*M. stelleri* из северной части Японского моря) и цитотипа V (экземпляры вида из побережья Южных Курил и западной части Японского моря) сформировались в результате различных робертсоновских слияний.

Полученные результаты показали, что *M. stelleri* из Охотского, Японского морей и побережья о-ва Шикотан (южные Курильские острова) представляет собой единый, но изменчивый вид на протяжении всего ареала. Значительный хромосомный полиморфизм и наличие общих гаплотипов в изученных выборках указывают на их недавнее происхождение от общего предка и/или на относительно недавние контакты в пределах ареала. Расхождение в оценках дивергенции *M. stelleri* из Охотского моря и побережья южных Курильских островов можно объяснить разными механизмами наследования и темпами эволюции кариологических признаков и маркеров мтДНК.

Изменчивость митохондриальной ДНК у камбалы калкан (*Scophthalmus maeoticus*) в Азово-Черноморском бассейне

Небесихина Н. А.

Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону, Россия

nebesihina_n_a@azniirkh.ru

Изучена генетическая дифференциация азово-черноморской камбалы калкан из трёх рыбо-промысловых районов Азово-Черноморского бассейна (кавказский, крымский участки Чёрного моря и Азовское море) на основе изменчивости митохондриальной ДНК. Для анализа использованы данные 49 нуклеотидных последовательностей, включающих ген tRNAPro (74 п. н) и вариабельный участок D-Loop (526 п. н), ген *cytb* (873 п. н) и ген COI (644 п. н) для 109 рыб. В исследованной выборке камбалы калкан отмечен умеренный уровень полиморфизма для участка 600 п. н., включающий ген tRNAPro и часть вариабельного участка D-Loop. Выявлен 21 гаплотип, который определяется вариабельностью 18 позиций мтДНК. Количество синглетонных сайтов составляет 16, парсимоничных — 6. Среди выявленных мутаций 3 трансверсии и 15 транзиций. Для азово-черноморской камбалы калкан отмечен низкий уровень полиморфизма участков гена *cytb* и COI; выявлено 12 и 7 гаплотипов соответственно, которые определяются вариабельностью 16 позиций мтДНК, из которых синглетонных сайтов — 13, парсимоничных — 3. Все выявленные мутации были транзициями.

Из 21 гаплотипа D-Loop, выявленного у камбалы калкан, 11 соответствуют представленным в базе данных NCBI/GenBank нуклеотидным последовательностям как средиземноморской популяции камбалы (тюрбо) *Scophthalmus maximus*, так и черноморской камбалы (AB069742.1; AB069743.1; HQ440021.1; MN556882.1; HQ440019.1; AB069730.1; AB069728.1; AB069734.1; AB069732.1; AB069749.1; AB069739.1). Все выявленные мт-гаплотипы по гену *cytb* не имеют чёткого деления по бассейновому признаку: 3 из них представлены в 3 выборках и идентичны гаплотипам, представленным в базе данных NCBI/GenBank (MT427404; MT427407; MT427413; MT427418; MT427423; MT427440; MT427445; MT427451; MT427461, MT427403; MT427405; MT427406; MT427414; MT427419; MT427420; MT427439; MT427442; MT427443; MT427448; MT427454; MT427456). Из 7 гаплотипов гена COI, выявленных у камбалы калкан в Азово-Черноморском бассейне, 4 гаплотипа соответствуют представленным в базе данных NCBI/GenBank нуклеотидным последовательностям (MT422586.1; MT422589.1; MT422609.1; MT422585.1) черноморской популяции камбалы (тюрбо) *Scophthalmus maximus*. В данном случае наблюдается характерное для морских видов рыб распределение гаплотипов, то есть несколько гаплотипов представлены в выборках с относительно высокой частотой, другие варианты встречаются редко или вовсе уникальны [Avice, 1994].

Анализ данных показал, что генетическое разнообразие исследуемых участков митохондриальной ДНК у азово-черноморской камбалы калкан характеризуется высоким гаплотипическим и низким нуклеотидным разнообразием. По данным Абрамсон [2007], такая ситуация наблюдается в популяциях с быстрым ростом численности от изначально небольшого числа основателей в случае, когда прошло достаточное время для восстановления гаплотипической изменчивости за счёт мутационного процесса, но недостаточное для того, чтобы накопились значительные различия между нуклеотидными последовательностями. В данных исследованиях отмечены отрицательные значения теста Таджимы, возможной причиной является положительный отбор, а также

экспансия популяции. Такая ситуация может наблюдаться при постоянном потоке генов между локальностями (при N_m более 5 % особей на поколение) [Ray et al., 2003] с одновременной тенденцией к уменьшению параметра среднего нуклеотидного разнообразия (π) внутри локальностей.

Генетические расстояния, рассчитанные по модели K2P, между митохондриальными гаплотипами азово-черноморской камбалы калкан и средиземноморским гаплотипом (EU419747) находятся в диапазоне 0–0,017, что соответствует данным, описанным для малорота тихоокеанского *Microstomus pacificus* (Lockington) для той же самой митохондриальной области [Stepien, 1999]. Анализ мтДНК не подтверждает ранее описанное разделение местных популяций на основе фенотипической изменчивости на виды или подвиды.

Построенные медианные сети для гаплотипов D-Loop, *cytb* и COI имеют сходную радиальную генеалогию, где центральное положение занимают 1–2 гаплотипа, которые также встречаются во всех локальностях Чёрного моря и Восточного Средиземноморья. Такое распределение свидетельствует об общности происхождения популяций и, соответственно, о едином предковом генофонде. Кроме того, такое распределение может быть результатом «эффекта основателя». Наличие петлевых структур между гаплотипами может быть результатом гомоплазии, то есть повторных и обратных мутаций в мтДНК. Причиной могло послужить резкое сокращение численности популяции в Азово-Черноморском бассейне за счёт снижения температуры в последний ледниковый период (20000–30000 лет). Если предположить, что рост численности камбалы калкан в Азово-Черноморском бассейне шёл исключительно за счёт естественного роста популяции без влияния мигрантов, можно ожидать, что в различных частях ареала должна была бы сформироваться своя гаплотипическая структура. Однако основные гаплотипы представлены в равной степени на всём ареале обитания камбалы калкан. Это свидетельствует в пользу активного обмена генетическим материалом между популяциями, который может осуществляться в период эмбриогенеза, когда личинки течением могут переноситься в другие локальности.

Таким образом, результаты изменчивости различных участков митохондриальной ДНК у камбалы калкан в Азово-Черноморском бассейне указывают на большую близость азово-черноморской камбалы калкан *Scophthalmus maoticus* и средиземноморской камбалы (тюрбо) *Scophthalmus maximus*, что не позволяет считать их отдельными видами. Очевидно, морфологические различия азовской и черноморской камбалы калкан и средиземноморской камбалы (тюрбо) являются простыми морфами, формируемыми различными факторами среды обитания у одного полиморфного вида на ранних стадиях онтогенеза, то есть проявлением морфологической изменчивости.

Молекулярно-генетическая изменчивость *Gyrodactylus alviga*

Прохорова Д. А., Дмитриева Е. В., Водясова Е. А.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

d.prokhorova.sev@gmail.com

Моногении рода *Gyrodactylus* von Nordmann известны в связи с их высокой патогенностью. В Черноморско-Азовском регионе обнаружено 16 видов *Gyrodactylus*, из которых 5 являются видами-эндемиками, в том числе *Gyrodactylus alviga* Dmitrieva & Gerasev, 2000. Этот вид был описан от черноморского мерланга *Merlangius merlangus*. При морфологическом анализе было установлено, что *G. alviga* по строению прикрепительных структур наиболее схож с *Gyrodactylus callariatus* Malmberg, 1957, отличаясь лишь формой краевого крючка и меньшими размерами соединительной пластинки и срединного крючка. *G. alviga* был отнесён к группе видов *G. callariatus*.

Объектом исследования являлись моногении вида *G. alviga*, собранные с тела и плавников *M. merlangus*, который был выловлен в Балаклавской бухте в 2020 и 2021 гг. Выделение ДНК проводилось набором Analytik Jena innuPREP DNA Mini Kit, эллюция в 50 мкл, ДНК хранили при –20 °С. Для амплификации ITS рДНК использовали праймеры ITS1A (5'-GTAACAAGGTTTCCGTAGGTG-3') и ITS2 (5'-TCCTCCGCTTAGTGATA-3). Секвенирование ПЦР-продуктов проводилось в обоих направлениях с использованием стандартного набора BigDye Terminator Cycle Sequencing Ready Reaction Kit на анализаторе ABI PRISM 3130 (Applied Biosystems Inc.).

Были получены последовательности рибосомальной ДНК длиной в среднем 997 bp, состоящей из ITS1, 5.8S, ITS2 и частично из 18S и 28S от трёх особей *G. alviga* с двух хозяев. Все последовательности размещены в генетическом банке данных GenBank (MZ411674, MZ411675, MZ411676). Для трёх особей было обнаружено 2 гаплотипа, которые отличаются на одну точечную мутацию, представляющую собой аллель С-Т в позиции 617 нуклеотида (регион ITS2).

Филогенетический анализ проводился на основе нуклеотидных последовательностей фрагментов 5.8S и ITS2 77 видов *Gyrodactylus* методом максимального правдоподобия, длина выравнивания составила 474 bp. Полученные последовательности *G. alviga* вошли в кладу с неизвестным видом *Gyrodactylus* sp. (JF836153) от *Microgadus tomcod* Walbaum, 1792 с Атлантического побережья Канады (идентичность 99,8 %), с *G. marinus* Vychowsky & Polyansky, 1953 (GQ150537) от *Gadus morhua* Linnaeus, 1758 из Норвегии (идентичность 98,88 %) и с *G. pterygialis* Vychowsky & Polyansky, 1953 (AJ581657) от *Pollachius virens* L., 1758 (идентичность 99,45 %). Последний вид относится к *G. callariatus*-group, с которым *G. alviga* близок морфологически. Последовательности самого *G. callariatus* в NCBI отсутствуют, в связи с чем оценить генетическую дивергенцию с *G. alviga* невозможно. Все проанализированные виды являются паразитами тресковых рыб (*Gadidae* Rafinesque, 1810), что согласуется с данными по их филогенезу.

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы ФИЦ ИнБЮМ № 121030100028-0 и гранта РФФИ № 20-44-920004.

Транскриптомный анализ гемоцитов *Planorbarius corneus* при заражении трематодами *Bilharziella polonica*

Прохорова Е. Е.¹, Орлов Ю. А.¹, Токмакова А. С.¹, Водясова Е. А.², Атаев Г. Л.¹

¹Российский государственный педагогический университет имени А. И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

²ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

elenne@mail.ru

В настоящее время общепринятым считается, что основными эффекторными элементами иммунных реакций гастропод являются циркулирующие клетки гемолимфы — гемоциты, которые участвуют в распознавании, подавлении, элиминации паразита, устранении последствий инвазии [Connors et al., 2003 ; Yoshino et al., 2013 ; Pila et al., 2016 ; Атаев и др., 2020 ; и др.]. Активно изучаются формы клеточных реакций лёгочных моллюсков на заражение различными видами паразитов (в первую очередь трематодами) и искусственную иммунизацию (бактериями, экскреторно-секреторными продуктами трематод, зимозаном и пр.) [Loker, 2010 ; Sullivan, Belloir, 2013].

Наибольшее количество новой информации об иммунитете лёгочных моллюсков в настоящее время получают, секвенируя и сравнивая полные транскриптомы. Благодаря анализу экспрессии факторов защитных реакций у моллюсков с разным уровнем восприимчивости к трематодной инвазии были выявлены основные известные на сегодняшний день факторы иммунитета пульмонат [Lockyer et al., 2007 ; Larson et al., 2014 ; Ming-Zhang et al., 2015 ; Schultz, Adema, 2017]. Анализ различий между транскриптомами резистентных и чувствительных, заражённых и интактных особей на уровне экспрессии генов позволяет выявлять общие механизмы функционирования системы иммунитета. Однако большинство работ выполнено на моллюсках лабораторных линий одного вида — *Biomphalaria glabrata*. Публикации по изучению транскриптомов моллюсков из природных популяций единичны и разрознены [Lockyer et al., 2012 ; Larson et al., 2014 ; Lu et al., 2020 ; Seppälä et al., 2021]. Для обнаружения более общих закономерностей реализации иммунных реакций моллюсков и более полного понимания механизмов работы иммунной системы требуется расширение круга рассматриваемых моделей, изучение природных популяций, характеризующихся большим генетическим полиморфизмом моллюсков и видовым разнообразием паразитов, а также сопоставление данных геномики, транскриптомики и иммунологических исследований.

Моллюски *Planorbarius corneus* являются типичными представителями фауны Евразии, широко используемыми в паразитологических, иммунологических исследованиях. Ранее был выполнен анализ экспрессии генов, кодирующих факторы защитных реакций *P. corneus* при заражении трематодами. Было показано, что уровень экспрессии нескольких генов различается у незаражённых и заражённых трематодами разных видов моллюсков [Ataev et al., 2016].

Для перехода на новый уровень в понимании процессов, опосредующих иммунные реакции *P. corneus* на трематодную инвазию, мы применили технологии NGS. В работе использовали две группы моллюсков (по 10 особей в каждой) — интактных и заражённых трематодами *Bilharziella polonica* (сем. Schistosomatidae). Гемоциты осаждали и пулировали внутри групп, после чего выделяли тотальную РНК. Методом амплификации с поли(Т) праймерами обогатили мРНК фракцию и приготовили библиотеки для секвенирования, которое было выполнено в компании «Генотек» (г. Москва).

Первоначальные данные, примерно по 25 млн парных прочтений на каждый образец, преобразовали (удалили технические последовательности, рРНК, генетический материал контамини-

рующих организмов и др.); в итоге суммарная библиотека включала порядка 44 млн прочтений. Из этих данных собрали общий для заражённых и незаражённых особей транскриптом. Лучшие результаты на этом этапе показал сборщик Oases. После кластеризации (95 %) транскриптов получили 488655 последовательностей со средней длиной 825,77 и медианой 554 нуклеотида. В данных обнаружили порядка 90 % известных универсальных для эукариотических и метазойных организмов ортологов и около 55 % таких генов для семейства моллюсков. Найдя и транслировав открытые рамки считывания, определили предполагаемый протеом гемоцитов, который включал 56865 полипептидов. Их аннотировали по сходству с уже известными белками, используя BLAST и базу данных NCBI nr, предсказали в них домены с помощью InterProScan, после чего для аннотации применили систему генетической онтологии. Метаболические пути определили алгоритмом BlastKOALA в связке с базой данных KEGG. В данных обнаружили около 2 тыс. белков с доменами, характерными для эффекторов иммунного ответа. Самыми распространёнными оказались иммуноглобулиновый и фибриногеновый.

Для анализа дифференциальной экспрессии генов при заражении моллюска трематодами применили пакет для R, edgeR. В результате обнаружили 1657 дифференциально экспрессирующихся транскриптов, из которых 721 демонстрировал повышенную экспрессию у заражённых животных, а 936 — пониженную. Из этих дифференциально экспрессирующихся последовательностей аннотировать удалось только 578 (370 с повышенной и 208 с пониженной экспрессией). Так, гемоциты инфицированных улиток, судя по дифференциально экспрессирующимся транскриптам, имеют большую репликационную, транскрипционную и трансляционную активность, а также более интенсивный энергетический метаболизм. Они демонстрировали большую представленность транскриптов, кодирующих белки внеклеточного матрикса, и некоторые хорошо известные эффекторы иммунного ответа моллюсков, такие как дерматоинтин и фактор агрегации амёбоцитов. Настоящее исследование предоставляет самый большой объём генетических данных, а также информации об иммунных реакциях моллюска *Planorbarius corneus* на данный момент.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-54-15003 НЦНИ_а.

Полиморфизм покровных элементов центрохелидных солнечников

Радайкина Л. В., Загуменный Д. Г., Тихоненков Д. В.

Институт биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина РАН, Борок, Россия

ld0810@mail.ru

Солнечники — это полифилетическая группа безжгутиковых хищных простейших со сферическим телом и радиально расходящимися аксоподиями с экструсомами. Центрохелидные солнечники, также известные как центрохелиды (*Centroplasthelida* Febvre-Chevalier et Febvre, 1984), — крупнейший голофилетический таксон солнечников. Филогенетическое положение центрохелид на эукариотическом дереве до недавнего времени оставалось неизвестным. Мультигенная филогения показала, что центрохелиды являются сестринской группой к гаптофитовым водорослям. Вместе с ними центрохелиды образуют кладу, называемую *Haptista* [Burki et al., 2016].

Центрохелидные солнечники играют важную роль в водных пищевых сетях, поскольку они питаются небольшими простейшими и бактериями и тем самым могут контролировать их численность [Siemensma, 1991 ; Arndt, 1993 ; Stensdotter-Blomberg, 1998 ; Mikrjukov, 2002]. Несмотря на эту важную роль, центрохелиды остаются одним из наименее изученных компонентов водных экосистем [Siemensma, 1991 ; Mikrjukov, 2002].

Центрохелидные солнечники характеризуются уникальной морфологией центра организации микротрубочек (МТОС) и варьируемыми клеточными покровами [Nicholls, 1983 ; Siemensma, 1991 ; Mikrjukov, 2002]. Покровные элементы имеют таксономическое значение и могут быть разделены на несколько типов: кремниевые чешуйки (у *Acanthocystis*, *Choanocystis*, *Clypifer*, *Parasphaerastrum*, *Pinjata*, *Pseudoraphidiophrys*, *Pseudoraphidocystis*, *Pterocystis*, *Raineriophrys*, *Raphidiophrys*, *Raphidocystis* и *Yogosothoth*); органические спикулы (у *Heterophrys*, *Marophrys*, *Sphaerastrum* и *Spiculophrys*); сочетание кремниевых чешуек и органических спикул (у *Raphidiophrys* и *Raphidocystis*); слизистая оболочка (у *Chlamydaster*) [Zagumyonnyi et al., 2020].

В настоящее время наибольшей проблемой для исследования центрохелид является разрыв между молекулярно-генетическими данными и морфологией в работах, посвящённых этим гетеротрофным протистам.

Центрохелиды с органическими иглообразными или веретеновидными спикулами, такие как *Heterophrys*, *Marophrys*, *Sphaerastrum* и *Spiculophrys*, морфологически неотличимы. В исследованиях с использованием сканирующего электронного микроскопа всех их можно морфологически охарактеризовать как *Heterophrys*-подобные организмы (*Heterophrys*-like organisms).

Филогенетический анализ генов 18S рРНК показал присутствие по крайней мере шести неродственных линий *Heterophrys*-подобных организмов в разных частях центрохелидного дерева [Zlatogursky, 2016]. Кроме того, наличие полиморфизма покровных элементов в жизненном цикле описано как минимум у двух родов центрохелид (*Raphidiophrys* и *Raphidocystis*). На одном из этапов жизненного цикла клетки могут терять кремниевые чешуйки и нести только органические спикулы [Zlatogursky et al., 2018 ; Drachko et al., 2020]. Таким образом, из-за предполагаемого диморфизма своего жизненного цикла организмы, подобные гетерофриидам, могут представлять несколько различных видов центрохелид, которые можно идентифицировать только с помощью молекулярных методов и наблюдений в клональных культурах [Zagumyonnyi et al., 2020].

Нами был исследован предположительно новый вид центрохелидных солнечников (клон HF-7) с помощью сканирующей электронной микроскопии и методов молекулярной филогенетики. Данный клон выделен в клональную культуру из пробы, отобранной из сточных вод очистных сооружений вблизи пос. Борок Ярославской области.

Морфологические исследования показали, что тело клетки клона HF-7 покрыто слоем многочисленных иглообразных обоюдоострых органических спикул, видимых даже в световой микроскоп. Эти длинные тонкие радиальные спикулы покрывают клетку, образуя «ореол» вокруг неё. Пластинчатые чешуйки отсутствуют. Диаметр тела клетки составляет 15–25 мкм. Длина спикул — 3,5–5,0 мкм. По морфологическим признакам данный организм практически не отличается от представителей рода *Heterophrys* со сходными иглообразными чешуйками.

Нами был секвенирован ген малой субъединицы рибосом (18S рРНК) данного солнечника и построено молекулярно-филогенетическое древо максимального правдоподобия. Согласно молекулярным данным, исследованный центрохелидный солнечник относится к роду *Choanocystis* и, вероятно, является новым видом, близким к *Choanocystis curvata* (нуклеотидные последовательности 18S рРНК сходны на 97 %). При этом известные представители рода *Choanocystis* имеют кремниевые пластинчатые тангентальные чешуйки и радиальные чешуйки с полым цилиндрическим стержнем и сердцевидным основанием. Таким образом, впервые нами было показано, что представители рода *Choanocystis* могут характеризоваться полиморфизмом покровных элементов и иметь иглообразные обоюдоострые органические спикулы, характеризующая морфологией *Heterophrys*-подобных организмов.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 18-14-00239.

Эволюционный потенциал видов позвоночных в экстремальных геоклиматических зонах

Слынько Ю. В.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

elena.slynko.76@mail.ru

Процесс расселения видов имеет основополагающее значение для формирования фаун и биологического разнообразия. Предполагается, что виды, расселяясь и натурализуясь на новых местообитаниях, могут обуславливать существенные перестройки в аборигенных биотах — массовые вымирания, видообразование, формирование новых экосистем [Wilson et al., 2009]. Антропогенное влияние на процесс расселения, как правило, проявляется в придании ему значительного ускорения, что дало основания сопоставлять силу этого влияния с глобальными геологическими событиями прошлого [Vermeij, 2005 ; Ricciardi, 2007]. Помимо экологических, причинами успешных вселений полагаются история происхождения видов, конкретнее генеалогия видов и их популяций, а также генетические особенности и скорости адаптивного ответа [van der Velde et al., 2006 ; Sax et al., 2007 ; Shön, 2007 ; Wilson et al., 2009]. Определение роли генома в формировании адаптивных ответов при освоении новых территорий и при смене местообитания — одна из наиболее существенных задач в понимании трендов эволюции и проблемы приспособленности [Felsenstein, 1985 ; Harvey, Pagel, 1991 ; Langerhans, DeWitt, 2004]. Прежде всего, успех и скорости вселений будут определяться шестью основными типами расселений по Дж. Вилсону с соавторами [Wilson et al., 2009]. Это «центробежное расширение ареалов» (leading-edge dispersal), «расселение по коридорам» (corridor), «расселение прыжком» (jump dispersal), «пошаговое расселение» (extreme long-distance dispersal = step by step dispersal), «многократные экспансии» (mass dispersal) и «антропогенные интродукции» (cultivation = acclimatization). В настоящее время основной тенденцией в преобразовании генетической изменчивости при вселениях полагается концепция снижения генетического разнообразия. Традиционная концепция адаптогенеза в краевых популяциях предусматривает сужение оптимумов, канализацию морфобиологической и генетической изменчивости и, как прямое следствие, снижение численности [Майр, 1968]. Однако, как правило, это оказывается справедливым только в случае существенного уменьшения гетерогенности условий среды на краях ареалов. Другая концепция обосновывает тезис о том, что, наоборот, краевые популяции обладают более высоким уровнем генетического разнообразия вследствие большей разнородности условий существования на новых территориях и большей «требовательности» среды к адаптивным качествам вида [Вавилов, 1932 ; Carson, 1959].

С учётом значительной широтной протяжённости рек Русской равнины понто-каспийского стока, разнообразия грунтов, климатической зональности, изменений объёмов и характера водосбора на разных участках расселение морских видов, преимущественно эстуарно-лиманных, проходило по отчётливо выраженным градиентам минерализации, гидродинамики, температуры, кислорода и кормовых ресурсов. Ряд видов продемонстрировали настолько успешную адаптацию к новым условиям, что образовали многочисленные популяции и вошли в число доминирующих компонентов своих сообществ почти во всех водохранилищах Волги, включая водохранилища Верхней Волги и Волго-Балтийского водного пути [Slynko et al., 2002, 2011]. Это позволяет предполагать, что в качестве основного типа расселений использовались типы «расселение по коридорам» или «пошаговое расселение» на протяжении речных бассейнов понто-каспийского стока.

В связи с реализацией программ интродукций в более южных (соответственно, нижних) частях этих речных бассейнов преимущество получил культивационный способ, хотя в некоторых случаях (солнечный окунь, рыбец) имеются свидетельства, что после периода акклиматизаций началось самостоятельное расселение и увеличение численности этих видов.

Поскольку любой адаптивный успех в расширении ареала является эволюционным событием, мы предприняли попытку оценить успехи с эволюционной точки зрения. В этом смысле наиболее актуальными оказались подходы, развиваемые в рамках эпигенетической теории эволюции (ЭТЭ) [Шмальгаузен, 1982 ; Waddington, 1966 ; Шишкин, 2006 ; Расницын, 1987, 2005]. Согласно этой концепции, непосредственным предметом эволюции являются не гены, а целостные системы развития, флуктуации которых стабилизируются в качестве необратимых изменений. На уровне особей материалом отбора служат носители разнонаправленных формообразовательных реакций (морфозов), реализуемых системой при уклонении условий от нормальных. Отбор на осуществление предпочтительной аберрации, реализуемой неидентичными носителями, превращает её в наследуемое изменение, постепенно замещающее прежнюю норму. Устойчивость (наследуемость) нормы зиждется здесь на регулятивных взаимодействиях внутри системы, создаваемых отбором и канализирующих определённую траекторию развития. Проще говоря, наиболее успешных вселенцев должно роднить такое качество, как способность к морфоэкологическому формообразованию. Более того, эта способность будет реализовываться независимо от наличия и степени генетического разнообразия, преадаптированности или климатической зональности происхождения. Проверка справедливости этих построений доказывается на примерах различных видов рыб, успешно экспансирующих пресноводные экосистемы Понто-Каспийского бассейна.

Работа выполнена при поддержке темы госзадания ФИЦ ИнБЮМ «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана» (№ 121030100028-0).

Роль популяционно-генетической организации в обеспечении успешности биологических инвазий на примере интродукции тихоокеанской кефали пиленгаса в Азово-Черноморский бассейн

Слынько Ю. В.¹, Слынько Е. Е.^{1,2,3}

¹ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

²Институт биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина РАН, Борок, Россия

³ФГБОУ ВО Ярославская государственная сельскохозяйственная академия, Ярославль, Россия

elena.slyngo.76@mail.ru

Пиленгас, представитель тихоокеанских кефалей, — один из самых ярких примеров успешной и эффективной интродукции рыб. Пиленгас относится к рыбам эстуарно-морского типа. Являясь эвригалинной рыбой, он может обитать на всех этапах постэмбрионального развития как в пресной воде, так и в водах с морской и океанической солёностью. В Азовском и Чёрном морях пиленгас появился благодаря успешному эксперименту 40-летней давности, поставленному сотрудниками Одесского отделения Азово-Черноморского НИИ: им удалось провести акклиматизацию этого ценного вида рыбы в данных двух морях. Пиленгас очень быстро адаптировался в новых условиях обитания благодаря мягкому климату и богатейшей кормовой базе этих морей. Сегодня он обитает по всему Азово-Черноморскому бассейну. По сравнению с черноморскими кефальями, у пиленгаса есть целый ряд неоспоримых преимуществ: он значительно превосходит их по весу, имеет хорошую способность к воспроизведению вдоль побережья, устойчив к низким температурам (выдерживает колебания от +2 до +29 °C) и неприхотлив в питании.

Мы проанализировали выборки из популяций пиленгаса (47 особей) по всему северному побережью Чёрного моря и из Азовского моря по двум генам: 16s и COI, а также проследили формирование онтогенетических трендов у 45 половозрелых особей по совокупности 18 краниологических промеров. В результате было установлено, что вся популяционная группа пиленгаса Азово-Черноморского бассейна обладает высокими уровнями гаплотипического разнообразия (от 0,918 до 0,989 по обоим генам) и значительной пространственно-генетической подразделённостью (K от 120 до 168 по обоим генам). Такой высокий уровень популяционной изменчивости вполне сопоставим с аналогичными показателями в материнской части ареала или даже выше них. Нами надёжно засвидетельствовано отсутствие онтогенетических траекторий в интродуцированных популяциях пиленгаса: у 44 из 45 исследованных экземпляров сформировался единый плотный скатер на плоскости двумерного распределения собственных значений первой компоненты относительно длины черепа.

Таким образом, при интродукции пиленгаса в новые акватории мы наблюдаем совершенно нетрадиционную для инвазионных видов стратегию популяционной адаптации — вопреки установленному ранее на примере многих чужеродных видов падению генетической изменчивости вследствие реализации принципа основателя и достижения инвазионного успеха посредством адаптивного компромисса. Для пиленгаса приспособление к новым условиям достигается повышением генетической изменчивости, а полиморфизм онтогенетических каналов вообще не реализуется.

Работа выполнена при поддержке тем госзадания ФИЦ ИнБЮМ № 121030100028-0 и ИБ-ВВ РАН № 121051100109-1.

Новые филогенетические ветви жгутиковых Holozoa и происхождение многоклеточных животных

Тихоненков Д. В.¹, Михайлов К. В.^{2,3}, Карпов С. А.^{4,5}, Прокина К. И.¹, Есаулов А. С.⁶,
Белякова О. И.⁶, Мазей Ю. А.^{7,8}, Мыльников А. П.¹, Алешин В. В.^{2,3}

¹Институт биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина РАН, Борок, Россия

²НИИ физико-химической биологии имени А. Н. Белозерского МГУ, Москва, Россия

³Институт проблем передачи информации имени А. А. Харкевича РАН, Москва, Россия

⁴Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

⁵Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

⁶Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

⁷Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Россия

⁸Институт проблем экологии и эволюции имени А. Н. Северцова РАН, Москва, Россия

tikho-denis@yandex.ru

Происхождение многоклеточных животных от их одноклеточных предков является одним из важнейших эволюционных переходов в истории жизни на Земле. В разнотипных пресных и морских биотопах Вьетнама и Чили нами были открыты четыре новых представителя одноклеточных жгутиковых Holozoa со схожей морфологией и образом жизни, но не являющихся близкими родственниками. Проведены морфологические и молекулярные исследования этих протистов.

Обнаруженные организмы имеют разнообразные жизненные формы, включая жгутиковую стадию, амёбофлагеллят, амёбоидные клетки. После питания и гипертрофного роста происходит палинтомическое дробление с образованием до 16 новых особей. Организмы являются хищниками и присасываются к клеткам других протистов, при этом зачастую реализуется совместное питание, когда несколько клеток хищника нападают на одну крупную клетку жертвы. Способность к питанию крупной эукариотической пищей могла являться мощнейшим триггером в формировании и становлении у предка Metazoa как агрегированной многоклеточности (образование агрегаций для совместного питания), так и клональной (гипертрофный рост с последующей палинтомией).

В транскриптомах открытых нами простейших обнаружены гомологи генов животных, связанных с многоклеточностью. На новом материале мы получили подтверждение, что гены, кодирующие белки клеточных сигналов и адгезии, а также гены эмбрионального развития и нервной системы многоклеточных возникли в эволюции до расхождения хоанофлагеллят и Metazoa (до возникновения многоклеточных животных). У одноклеточных эти гены реализуют несколько иные функции, вероятно связанные со способностью распознавать клетки своего вида и жертвы, органические молекулы; с формированием многоклеточных агрегаций, что увеличивает приспособляемость организма к окружающей среде. Эволюционный переход к многоклеточности мог базироваться не на образовании новых специфических белков, а на уже имеющихся у одноклеточных предков белках, которые приобрели несколько новые функции.

В целом результаты исследований подчёркивают важность одноклеточных хищных эукариот для понимания перехода к многоклеточности. Все три из недавно обнаруженных филогенетических линий одноклеточных Holozoa (*Tunicaraptor*, *Syssomonas* и *Pigoraptor*) являются эукариотрофными хищниками и, по-видимому, имеют общие черты с последним общим предком животных. В совокупности такие хищные одноклеточные организмы в настоящее время составляют почти половину известных филогенетических линий одноклеточных Holozoa, что позволяет предположить, что они могли быть доминирующей формой жизни среди одноклеточных предков на пути к происхождению многоклеточных животных.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 18-14-00239.

Исследование заболеваний байкальских губок с помощью клеточной культуры примморф

Черногор Л. И.¹, Елисейкина М. Г.², Петрушин И. С.^{1,3}, Ханаев И. В.¹, Беликов С. И.¹

¹Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

²Национальный научный центр морской биологии имени А. В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток, Россия

³Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

lchernogor@mail.ru

В последние годы на озере Байкал возникла серьёзная проблема массовых заболеваний и гибели эндемичных пресноводных губок. Первое появление аномально окрашенных розовых губок *Lubomirskia baicalensis* (Pallas, 1776) было описано в 2011 г. В настоящее время во многих районах озера выявлены больные, в том числе погибающие, виды губок. Одновременно с заболеванием губок было отмечено крупномасштабное нарушение пространственного распределения и структуры фитоценозов прибрежной зоны оз. Байкал. Причина возникновения этих феноменов неизвестна.

Ранее мы показали, что с помощью клеточной культуры примморф *in vitro* можно создать живую модельную систему в экспериментально контролируемых условиях по изолированию патогенных агентов байкальской губки [Chernogor et al., 2020]. Объектом нашего исследования была эндемичная пресноводная байкальская губка *L. baicalensis*. Цель данной работы — изоляция и идентификация бактериальных патогенных агентов с помощью клеточной культуры примморф, с последующим применением морфологических, метагеномных и полногеномных исследований с биоинформационным анализом.

Обнаружены массовая гибель зелёных симбионтов (Chlorophyta) и изменение в микробных сообществах губок/примморф. Произошло значительное увеличение количества условно-патогенных микроорганизмов, принадлежащих в основном к филам Bacteroidetes и Proteobacteria. Проведено полногеномное секвенирование изолированных штаммов бета-протеобактерий, семейства Oxalobacteraceae, и Flavobacteriia, Flavobacteriaceae. Показано, что штаммы *Janthinobacterium* sp. SLB01 и *Janthinobacterium* sp. PLB02, а также *Flavobacterium* sp. SLB02, выделенные из больной губки и клеточной культуры примморф, являются патогенами для губок и клеточной культуры примморф *L. baicalensis*.

Таким образом, наши исследования помогут выявить одну из причин массового заболевания и гибели байкальских губок. Результаты этой работы показывают, что клеточная культура примморф как модельный объект *in vitro* может применяться для изучения изменений в микробиомах в целом, что в дальнейшем поможет расширить наши представления о симбиотических взаимоотношениях микроорганизмов с пресноводными байкальскими губками во время их массовых заболеваний.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 19-14-00088.

Влияние разных режимов освещения на рост и уровень экспрессии генов миогенных регуляторных факторов у молоди атлантического лосося (*Salmo salar* L.) в условиях его искусственного воспроизводства

Шульгина Н. С., Чурова М. В., Крупнова М. Ю., Немова Н. Н.

Институт биологии — обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

shulgina28@yandex.ru

Удлиненный фотопериод широко используется при выращивании лососевых видов рыб в культуре, поскольку оказывает положительное воздействие на пищевое поведение и рост как молоди, так и взрослых особей. Скелетные мышцы составляют большую часть тела у большинства видов рыб (около 60 % веса), поэтому пластичность роста рыб зависит от динамики роста мышц. В ряде работ было показано, что фотопериод влияет на формирование и рост скелетных мышц у атлантического лосося, при этом изменяется концентрация гормонов и факторов роста, что влияет на поведение миогенных клеток, ответственных за формирование мышечных волокон. Ключевое звено в этом процессе — изменение экспрессии ряда генов миогенных регуляторных факторов (далее — МРФ), так называемых транскрипционных факторов регуляции миогенеза семейства bHLH — *MyoD*, *Myf5* и *MyoG*. Их последовательная экспрессия активирует миогенные клетки-предшественники и запускает процесс миогенеза, который у рыб на постэмбриональных стадиях развития происходит по двум механизмам — посредством гиперплазии (увеличения числа мышечных волокон) и гипертрофии (увеличения диаметра существующих волокон). Под воздействием экспрессии МРФ экспрессируются гены структурных мышечных белков, в том числе ген тяжёлой цепи миозина (*MyHC*), который кодирует основной функциональный компонент белых мышечных волокон — белок миозин. Кроме того, в регуляции процессов роста и формирования мышечных волокон участвует миостатин (*MSTN*) — член суперсемейства трансформирующих рост факторов β (TGF β). Таким образом, фотопериод влияет на процессы регуляции мышечного роста рыб посредством изменения уровней экспрессии генов регуляторных и структурных белков. В связи с этим в настоящей работе мы провели анализ уровня экспрессии вышеперечисленных генов с целью оценки влияния фотопериода на механизмы мышечного роста молоди атлантического лосося. Следует заметить, что особенности формирования мышечной ткани у лососевых рыб при изменении продолжительности освещения всё ещё недостаточно изучены. Такие исследования механизмов адаптаций лососевых рыб к варьированию продолжительности светового дня при их искусственном разведении помогут в разработке методов оптимизации процессов выращивания молоди для достижения максимальных темпов роста.

Исследование было проведено с целью оценки особенностей экспрессии мРНК генов МРФ (паралогов *MyoD* — *MyoD1a/1b/1c*; *Myf5* и *MyoG*), тяжёлой цепи миозина (*MyHC*) и паралогов *MSTN* (*MSTN-1a* и *MSTN-1b*) в белых мышцах двухлеток (1+) атлантического лосося *Salmo salar* L., выращенного на рыбноводном заводе при разных условиях освещения — при режимах 16С : 8Т (освещение 16 ч·сут⁻¹ : темнота 8 ч·сут⁻¹ — группа 2) и 24С : 0Т (постоянное освещение 24 ч·сут⁻¹ — группа 3). Полученные данные сравнивали с аналогичными для контрольной группы рыб (группа 1), выращенной без дополнительного освещения. Эксперимент проводился в условиях Выгского рыбноводного завода в период с начала июля до конца октября. Для анализа индивидуальных

темпов роста в начале исследования рыбы в каждом бассейне (в количестве 160 особей на бассейн) были помечены с помощью чипов. Уровень экспрессии исследуемых генов был определён с помощью метода ПЦР в режиме реального времени.

Согласно результатам проведённого исследования, на конец эксперимента достоверных отличий по массе между группами двухлеток лосося, выращенных в разных условиях освещения, установлено не было. Тем не менее в период с августа по сентябрь масса рыб в экспериментальных бассейнах (группы 2 и 3) была ниже таковой особей из контрольной группы. При этом в бассейне 2 с режимом 16С : 8Т масса рыб в августе была ниже, чем в бассейне 3 с круглосуточным освещением. В течение сентября и октября двухлетки лосося в опытных бассейнах (2 и 3) по массе выровнялись по отношению к рыбам из бассейна 1 (контроль), темпы роста которых замедлились. Было высказано предположение, что снижение темпов роста у рыб из бассейнов 2 и 3 в начале эксперимента (в июле и августе) связано с реакцией на введение новых условий и с необходимостью адаптации к ним, однако дополнительное освещение повлияло на продолжительность роста рыб из опытных групп в осенний период при снижении температуры воды.

По данным молекулярно-генетического анализа, уже в первый месяц исследования (август) были выявлены достоверные различия в уровнях экспрессии мРНК генов МРФ у рыб из разных групп. Так, экспрессия *MyoG* и *MyoD1b* была выше у рыб в группе с режимом 24С : 0Т (3). Различия по уровню экспрессии этих генов между группами 1 (контроль) и 3 (24С : 0Т) в пользу последней сохранялись вплоть до конца эксперимента. Более того, в начале октября у особей в группе с режимом 16С : 8Т также наблюдались достоверно более высокие значения экспрессии мРНК *MyoD1b*, а также паралога *MyoD1c* и *MyoD1a* по сравнению с таковыми у рыб из контрольной группы. В этот же период у рыб из бассейнов с дополнительным освещением были выявлены более высокие, чем у особей из контрольной группы, уровни экспрессии мРНК *MyHC*, а также *MSTN-1b*, отрицательного регулятора роста мышц. Несмотря на наличие у всех трёх групп рыб различий в одновременной экспрессии нескольких МРФ, что, вероятно, связано с различиями в механизмах регуляции мышечного роста у рыб в зависимости от воздействия дополнительного освещения, уровень экспрессии мРНК *MyHC* у двухлеток лосося во всех группах оставался на высоком уровне на протяжении всего исследования. В начале осени у особей из всех бассейнов наблюдались более высокие уровни экспрессии мРНК *MyoG*, *MyoD1b*, *MyoD1c* и паралога *MSTN* (*MSTN-1a* и *MSTN-1b*) по сравнению с уровнями летнего периода. Это может указывать на наличие сезонного характера экспрессии МРФ.

Исследование показало, что дополнительное освещение положительно повлияло на продолжительность и интенсивность процессов роста мышц у молоди лосося.

*Работа выполнена на научном оборудовании ЦКП КарНЦ РАН при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 19-14-00081 «Влияние физических факторов на эффективность искусственного (заводского) воспроизводства молоди атлантического лосося *Salmo salar*: физиолого-биохимическая и молекулярно-генетическая характеристика».*

Разработка микросателлитных маркеров для популяционно-генетического анализа байкальских эндемичных губок

Яхненко А. С.^{1,2}, Ицкович В. Б.¹

¹Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

²Объединённый институт ядерных исследований, Дубна, Россия

yakhnenkoas@gmail.com

Байкальские эндемичные губки семейства *Lubomirskiidae*, представленные букетом близкородственных видов, составляют основную часть биомассы бентоса озера и играют важную роль в экосистеме Байкала за счёт фильтрационного типа питания.

Всего в озере на сегодняшний день обитает 19 видов губок, 15 из которых являются эндемичными. В основном байкальские эндемичные губки имеют корковую или глобульную форму тела, и лишь один вид — *Lubomirskia baikalensis* — ветвистую. Ближайшее ныне живущее родственное семейство байкальских эндемичных губок — *Spongillidae*. В процессе формирования эндемичных видов байкальские губки утратили способность к геммулообразованию в результате обитания в постоянных условиях среды. Необходимость всестороннего изучения такой уникальной группы организмов не вызывает сомнений. Несмотря на широкое применение современных молекулярно-биологических методов для изучения генетики байкальских эндемичных губок, а также успешную расшифровку генома и транскриптомов, популяционно-генетический анализ ранее не проводился.

Наиболее подходящими маркерами для анализа популяционно-генетической структуры губок являются микросателлиты — короткие tandemные повторы. Эффективность их применения была показана на морских и пресноводных космополитных видах губок. Для выбора специфичных микросателлитных маркеров для байкальских эндемичных губок нами были использованы два подхода.

В первую очередь были протестированы микросателлитные маркеры, ранее разработанные и успешно применяемые для популяционно-генетического анализа близкородственной пресноводной губки *Ephydatia fluviatilis* на образцах ДНК байкальской губки *L. baikalensis*. Было показано отсутствие специфической амплификации у 10 из 11 маркеров, несмотря на близкое родство исследуемых видов.

Для разработки видоспецифичных микросателлитных маркеров для *L. baikalensis* был проведён поиск микросателлитных последовательностей в черновом геноме *L. baikalensis*. Для наиболее перспективных микросателлитных последовательностей были разработаны праймеры на фланкирующие районы. Все маркеры были протестированы на 8 образцах ДНК губок вида *L. baikalensis* из всех трёх котловин оз. Байкал. По итогам работ нами успешно разработаны и опробованы 10 переменных микросателлитных маркеров на основе черного генома *L. baikalensis*. В дальнейшем они будут использованы для популяционно-генетического анализа байкальских эндемичных губок.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области в рамках научного проекта № 20-44-383010.

Towards the Tree of Subclass Chonotrichia (Ciliophora)

Fahrni J.¹ and Dovgal I. V.²

¹Vy-Creuse 37, CH-1196 Gland, Switzerland

²A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

dovgal-1954@mail.ru

Chonotrichs (subclass Chonotrichia) are sessile, uncontractile, unloricate ciliates, epibiotic (with one exception) on representatives of different taxa of marine and freshwater crustaceans. The subclass is divided into two orders, Exogemmida and Cryptogemmida, based on the mode of budding. Chonotrichia is a poor molecular investigated taxon; about 110 species enter into the composition of subclass to date.

There are a few papers in which the questions of origin and divergent evolution of the group were generally discussed in terms of light microscopy. At the same time, molecular data on Chonotrichia exist only for three species (*Spirochona gemmipara*, *Isochona* sp., and *Chilodochona carcini*).

The new material was collected by first co-author from: 1) Roscoff (Brittany, France) – *Heliochona alternans* (from gills of *Gammarella* sp.), *Kentrochona nebaliae* (from thoracopods of *Nebalia bipes*), and *Stylochona nebalina* (from bristles of mandibular palp of *N. bipes*); and 2) from the river La Dullive (Switzerland) – *Spirochona gemmipara* (from gills of *Gammarus* sp.). The SSU sequences (ca 2'100 bp) of these four species were obtained.

Hence, the preliminary phylogenetic tree shows that Chonotrichia is monophyletic group sister to the order Dysteriida; the dysteriid closest to Chonotrichia is representative of family Hartmannulidae; the genus *Chilodochona* occupies a basal position regard to other chonotrich; the separation of orders Exogemmida and Cryptogemmida is supported with the molecular data existing actually: the Cryptogemmida derived from Exogemmida, whereas the genus *Isochona* is the basal group for Cryptogemmida. Our data suggest that the chonotrich genus *Chilodochona* occupies a basal position regard to other chonotrich taxa, which, in turn, agree with data on the comparative morphology of trophonts and swarmers of these ciliates. However, these results require confirmation based on analyses of any representatives of the chonotrich from other families, especially from family Lobochoonidae.

The second author's work was conducted in the framework of the state assignments of the A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS No. 121040500247-0.

**Проблемы загрязнения водных
экосистем и морская
радиоохемозэкология**

Численность и распространение гетеротрофных и углеводородокисляющих бактерий в прибрежной акватории Крыма и Кавказа в весенний период (по материалам 106-го рейса НИС «Профессор Водяницкий»)

Бурдиян Н. В., Дорошенко Ю. В.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

burdiyan@mail.ru

В системе комплексной оценки экологического состояния морских акваторий важны микробиологические исследования, так как бактерии выполняют основную роль в процессах деструкции органического вещества автохтонного и аллохтонного происхождения, интенсивно участвуя в процессах самоочищения водных экосистем. В силу своих физиологических особенностей микробные сообщества активно реагируют изменением численности на малейшее изменение физико-химических условий в водных биоценозах. С учётом этого комплексный анализ состояния водных объектов (вода — донные отложения) позволяет достоверно оценить состояние морских биоценозов и выработать подходы к их восстановлению. Гетеротрофные бактерии являются важным компонентом морских экосистем, его основная функция — ассимиляция и трансформация органических соединений. Ведущее место в процессах самоочищения водоёмов от нефтяного загрязнения принадлежит биологическим факторам, решающую роль среди которых играют углеводородокисляющие бактерии, способные к использованию углеводородов нефти в качестве единственного источника углерода и энергии.

Целью настоящей работы являлось изучение особенностей распространения и получение количественных характеристик гетеротрофных и углеводородокисляющих групп бактерий (далее — ГБ и УОБ соответственно) в поверхностном слое воды и донных отложениях прибрежной акватории Крыма и Кавказа.

Материалом для настоящей работы послужили пробы морской воды и донных отложений, отобранные в прибрежной акватории Кавказа и черноморского побережья Крыма в апреле 2019 г. во время 106-го рейса НИС «Профессор Водяницкий». Всего отобрано 24 пробы воды с поверхностного горизонта и 6 проб донных отложений; глубина отбора варьировала от 16 до 715 м. Температура морской воды в исследуемый период колебалась от +8 до +15 °С. Микробиологические работы проводили в судовой лаборатории (сразу после отбора пробы). Для определения численности бактерий использовали метод предельных десятикратных разведений с последующим посевом в жидкую селективную среду. Наиболее вероятное число микроорганизмов в единице объёма рассчитывали по таблице Мак-Креди (в трёх повторностях), основанной на методе вариационной статистики.

Поверхностные воды и донные отложения прибрежной акватории черноморского побережья Крыма. Результаты проведённых исследований показали, что количественные показатели ГБ в Каркинитском заливе варьировали от 10^3 до 10^5 кл.·мл⁻¹. В то же время численность ГБ в прибрежной акватории Южного берега Крыма (далее — ЮБК) колебалась от 10^5 до 10^8 бактериальных клеток в мл морской воды. Максимальные количественные показатели ГБ в весенний период исследования определены на большинстве станций ЮБК, в том числе акватории бухты Ласпи, траверзе Ялты, Алупки и Алушты. На юго-восточном побережье наибольшие значения (10^8 кл.·мл⁻¹) ГБ отмечены на траверзе г. Судака, в Феодосийском заливе и в районе керчен-

ского предпроливья. На один-два порядка меньше была численность гетеротрофов в акватории бухты Двужорной и в районе Карадагского заповедника. Весенние показатели численности ГБ на несколько порядков превышают количественные показатели, полученные в зимний период исследования (декабрь 2018 г., 105-й рейс НИС «Профессор Водяницкий»).

Бактерии, осуществляющие деструкцию углеводородов нефти в морской среде, выделены из всех проб. Численность УОБ в Каркинитском заливе колебалась от 10 до 10^3 клеток в мл морской воды. Максимум бактериальных клеток УОБ выделен на прибрежной станции залива. В прибрежной акватории ЮБК число УОБ варьировало от 10 до 10^3 кл.·мл⁻¹. Наибольшие показатели определены на траверзе пос. Форос и г. Ялты. В акватории бухты Ласпи численность УОБ определена как наименьшая, значение не превышало одной бактериальной клетки в мл воды. На юго-восточном побережье наибольшие значения УОБ (от 10^2 до 10^3) отмечены на траверзе Судака и Керчи, а также в Феодосийском заливе.

В акватории Каркинитского залива на двух станциях были отобраны пробы донных отложений. Результаты микробиологического анализа показали, что численность ГБ в грунте залива (ст. 23 и 30) варьировала в пределах третьего порядка (от $4,5 \times 10^3$ до $9,5 \times 10^3$ кл.·г⁻¹); равные показатели (25 кл.·г⁻¹) определены для УОБ.

Поверхностные воды и донные отложения прибрежной акватории Кавказского побережья. В акватории Кавказского побережья было отобрано пять проб морской воды с поверхностного горизонта. Численность ГБ варьировала от 10^6 до 10^{10} кл.·мл⁻¹. Наибольшая численность гетеротрофов, свидетельствующая о высоком содержании органического вещества в исследуемой акватории, выявлена на ст. 119.1. Углекислородфиксирующие бактерии выделены из всех проб воды. Численность УОБ колебалась от 1 до 10^3 кл.·мл⁻¹. Наибольшая численность УОБ определена на траверзе г. Сочи, наименьшая — на ст. 118.1 и 132.1. В пробах донных отложений Кавказского побережья России численность ГБ варьировала в диапазоне от $2,5 \times 10^2$ до $2,5 \times 10^5$ кл.·г⁻¹, УОБ — от $2,5 \times 10$ до $4,5 \times 10^2$ кл.·мл⁻¹.

Проведённые микробиологические исследования показали повсеместное распространение обозначенных групп бактерий в исследуемой части акватории Чёрного моря. Концентрация бактерий в донных отложениях отличается от таковой в водной среде. Для дальнейшей оценки возможности антропогенного влияния и прогноза состояния морской среды в изучаемой акватории необходимы продолжение микробиологических исследований и пополнение базы данных в разные сезоны и годы.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ № 121031500515-8 «Молискологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем».

К изучению качества вод городских водоёмов зоны сплошного распространения многолетней мерзлоты (на примере г. Якутска)

Габышев В. А., Потапова Н. К., Габышева О. И.

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН — обособленное подразделение
ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр СО РАН», Якутск, Россия

v.a.gabyshev@yandex.ru

На основе данных о химическом составе воды, а также показателей развития фитопланктона и зообентоса оценено современное состояние качества вод 13 городских и пригородных озёр г. Якутска, расположенных в зоне сплошного распространения многолетней мерзлоты.

Гидрохимия. Пригородные озёра характеризуются низкой степенью загрязнённости. Приоритетными загрязняющими веществами являются железо общее (4,8–5,0 ПДК), медь (1,3–2,2 ПДК), цинк (1,1–1,5 ПДК), ион аммония (1,5–1,8 ПДК), трудноокисляемые органические вещества (1,2–1,6 ПДК) и показатель цветности (1,8–3,5 ПДК). Индекс ИЗВ составляет 1,7 единицы, что соответствует 3-му классу качества вод. Городские озёра, расположенные на урбанизированной территории первой и второй надпойменных террас, имеют среднюю степень загрязнённости. Приоритетными загрязняющими веществами являются цинк (1,0–2,5 ПДК), ион аммония (1,2–4,2 ПДК), показатель цветности (2,3–7,7 ПДК), фосфаты (1,3–4,4 ПДК), трудноокисляемые органические вещества (3,4–6,5 ПДК), фосфор общий (1,6–5,4 ПДК), медь (1,0–5,6 ПДК), марганец (1,0–1,9 ПДК), нитриты (1,3–2,6 ПДК) и железо общее (10–33 ПДК). Индекс ИЗВ составляет 3,2–3,6 единицы, это соответствует 4-му классу качества вод.

Фитопланктон. Индекс сапробности, рассчитанный по фитопланктону, для всех озёр довольно высок, варьирует в пределах 1,7–2,7, что соответствует зонам самоочищения от олигоальфамезосапробной до бетамезосапробной. По системе Сладечека, вода исследованных озёр классифицируется как среднезагрязнённая. Основываясь на системе индикаторных видов, предложенной г. Ван Дамом [Van Dam et al., 1994], можно сказать, что исследованные водоёмы характеризуются как мезотрофные с заметным смещением в сторону эвтрофных, то есть минерализованные водоёмы с повышенным содержанием биогенных веществ и интенсивным развитием фитопланктона, характеризующиеся низкой прозрачностью воды и возможным недостатком кислорода в нижнем слое столба воды.

Сравнение с прежними данными о фитопланктоне городских озёр [Иванова, 2000] показало, что для большинства водоёмов современный уровень количественного развития фитопланктона существенно ниже предыдущего. Делать какие-либо выводы об изменении уровня вегетации фитопланктона водоёмов на основе наших данных пока преждевременно, так как наблюдаемые отклонения между прежними и современными данными могут быть связаны с сезонными или межгодовыми колебаниями в развитии водорослей. Существенных изменений уровня сапробности не отмечено. Массовое развитие двух видов цианопрокариот (*Aphanizomenon flosaquae* и *Microcystis aeruginosa*), отмеченное в современном планктоне большинства городских озёр, было характерно для планктона этих озёр и в 1990-е гг.

С применением методов многомерной статистики — кластеризации наблюдений, дисперсионного анализа и анализа сопряжённости градаций качественных группирующих переменных методом критерия согласия Пирсона хи-квадрат — определены следующие закономерности. Повы-

шенная концентрация в водах исследованных озёр загрязняющих веществ, в том числе тяжёлых металлов, оказывает воздействие на развитие фитопланктона, которое проявляется в сокращении числа видов и общей численности водорослей. Озёра с высоким процентом береговой линии, лишённой водоохранной зоны, и расположенные на территориях с наибольшим суммарным показателем загрязнения грунтов (Zc) характеризуются максимальной концентрацией в воде загрязняющих веществ и тяжёлых металлов. Общим выводом из определённой закономерности может стать то, что в зоне сплошного распространения вечномёрзлых грунтов, характеризующейся слабым дренажом, где расположен г. Якутск, сток с прибрежных территорий имеет большое влияние на качество поверхностных вод. При этом размер водоёмов не повышает их экологическую ёмкость. Отсутствие ливневой канализации в г. Якутске увеличивает роль водоохранной зоны в поддержании качества вод городских водоёмов.

Зообентос. Собранные нами данные существенно дополняют имеющиеся сведения о сообществах зообентоса озёр г. Якутска и пригорода [Татарина, Салова, 2013]. Фауна зообентоса исследованных озёр представлена следующими таксономическими группами: Gastropoda (Lymnaeidae, Planorbidae); Crustacea (Amphipoda); Arachnida (Araneae, Acari); Insecta (Ephemeroptera, Odonata, Heteroptera, Coleoptera, Trichoptera, Diptera). Несмотря на разную степень загрязнения озёр, это пока кардинально не затронуло их разнообразия; распределение таксономического состава достаточно однородно. Богатство таксономического состава не велико, что зачастую связано с доминированием в донных сообществах отдельных таксономических групп. Так, в большинстве озёр преимущественно доминируют моллюски (Mollusca), бокоплавы (Amphipoda) и личинки хирономид и других двукрылых (Diptera: Chironomidae, Chaoboridae).

Сообщества гидробионтов озёр I надпойменной террасы р. Лены отличаются небольшими показателями индексов Майера и Вудивисса [Экологический мониторинг..., 2008]. Так, в озере Губинском не были обнаружены некоторые группы, такие как стрекозы (Odonata) и бокоплавы (Amphipoda). В озёрах Тёплом и Талом в 2019 г. в пробах отсутствовали подёнки и ручейники. Это свидетельствует о высокой степени эвтрофирования данных водоёмов, что подтверждается низкими значениями рассчитанного нами индекса Вудивисса. Согласно значениям индекса Вудивисса для сообществ макрозообентоса, озеро Сайсары является умеренно загрязнённым.

В озёрах, расположенных на II надпойменной террасе, показатели индексов Майера и Вудивисса несколько выше, чем у озёр I надпойменной террасы. Низкими показателями индексов отличаются озёра Атласовское и Белое, так как не удалось обнаружить ряд ключевых групп гидробионтов. Высокие показатели индексов регистрировались в озёрах Сергелях и Хатын-Урях в оба года наблюдений, что характеризует их как благоприятные для развития гидробионтов. В 2018 г. в озере Ытык-Кюель также отмечались высокие показатели индексов, но в 2019 г. значения резко изменились из-за отсутствия ключевых групп гидробионтов.

Антропогенная трансформация водных экосистем Юга России

Гагаева З. Ш.¹, Гурьевских О. Ю.², Керимов И. А.³, Махмудова Л. Ш.⁴, Мячина К. В.⁵

¹Академия наук Чеченской Республики, Грозный, Россия

²Уральский государственный педагогический университет, Екатеринбург, Россия

³Институт истории естествознания и техники имени С. И. Вавилова РАН, Москва, Россия

⁴ГГНТУ имени академика М. Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

⁵Институт степи УрО РАН, Оренбург, Россия

zsh_gagaeva@mail.ru

Для Юга России характерны чрезвычайно разнообразие и богатство поверхностных и подземных вод. Ряд отечественных исследований в области трансформации гидросферы горных территорий Юга России под влиянием природных и антропогенных факторов позволяет сделать вывод, что они в значительной степени посвящены мониторингу экологического состояния вод, ориентированному на контроль и оценку химического и бактериального загрязнения [Дмитриева, 2015 ; Жигулина, 2010 ; Смольянинов, Щербинина, 2014 ; и др.]. В ранних исследованиях рассматривались задачи оценки качества вод с изучением гидробионтов и использованием метода биоиндикации [Гелашвили, 1995 ; Вудивис, 1997 ; Балушкина, 1997 ; Баканов, 1998 ; и др.]. В XXI в. получило развитие направление исследований, связанное с изучением проблем трансграничных речных систем [Вулф, 2001 ; Кафлиц, 2001 ; Бардюк, 2011 ; Зонн, 2018 ; и др.].

Исследования, связанные с анализом химического состава речных вод горных районов Юга России (р. Терек, Кубань), отражены в ряде работ [Никаноров, 2011 ; Лурье, 2002, 2005 ; Панов, Базелюк, 2015 ; и др.]. Однако эти данные не дают достаточного представления об общей ситуации с гидрохимическим составом природных вод горных территорий, который изучен крайне слабо. В основном подобные работы посвящены изучению антропогенного загрязнения и проведению разовых обследований [Гурбанов и др., 2017 ; Панов и др., 2015]. Изучение содержания таких токсичных элементов, как алюминий и мышьяк, в поверхностных и подземных водах высокогорной и низкогорной зоны не проводилось никогда.

Современная область исследований по трансформации гидросферы в условиях развивающегося природного и антропогенного воздействия характеризуется значительно более широким диапазоном используемых подходов, а также охватом проблем, обусловленных поверхностными, подземными и грунтовыми водами и их связями с речными системами. Из-за роста населения, развития техносферы и увеличения водопотребления в условиях изменяющегося климата, характеризующегося потеплением, на первый план выходят проблемы сохранения водного баланса поверхностных речных и подземных вод, тесно связанных между собой водообменными процессами.

Для успешного решения обозначенных вопросов требуется выход на новый уровень комплексных трансграничных ландшафтно-экологических исследований Юга России с учётом детального проведения исследований поверхностных и подземных вод.

Влияние антропогенной деятельности на водные ресурсы может быть весьма значительным. Это обуславливает постановку вопроса об активном изучении проблемы деградации пресных вод во всём мире. Весьма важной составляющей количественной оценки антропогенной нагрузки на природные системы представляется анализ качества подземных вод — надёжного показателя степени загрязнения, обусловленного туризмом и животноводством, а также их прямым воздействием на характеристики воды [Rosca et al., 2020]. Достаточно детальные исследования

посвящены оценке пригодности подземных пресных вод, находящихся в сложных и неоднородных водоносных слоях в условиях изменяющегося покровного слоя, для питьевого потребления.

Важным направлением является изучение динамики болот на Кавказе. Несмотря на свою относительно небольшую площадь в регионе, болота имеют большое значение как архивы палеогеографической информации. На современном этапе их изучения можно сделать вывод о значительных изменениях растительности и климата Кавказа в течение голоцена. Перспективным направлением является изучение озёр региона и геотермальных вод [Широкова и др., 2015 ; Доценко, Керимов, 2020 ; и др.].

Влияние изменений климата на природные воды региона в значительной степени проявляется в речных системах. Изменение водности рек обуславливает формирование цикловых речных террас. К настоящему времени для Кавказа имеются работы по изучению речных террас и их корреляции с ледниками в верхних звеньях и с морскими террасами в нижних. Между тем разные части Кавказа изучены неравномерно и относительно слабо коррелируют между собой. Это в первую очередь касается речных долин Азово-Черноморской области (в частности, бассейна р. Кубань) и речных долин Каспийской области (бассейны рек Терек, Сулак и Кура).

Для территорий Юга России важным фактором изменений состояния природных вод является антропогенное воздействие. По имеющимся данным, это воздействие происходило в течение всего голоцена [Идрисов, 2014 ; и др.]. Различные участки региона в разное время существенно отличались по степени воздействия человека на природные воды. Так, было показано, что развитие террасового земледелия принципиально изменяет водный режим территории (в частности, происходит снижение поверхностного стока). Резко усилилось воздействие человека на равнинных территориях региона при развитии животноводства и создании систем прудов в XIX в. В XX в. существенное внимание было уделено созданию водохранилищ и масштабному перераспределению речного стока крупными каналами с вытекающими последствиями.

В последние десятилетия серьёзной становится проблема загрязнения поверхностных и подземных вод нефтью и нефтепродуктами. Так, в работах некоторых авторов представлен анализ актуальной проблемы воздействия на геологическую среду, возникшей в результате длительного освоения месторождений нефти и газа и обусловленных ими геоэкологических последствий, в том числе связанных с загрязнением поверхностных и подземных вод. На примере территорий Терско-Сунженской нефтегазоносной области проанализированы геоэкологические проблемы, вызванные формированием техногенных залежей углеводородного сырья и антропогенной нагрузкой.

Сравнение биоиндикационных свойств рыб семейства *Syprinae* на примере реки Амур

Донец М. М., Цыганков В. Ю., Гумовский А. Н., Гумовская Ю. П., Боярова М. Д.,
Кульшова В. И.

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

maksim.donecz@mail.ru

Загрязнение водных экосистем — одна из наиболее острых экологических проблем во всём мире. Рост населения и расширение зоны хозяйственной деятельности человека способствуют загрязнению пресной воды различными видами поллютантов (токсичными элементами, пестицидами и др.). Среди ксенобиотиков, представляющих наибольшую опасность для экосистем и человека, выделяются галогенсодержащие углеводороды — группа ксенобиотиков, характеризующаяся высокой устойчивостью в окружающей среде, липофильностью, биоаккумуляцией и биомагнификацией. Несмотря на запрет их применения, они до сих пор обнаруживаются по всему миру. Основными районами исследования этих соединений являются дальневосточные моря и отдельные регионы западной и северной России. При этом пресноводные экосистемы остаются фактически не изученными.

Река Амур входит в десятку крупнейших водоёмов мира. Она имеет важное значение для транспортировки грузов, международного сообщения и промыслового рыболовства. Согласно ежегодникам качества поверхностных вод РФ, многие створы Амура характеризуются как «грязные» или «загрязнённые». При этом концентрации представителей галогенсодержащих углеводородов (хлорорганических пестицидов, ХОП, и полихлорированных бифенилов, ПХБ) практически не приводятся. В то же время в литературе фактически отсутствуют свежие данные о концентрациях токсикантов в биоте этой реки, что затрудняет оценку её экологического состояния и безопасности для здоровья местного населения. Таким образом, цель работы — определение концентраций ХОП (ДДТ, ГХЦГ, альдрин и дильдрин) и ПХБ в тканях промысловых рыб семейства карповых (*Syprinae*) и сравнение биоиндикационных свойств его различных представителей.

Сазан (*Syprinus carpio*) и лещ обыкновенный (*Abramis brama*) возрастом 7–8 лет отбирались на Троицком рыбоперерабатывающем комплексе (с. Джари, Хабаровский край). Определение галогенсодержащих углеводородов в органах (мышцы, печень, икра, гонады самцов, жир) проводили по стандартной методике. Органы гомогенизировали, липиды экстрагировали из гомогенатов с последующим разрушением концентрированной серной кислотой. Полученный экстракт разделяли на полярную и неполярную фазы. Основное определение массового содержания галогенсодержащих углеводородов в биоматериале проводили на газовом хроматомасс-спектрометре Shimadzu GCMS-QP2010 Ultra.

Суммарные концентрации ГХЦГ, ДДТ и ПХБ в органах леща не превышали $280 \text{ нг} \cdot \text{г}^{-1}$ липидов, сазана — $170 \text{ нг} \cdot \text{г}^{-1}$ липидов. Уровни ГХЦГ и ДДТ в рыбах статистически не различались, однако наблюдалась тенденция к их большей аккумуляции в органах сазана. В то же время концентрации ПХБ были достоверно выше во всех органах *S. carpio*, чем у *A. brama* ($p \leq 0,05$), что может быть связано с большей метаболической активностью в организме последнего. Известно, что рыбы способны разрушать ПХБ 118 в своём организме. Таким образом, чем чаще обнаруживается это соединение и чем выше его концентрация, тем ниже метаболическая активность защитных систем рыбы. По результатам исследования, этот конгенер в леще обнаружен только в гонадах

самцов и жире с диапазоном 1,1–4,6 нг·г⁻¹ липидов. В сазане ПХБ 118 зафиксирован во всех органах в пределах от 0,3 до 23,6 нг·г⁻¹ липидов. Вероятнее всего, тенденция к большему накоплению ХОП и достоверно бóльшая аккумуляция ПХБ у сазана связаны именно с низкой метаболической активностью его ферментативных систем, поскольку оба исследованных вида имели примерно одинаковый возраст (7+ . . 8+ лет). В то же время более долгое выведение и разрушение ксенобиотиков из организма сазана делает этот вид рыб хорошим биоиндикатором, поскольку позволяет зафиксировать даже небольшое по интенсивности загрязнение.

Таким образом, концентрации ХОП имели тенденцию к большему накоплению в сазане (*Cyprinus carpio*), чем в леще обыкновенном (*Abramis brama*). Уровни ПХБ также были достоверно выше в сазане. При сравнении двух рыб выявлено, что *C. carpio* является лучшим биоиндикатором СОЗ в окружающей среде, поскольку медленнее разлагает поллютанты в своём организме, что позволяет отслеживать даже небольшое загрязнение СОЗ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (соглашение 18-14-00120).

Микроэлементы в поверхностных водах горных территорий Центрального Кавказа

Дреева Ф. Р., Реутова Н. В., Реутова Т. В., Хутуев А. М.

ФГБНУ «Федеральный научный центр «Кабардино-Балкарский научный центр РАН»,

Центр географических исследований, Нальчик, Россия

f.dreeva@mail.ru

Микроэлементный состав является одним из важнейших показателей качества природных вод. Хотя микрокомпоненты содержатся в природных водах в весьма малых количествах, некоторые из них, например тяжёлые металлы, способны накапливаться в экосистемах и живых организмах и оказывать негативное воздействие на них даже после прекращения поступления (в том числе мутагенное). Однако при недостаточном поступлении ряда микропримесей в организм человека или животных могут возникнуть заболевания, вызванные их дефицитом, или нарушения обмена веществ. Именно поэтому необходимо контролировать содержание в природных водах растворимых форм микроэлементов, которые способны к активной миграции и наиболее легко усваиваются живыми организмами.

В то же время вода в реках в горных регионах считается эталоном качества, так как окружающая среда здесь практически не испытывает серьёзной антропогенной нагрузки. Исследование микроэлементного состава вод зачастую считают нецелесообразным. При этом в складчатых областях, где всё ещё происходят глубинные процессы, бывает сильно повышен геохимический фон многих микроэлементов, что не может не сказаться на составе природных вод. Одним из таких регионов является Центральный Кавказ, а именно его западная часть, которая расположена в пределах Кабардино-Балкарской Республики (КБР). Здесь на небольшой площади встречаются водотоки, имеющие разные источники питания, протекающие по отличающимся породам и в нескольких высотных поясах с различным микроклиматом, а поступающие в реки подземные воды и талые воды ледников значительно отличаются по составу даже на небольших расстояниях. Кроме того, здесь расположено множество проявлений полиметаллических руд и выходов глубинных подземных вод, в том числе минеральных, происходит выпадение загрязняющих веществ с сухими и мокрыми осадками из атмосферы и накопление их в ледниках, сток с которых питает большинство рек и ручьёв исследуемой территории. Всё это приводит к повышенному содержанию микроэлементов в природных водах даже в зонах, свободных от техногенной нагрузки.

Цель исследования — оценка загрязнённости микроэлементами водных объектов горных территорий Центрального Кавказа. Объектом исследования являются главные горные реки КБР (Малка, Баксан, Чегем и Черек), их большие и малые притоки ледникового и подземного происхождения, а также выходы подземных вод в их бассейнах водосбора. Пробы воды отбирали в период летнего ледникового половодья с 2013 по 2019 г. в 115 пунктах наблюдения, после чего их фильтровали и консервировали; затем определяли содержание растворимых форм Ag, Cd, Pb, Zn, Mn, Cu, Ni, Cr, Mo и Al методом атомно-абсорбционной спектрометрии с электротермической атомизацией на приборе МГА-915 в соответствии с ГОСТ Р 57162-2016. Оценка загрязнённости микроэлементами вод отдельных групп водных объектов (главные транзитные реки, неледниковые и ледниковые притоки, родники, озёра) в высокогорной, среднегорной и низкогорной зонах выполнялась на основе РД 52.24.643-2002 «Методика комплексной оценки степени загрязнённости поверхностных вод по гидрохимическим показателям», которая позволяет оценить загрязнён-

ность любого створа, водного объекта в целом, группы водных объектов или бассейна отдельным загрязняющим веществом или группой веществ по свободному перечню.

На основе проведённого исследования было определено, что для всех исследуемых групп водных объектов «характерным» загрязнителем с уровнем загрязнённости от «низкого» до «высокого» выступает алюминий. «Характерная» «средняя» загрязнённость медью отмечена для всех групп водных объектов, за исключением р. Чегем в низкогорной зоне, где загрязнённость классифицируется как «устойчивая» «средняя». Тот же уровень загрязнённости типичен для водных объектов региона при оценке загрязнённости цинком, однако в данном случае «устойчивая» «средняя» загрязнённость наблюдается в группе неледниковых притоков в низкогорной зоне. Загрязнённость молибденом также отмечается почти для всех групп водных объектов, за исключением р. Малка в высокогорной и среднегорной зонах, однако по повторяемости классифицируется от «единичной» до «характерной» с уровнем загрязнённости от «низкого» до «экстремально высокого» (реки Баксан и Черек, а также неледниковые притоки среднегорной зоны). Загрязнённость марганцем «низкого» и «среднего» уровня также характерна для главных рек региона исследования в высокогорной и среднегорной зонах и для их ледниковых и неледниковых притоков в высокогорье, однако по повторяемости случаев классифицируется от «неустойчивой» до «характерной». При этом «неустойчивая» «высокая» загрязнённость марганцем характерна для родниковых вод высокогорной зоны. «Средняя» по кратности превышения ПДК загрязнённость свинцом характеризуется как «единичная» и «неустойчивая» в высокогорной зоне в бассейнах рек Чегем и Черек, в неледниковых притоках высокогорной и среднегорной зон, а также в родниках среднегорья. «Единичная» и «неустойчивая» загрязнённость никелем «низкого» и «среднего» уровня характерна для р. Черек в целом, р. Баксан в высокогорно-среднегорной зоне, для всех групп притоков в высокогорье (родники, ледниковые и неледниковые реки), а также для неледниковых рек в среднегорье. Содержание хрома, серебра и кадмия в исследуемых водных объектах было значительно ниже уровня ПДК.

Несмотря на довольно высокий уровень загрязнённости исследуемых водных объектов отдельными элементами, стоит отметить, что загрязнение происходит в основном в результате природных процессов, а именно поступления микроэлементов из подстилающих горных пород и с природными минеральными водами. В большей мере это характерно для водных объектов высокогорных районов, где практически не прослеживается антропогенное влияние. Это позволяет говорить о достаточно высоком природном фоне и возвращает к необходимости введения региональных ПДК. Исключение — загрязнённость молибденом р. Баксан и её притоков в районе Тырнаузского месторождения вольфрама и молибдена. Она является результатом деятельности Тырнаузского горно-обогатительного комбината, который не функционирует уже десятки лет, однако до сих пор оказывает влияние на окружающую среду.

Перспективность оценки токсичности природных вод экспресс-биотестами с использованием гидробионтов

Зайцева О. В.^{1,2}

¹Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

²ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический университет» Минздрава России,

Санкт-Петербург, Россия

ovzaitseva@inbox.ru

В настоящее время загрязнение поверхностных вод приобрело комплексный и практически повсеместный характер. Число новых токсических веществ постоянно возрастает, и действие их смесей на живые организмы трудно предсказать. Поскольку аналитическими методами в приемлемые сроки практически невозможно определить содержание всех представляющих опасность для человека и животных токсикантов, а предельно допустимые концентрации токсикантов (ПДК_т) установлены в настоящее время только для сравнительно небольшой части загрязнителей, оценка качества вод, основанная на гидрохимических показателях, не может считаться достаточной. Она не позволяет определить последствия действия многообразных комплексов загрязнителей на состояние водных и наземных экосистем и здоровье населения. Только биологические методы могут дать прямую, интегральную оценку вреда, наносимого живым организмам и вызванного суммарным действием присутствующих в водах токсикантов с учётом их синергизма и антагонизма. При этом главную роль среди биологических методов оценки загрязнения природных вод следует отвести методам биотестирования. Именно они позволяют в относительно короткие сроки предсказать возможные последствия загрязнения и дают возможность предотвратить их наступление, в отличие от биоценологических биологических методов, которые предоставляют сведения о последствиях уже состоявшегося токсического воздействия на сообщества живых организмов.

Целью данной работы является обоснование перспективности разработки и широкого внедрения в практику контроля за состоянием природных вод разного целевого назначения прямых экспресс-методов биотестирования с использованием простых для регистрации физиологических и поведенческих реакций гидробионтов на действие загрязнителей.

В работе сделан анализ научно-технической и патентной литературы, посвящённой методам биотестирования природных вод с использованием в качестве тест-организмов разнообразных гидробионтов. Приведены оценка возможностей рассматриваемых биотестов, их чувствительность, границы применимости и использование в нашей стране и за рубежом. Обоснована необходимость широкого использования нового подхода к разработке методов биотестирования природных вод, учитывающего основные закономерности процесса адаптации, поведенческие и экологические особенности используемых гидробионтов. Сформулированы требования, которым должны удовлетворять современные биотесты и выбранные тест-организмы. Приведены примеры оригинальных запатентованных и уже широко и успешно апробированных на водах разного целевого назначения и разной загрязнённости экспресс-биотестов (оценка суммарной токсичности в течение 72 ч), которые удовлетворяют современным требованиям при проведении экологических мониторингов и токсикологического контроля за состоянием вод разного целевого назначения.

Рассматриваемые методы разработаны в ходе многолетних исследований в области изучения физиологии адаптационных процессов, организации нервной системы и поведения целого ряда представителей брюхоногих моллюсков. В качестве тест-организмов в них используются тро-

пические моллюски из специально выведенных для целей биотестирования лабораторных культур, физиология которых не подвержена сезонным изменениям. Тест-организмы выращены путём близкородственного скрещивания в экологически чистых условиях на стандартной искусственной чистой воде и кормах, что обеспечивает однотипную реакцию, одинаковую высокую чувствительность и резистентность к целому спектру токсических веществ в диапазоне от 1 до 100 ПДК_т у всех животных при проведении биотестирования. Методы отличаются простотой, высокой степенью точности и универсальностью. Они представляют собой унифицированные биологические способы, позволяющие определять при однократном применении степень общего токсического воздействия исследуемой водной среды на различных гидробионтов, высших животных и человека согласно принятым для этих организмов ПДК_т в водной среде. Способы прекрасно дополняют гидрохимические методы, а в отдельных случаях успешно конкурируют с ними. Их преимущества: 1) быстрота; 2) простота в исполнении без привлечения специального оборудования; 3) возможность определения токсического действия неизвестных веществ; 4) определение суммарного токсического действия всех растворённых в воде токсикантов с учётом их синергизма и антагонизма; 5) возможность определения, кроме общей токсичности, присутствия ряда конкретных токсикантов тестируемой воды и диапазона их концентраций; 6) степень общей токсичности водной среды определяется в степенях превышения действующих на тестируемую воду нормативов по основным токсикологическим показателям (или в долях ПДК_т) для вод разного целевого назначения.

Оценка экологического состояния малых озёр о-ва Валаам (Карелия) по водным макрофитам

Зуева Н. В., Буэнаньо Б. Б. Б.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

nady.zuyeva@ya.ru

Оценка состояния водных экосистем может проводиться с применением данных о каждой из их компонент. При биоиндикационном анализе традиционно используются материалы о зообентосе, фито- и зоопланктоне. Макрофиты как индикаторы применяются в нашей стране относительно редко. Причина этого — неразработанность методик установления качества вод и экологического состояния с их участием. В настоящее время такие методы активно развиваются во всём мире.

Целью настоящей работы была оценка экологического состояния нескольких малых озёр Валаамского архипелага по данным об их растительном покрове.

На Валаамском архипелаге Ладожского озера расположено 11 внутренних озёр. В исследовании использованы материалы о трёх из них — озёрах Игуменское, Чёрное и Оссиёво. Они характеризуются как гуминовые (85°Pt-Co), небольшие ($< 0,1 \text{ км}^2$) и неглубокие ($h_{\text{ср}} < 3 \text{ м}$) озёра. Их основные лимнологические характеристики подробно описаны в литературе [Степанова и др., 2010 ; Воякина, 2017].

Для оценки озёр была выбрана методика соседнего государства — Финляндии. Она имеет национальную систему оценки водоёмов FINMAC (финская система классификации макрофитов) [Hellsten et al., 2014 ; Aroviita et al., 2019].

В FINMAC определяются 3 показателя. Первый из них — относительная доля таксонов, типичных для каждого типа озера (PTST). Для расчета PTST вычисляют отношение типичных видов (согласно списку индикаторов для озёр разных типов), обнаруженных в исследуемом озере, к общему количеству видов, обнаруженному в озере. Второй показатель — процентное сродство модели (PMA), или сходство пропорций численности видов к эталонному озеру. PMA сравнивает сходство относительного обилия (в %) видов в оцениваемом озере со средним обилием видов, определённым для эталонного сообщества (согласно индикаторному списку). Третий показатель — эталонный (референсный) индекс (RI). Он вычисляется на основе отношения между чувствительными, толерантными и индифферентными видами. Для их установления также существует индикаторный список.

Финская методика подразделяет экологическое состояние озера на 5 классов: отличное (0,8–1), хорошее (0,6–0,8), удовлетворительное (0,4–0,6), переходное (0,2–0,4) и плохое (0–0,2).

В 2020 г. в озёрах Игуменское, Чёрное и Оссиёво было зарегистрировано 24, 29 и 36 видов макрофитов соответственно. Виды с наибольшей относительной численностью — *Elodea canadensis*, *Fontinalis antipyretica* и *Nuphar lutea*.

С применением методики FINMAC в работе были определены типы водоёмов, к которым относятся исследованные озёра. Игуменское озеро — тип Ph (гуминовые озёра, $30\text{--}90^\circ \text{Pt-Co}$; малые, $< 5 \text{ км}^2$; глубокие, $\geq 3 \text{ м}$), Чёрное и Оссиёво озёра — тип Mh (гуминовые озёра, $30\text{--}90^\circ \text{Pt-Co}$; неглубокие, $< 3 \text{ м}$). С использованием предложенных в методике списков индикаторов для каждого типа озера определены остальные характеристики. Так, по PTST, состояние озёр Игуменское, Чёрное и Оссиёво является «переходным», то есть происходят изменения в специфическом видовом составе макрофитов. По PMA, состояние в диапазоне «хорошее» — «отличное», то есть изменения

видового состава и пропорций численности по отношению к эталонному сообществу малы или незначительны. RI озёр изменяется в интервале «переходный» — «удовлетворительный», то есть наблюдается умеренное и значительное изменение видов в отношении устойчивости к биогенной нагрузке, особенно увеличение толерантных видов.

С учётом всех видов макрофитов экологическое состояние озёр Игуменское и Оссиёво является переходным, а озера Чёрное — удовлетворительным.

Выделение и изучение неферментирующих бактерий деструкторов углеводов и фенола из водной среды

Калюжин А. С.¹, Рыбальченко А. Д.², Морозова М. А.¹, Седова Д. А.^{1,3}

¹Федеральное бюджетное учреждение науки «Ростовский НИИ микробиологии и паразитологии»
Роспотребнадзора, Ростов-на-Дону, Россия

²Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону, Россия

³Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Южный федеральный университет», Академия биологии и биотехнологии имени Д. И. Ивановского,
Ростов-на-Дону, Россия

o.t.t.o94@mail.ru

Представлены результаты исследований по выделению неферментирующих бактерий — деструкторов углеводов и фенола из морской среды. Пробы воды отбирали в Чёрном море, район Гадауты (Республика Абхазия). В качестве индикатора окисления углеводов определяли деструкторы дизельного топлива, которые являются индикаторами нефтяного загрязнения морских вод. Деструкторы фенола свидетельствуют о присутствии фенолов в среде. Полученные результаты позволили оценить техногенное загрязнение морской среды по содержанию этих бактерий. Установлено, что воды Чёрного моря в районе Гадауты остаются чистым районом с низким уровнем техногенного воздействия.

Одна из самых актуальных проблем современности — проблема техногенного загрязнения водных объектов, и Чёрное море не является исключением. Микроорганизмы с высокой экологической пластичностью могут служить индикаторами таких изменений благодаря своим уникальным физиологическим, биохимическим и генетическим особенностям. Способность микроорганизмов использовать в качестве единственного источника углерода специфические органические соединения и токсические вещества применяется в микробной индикации, а наиболее активные штаммы-деструкторы — в биоремедиации. Известно, что в морских районах, постоянно загрязнённых нефтью и нефтепродуктами, образуются специфические сообщества гетеротрофных микроорганизмов, способных окислять большое количество углеводов и продуктов их трансформации [Миронов, 2018]. Высокая численность деструкторов дизельного топлива, нефти и мазута указывает на хроническое загрязнение нефтепродуктами [Дмитриева, 1999], распад которых также формирует повышенное содержание в морской воде фенола. На сегодняшний день одним из приоритетных направлений биоремедиации становится решение проблемы фенольного загрязнения. Это связано с высокой токсичностью фенолов и значительным мировым производством [Никитин, Новиков, 1980].

Целью работы являлись поиск, выделение, скрининг активных штаммов — деструкторов фенола и углеводов, а также определение их численности в воде.

Отбор проб воды проводили в октябре 2020 г. в Чёрном море (район Гадауты от N42.28°, E40.655° до N43.8924°, E40.24°).

Вода отбиралась батометром Нискина в стерильные пластиковые пробирки объёмом 15 см³. Отбор проб воды на микробиологический анализ выполняли с трёх горизонтов (поверхностный, термоклин и придонный) из 15 станций.

Для определения углеводов- и фенолоксиляющих бактерий применяли среду MMC [Mills et al., 1978; Коронелли, Ильинский, 1984]. В качестве единственного источника углерода и энер-

гии в каждую пробирку вносили 2 капли стерильного дизельного топлива марки «летнее». Для выделения фенолоксиляющих бактерий вносили фенол в количестве 0,1 % (по объёму). Посевы инкубировали при температуре $(26 \pm 1) ^\circ\text{C}$, учитывали через 4 и 5 недель после первичного посева.

Выделенные бактерии-деструкторы идентифицировали с применением сред Хью-Лейфсона, Клигера, TSI, ОКСИ-теста и НЕФЕРМЕНТ тест 24. Наличие гемолитической активности оценивали на кровяном агаре, ДНКазы — на ДНКазном агаре с толуидиновым синим.

MALDI-TOF масс-спектрометрический анализ был выполнен на приборе Autoflex Speed III с программным обеспечением Biotyper.

Результаты исследования показали, что углеводородоксиляющие бактерии регистрировали на 8 станциях из 15 в количестве $1 \text{ кл.}\cdot\text{мл}^{-1}$ и на 2 станциях — $10 \text{ кл.}\cdot\text{мл}^{-1}$. Фенолоксиляющие бактерии обнаружены в количестве $1 \text{ кл.}\cdot\text{мл}^{-1}$ на 5 станциях в основном в поверхностном горизонте и термоклине, а также на одной станции в придонном горизонте.

Основными выделенными природными деструкторами являлись неферментирующие грамотрицательные бактерии: деструктором фенола — штамм *Alcaligenes faecalis*, деструктором дизельного топлива — штамм *Pseudomonas stutzeri*.

Идентификация штаммов проведена по результатам анализа культурально-морфологических, морфометрических и физиолого-биохимических свойств в соответствии с руководством «Определитель бактерий Берджи» [1997], Определителем нетривиальных патогенных грамотрицательных бактерий [1999], а также на основании MALDI-TOF MS анализа.

Штамм *Alcaligenes faecalis* образует жёлтый растворимый пигмент, диффундирующий в агар, оксидаза- и каталаза-положительный, индол- и уреазы-отрицательный, утилизирует цитрат. На среде TSI не образует кислоту и газ, растёт при $+25$, $+35$ и $+42 ^\circ\text{C}$, не обладает гемолитической и ДНКазной активностью, лизинкарбоксилазой, аргениндегидролазой, орнитиндекарбоксилазой. Рост при наличии 6 % NaCl. Значение score value составило 2,336.

Штамм *Pseudomonas stutzeri* образует светло-жёлтый нерастворимый пигмент, утилизирует цитрат, оксидаза- и каталаза-положительный, на среде TSI образование кислоты без газа, растёт при $+25$, $+35$ и $+42 ^\circ\text{C}$, не обладает гемолитической и ДНКазной активностью, лизинкарбоксилазой, аргениндегидролазой, орнитиндекарбоксилазой. Рост при наличии 6 % NaCl. Значение score value — 2,247.

Таким образом, по результатам исследований установлена низкая численность бактерий, окисляющих углеводороды ($1\text{--}10 \text{ кл.}\cdot\text{мл}^{-1}$) и фенол ($1 \text{ кл.}\cdot\text{мл}^{-1}$). Это является показателем незначительной техногенной нагрузки на акваторию Чёрного моря в районе Гудауты. Природным деструктором фенола определён штамм *Alcaligenes faecalis*, деструктором углеводорода — *Pseudomonas stutzeri*.

Использование композитных индексов для интегральной оценки экологического состояния водотоков

Козлова А. В., Зуева Н. В.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

alinchkakzlv@rambler.ru

Проблема загрязнения водных экосистем весьма актуальна. Во многих развитых регионах качество воды постоянно ухудшается. В геоэкологических исследованиях наиболее целесообразным является применение системного подхода для анализа основных свойств и характеристик водных экосистем.

Объектом исследования в работе является одна из наиболее загрязнённых малых рек, протекающих по территории г. Санкт-Петербурга и Ленинградской области, — река Ижора. По данным ежегодно проводимых специализированными службами наблюдений, воды р. Ижоры по гидрохимическим показателям в устьевой зоне оцениваются как «загрязнённые». Также, согласно литературным источникам, этот водоток характеризуется высоким содержанием разных форм азота, повышенным содержанием органических соединений и, как следствие, низким содержанием растворённого кислорода. Ввиду высокой загрязнённости устьевого участка здесь отмечается низкое видовое богатство макрозообентоса.

Для оценки экологического состояния водотока использованы данные собственных натуральных исследований. Работы проводились в июле 2019 г. на 4 станциях отбора проб, при движении от истока к устью. Конечная точка отбора проб расположена в устьевой области и совпадает со станцией государственного мониторинга реки Ижора.

Для расчёта композитного индекса построена модель-классификация экологического состояния малой реки. При построении оценочных шкал в модели использовались 3 приоритетных признака — гидрохимический, гидробиологический и токсикологический. В качестве гидрохимической составляющей для расчёта композитного индекса применён канадский индекс оценки качества воды CCME WQI (Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index). Индекс был утверждён в 2001 г. и с тех пор широко используется не только в Канаде, но и во всём мире. Данный параметр легко может быть применён для анализа степени загрязнённости любых рек, позволяя отслеживать изменение качества воды на конкретном участке с течением времени. В качестве норматива в расчёте индекса использованы значения предельно допустимой концентрации загрязняющих веществ для водных объектов рыбохозяйственного значения.

Из гидробиологических показателей использовались биотические индексы, полученные на основе данных о макрозообентосе: биотический индекс Вудивисса, индекс сапробности по Чернопруду и олигохетный индекс Гуднайта — Уитли в модификации Пареле.

Токсикологическая составляющая в модели-классификации экологического состояния водной экосистемы включала результаты биотестирования природной воды с использованием тест-объекта *Chlorella vulgaris* Beijer. Для этого тест-объекта отмечен наибольший уровень токсичности анализируемой воды, в связи с чем он и был включён в модель.

Процедура расчёта композитного индекса выполнена с использованием метода сводных показателей. Данный подход является надёжным инструментом обобщения информации об основных свойствах природных экосистем, в частности водных.

В данной работе при построении модели-классификации и при расчёте итогового композитного индекса выполнены две процедуры свёртывания исходной информации. На первом этапе оценочные шкалы для используемых биотических индексов были объединены в интегральный показатель гидробиологических характеристик водотока. При реализации второго уровня свёртки информации в предложенной модели были получены уже итоговые результаты анализа экологического состояния малой реки. При расчёте композитного индекса выделено пять категорий экологического состояния: катастрофическое, кризисное, неудовлетворительное, удовлетворительное и благополучное. Используемые в расчёте приоритетные признаки были приняты между собой равновесными.

Результаты расчёта композитного индекса позволили сделать вывод о том, что участки среднего течения реки Ижора характеризуются удовлетворительным экологическим состоянием. Станция отбора проб в истоке реки по значению композитного индекса отнесена к категории неудовлетворительного экологического состояния. Такие результаты связаны с природными характеристиками данного участка: это родник. Здесь зафиксирована минимальная концентрация растворённого кислорода, отмечается преобладание олигохет. Максимальным значением композитного индекса отличается устьевой участок реки, для которого отмечается кризисное экологическое состояние.

Таким образом, проведённая оценка экологического состояния Ижоры позволила количественно оценить каждый исследуемый участок реки с присвоением ему определённой категории экологического состояния. Истоковая область отличается неудовлетворительным экологическим состоянием, что вызвано её природными особенностями. Удовлетворительное экологическое состояние характерно для среднего течения водотока. Данный участок также подвержен загрязнённости, о чём говорят результаты оценки. Особого внимания заслуживает участок, расположенный в устьевой зоне. Здесь отмечается наихудшее экологическое состояние по всем анализируемым показателям и по итоговому значению композитного индекса.

Загрязнение шельфа северо-восточного района Чёрного моря приоритетными токсикантами в 2019–2020 гг.

Кораблина И. В., Геворкян Ж. В., Клименко Т. Л., Сиверина Т. В.

Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону, Россия

korablina_i_v@azniirkh.ru

Всесторонние исследования Чёрного моря показывают, что его жизнеспособность продолжает ухудшаться. В Чёрное море сливают свои отходы 20 стран Европы, причём основная нагрузка ложится на наиболее мелководную его часть, где зарождается 65 % всех живых организмов и расположены основные нерестилища. В карте опасных регионов Чёрное море занимает одно из первых мест по загрязнению нефтепродуктами.

В 2019–2020 гг. Азово-Черноморским филиалом ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ») в рамках мониторинга северо-восточной части Чёрного моря проводились комплексные съёмки шельфа, оценивающие среди прочих параметров степень загрязнения воды и донных отложений приоритетными нормируемыми в рыбохозяйственных водоёмах токсикантами. Исследования осуществлялись в весенний — раннелетний (май — июнь) и летний — раннеосенний (август — сентябрь) периоды на 23 станциях многолетней стандартной сетки наблюдений (с 1991 г.).

В водной толще акватории шельфа (траверз мыса Панагия — устья р. Мзымта) в оба сезона наблюдений концентрации нефтепродуктов превысили ПДК_{р/х} в 1,2–3,2 раза в поверхностном слое вод (глубина 0–0,5 м) (с максимальным показателем на траверзе устья р. Вулан); в слое термоклина зарегистрировано превышение до 2,6 раза (с максимумом на траверзе м. Видный); в придонном горизонте — до 10 раз на траверзе Абрауского полуострова (в зоне возможного влияния Каспийского трубопроводного консорциума, пос. Южная Озереевка). В донных отложениях большей части обследованной акватории концентрации нефтепродуктов были невысокими (< 0,015–0,950 г·кг⁻¹ сухой массы), однако на траверзе Абрауского полуострова значения превысили пороговый для нормальной жизнедеятельности гидробионтов уровень (1 г·кг⁻¹) до 1,3 раза.

Концентрации канцерогенного бенз(а)пирена в воде (< 0,02–0,57 нг·дм⁻³) и донных отложениях (0,04–9,68 мкг·кг⁻¹ сухой массы) находились значительно ниже ПДК (для воды водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования — 5 нг·дм⁻³; для почв — 20 мкг·кг⁻¹). Наиболее высокие показатели в водной толще приурочены к району Большого Сочи, в донных осадках — к траверзу Абрауского полуострова. Содержание анионных синтетических поверхностно-активных веществ в акватории шельфа также было значительно ниже ПДК_{р/х} (< 10–46 мкг·дм⁻³).

Из стойких хлорорганических пестицидов (далее — ХОП) почти в каждой второй пробе воды обнаружены изомеры препарата ДДТ (4,4'-ДДЕ и 4,4'-ДДД), а в летний — раннеосенний период — ещё α- и γ-изомеры препарата ГХЦГ (4,4'-ДДТ и 2,4'-ДДЕ). Во всех случаях сумма стойких ХОП (7,8–10,8 нг·дм⁻³) не превысила ПДК_{р/х}. Более часто стойкие ХОП встречаются в слое воды от поверхности до термоклина, географически — в Керченском предпроливье. Почти в каждой второй пробе донных отложений присутствовали метаболиты препарата ДДТ (4,4'-ДДЕ, 2,4'-ДДД и 4,4'-ДДД) в низких концентрациях — суммарно 0,3–19,1 мкг·кг⁻¹ сухой массы. В летний — раннеосенний период в донных осадках Керченского предпроливья также встречался γ-ГХЦГ в следовой концентрации (0,1 мкг·кг⁻¹ сухой массы). С момента вступления в силу в 2004 г. Стокгольмской кон-

венции о запрете применения стойких ХОП, ратифицированной большинством стран, их метаболиты и изомеры продолжают периодически обнаруживаться в воде и донных отложениях Чёрного моря.

Более чем в $\frac{1}{2}$ проанализированных проб воды обследованной акватории шельфа северо-восточной части Чёрного моря обнаружены полихлорированные бифенилы (далее — ПХБ). Из индивидуальных конгенов ПХБ идентифицированы преимущественно пента- и гексахлорбифенилы (включая высокотоксичные диоксиноподобные 2,3,3',4,4'-пентахлорбифенил и 2,2',3,4,4',5'-гексахлорбифенил) в суммарной концентрации 1,2–44,2 нг·дм⁻³. В России в качестве стандартного образца для расчёта ПДК_{р/х} ПХБ (10 нг·дм⁻³) принят смесевой препарат «Арохлор 1254», включающий соединения с эмпирическими формулами C₁₂H₇Cl₃ (1 конгенер), C₁₂H₆Cl₄ (15 конгенов), C₁₂H₅Cl₅ (53 конгенера), C₁₂H₄Cl₆ (26 конгенов), C₁₂H₃Cl₇ (4 конгенера). В воде Чёрного моря обнаружены другие конгенеры; следовательно, говорить о превышении ПДК_{р/х} ПХБ некорректно. Тем не менее суммарные концентрации ПХБ, превысившие ориентировочные 10 нг·дм⁻³ более чем в 3 раза, зафиксированы по траверзу Абрауского полуострова, Геленджикской бухты, устья р. Вулан и в «Анапской банке». Более высокие концентрации ПХБ отмечались в слое термоклина, географически — на траверзе м. Видный. В донных отложениях из конгенов ПХБ в единичных случаях в весенний — раннелетний период присутствовали преимущественно гексахлорбифенилы в низких концентрациях (до 6,7 мкг·кг⁻¹ сухой массы с максимальным значением на траверзе Абрауского полуострова).

Случаи превышения ПДК_{р/х} железа в 1,2–3,4 раза отмечались в оба сезона наблюдений на всех горизонтах отбора проб с более высокими показателями в Керченском предпроливье. В этом же районе в поверхностном слое вод зарегистрировано превышение ПДК_{р/х} марганца более чем в 4 раза; в слое термоклина — свинца в 1,2 раза; в придонном горизонте — никеля и марганца до 2,6 и 7,8 раза соответственно. Превышение ПДК_{р/х} никеля до 2,5 раза встречалось также в летний — раннеосенний период в поверхностном горизонте на траверзе устья р. Псезуапсе. Концентрации цинка, меди, хрома, ртути и кадмия в воде шельфа не превышали рыбохозяйственных нормативов; мышьяк найден не был (< 2,5 мкг·дм⁻³). В донных осадках шельфа содержание тяжёлых металлов, мышьяка и радионуклидов (цезий-137, стронций-90) в среднем соответствовало данным многолетних наблюдений.

В целом обследованная акватория шельфа северо-восточного района Чёрного моря в 2019–2020 гг. по показателям загрязнения приоритетными токсикантами являлась благоприятной для воспроизводства и жизни водных биологических ресурсов.

Тест-системы для обнаружения генотоксикантов в окружающей среде

Королев В. Г., Курбанов Г. Ф.

Петербургский институт ядерной физики имени Б. П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Гатчина, Россия

korolev_vg@npi.nrcki.ru

Человечество во всё возрастающих масштабах подвергается действию разнообразных химических соединений — продуктов химической промышленности, пищевых добавок, отходов промышленного производства, энергетики, транспорта, а также целого арсенала пестицидов, широко используемых в сельском хозяйстве.

Известно, что некоторые из этих веществ проявляют мутагенные и канцерогенные свойства, угрожая здоровью людей настоящего и будущего поколений. В то же время накопление таких соединений в природе создаёт реальную опасность резкого ускорения мутирования вредных организмов, что приводит к ускорению их эволюции и появлению новых патогенных форм.

Генетический материал клетки является главной мишенью при действии ионизирующей радиации, УФ-излучения, практических всех химических карциногенов, а также множества биологически активных химических веществ. Молекулы ДНК, являющиеся хранителями генетической информации, имеют огромные молекулярные массы и, как следствие, подвержены постоянному спонтанному и индуцированному разрушению исходной структуры.

Изучение генов, ответственных за стабильность генома, является основной проблемой лаборатории генетики эукариот ПИЯФ НИЦ КИ. Практическим выходом этих исследований стало создание тестерных организмов с резко сниженной способностью ремонтировать (репарировать) повреждения, введённые в ДНК клетки с помощью физических и химических воздействий.

Наиболее удобным тест-объектом для регистрации разнообразных генетических эффектов веществ, загрязняющих окружающую среду, являются дрожжи-сахаромицеты.

К преимуществам использования этого микроорганизма относятся: 1) хорошая генетическая изученность дрожжей; 2) в работе с дрожжами применимы все методы, используемые в генетике микроорганизмов, что обуславливает проведение быстрых и достаточно дешёвых экспериментов; 3) лёгкость проведения экспериментов на дрожжах сочетается с возможностью учитывать широкий круг генетических эффектов, характерных для эукариотической клетки, и анализировать систематически большой по объёму материал.

Выключая определённым образом ремонтные системы в клетках наших объектов, мы создали высокочувствительные тест-штаммы дрожжей. Эти тестеры в настоящее время интенсивно используются нами для определения генетической активности различных веществ, включая новые и применяемые в практике лекарства, химические средства борьбы с сельскохозяйственными вредителями, а также природных вод и вод, загрязняемых промышленными стоками. Эти тестеры показали высокую эффективность в определении генетической активности веществ. При этом они дешёвы, позволяют быстро получать надёжный результат и обладают интегральной чувствительностью к подавляющему большинству химических и физических факторов, повреждающих генетический материал. Последнее свойство особенно ценно, так как позволяет в одной пробе определять суммарную генетическую активность всех присутствующих в ней веществ, в то время как активность отдельных веществ может быть намного ниже уровня чувствительности метода.

С помощью дрожжевых тест-систем мы провели генетико-токсикологический анализ вод ряда рек, сбросов очистных сооружений нескольких предприятий и населённых пунктов и т. д. В большинстве случаев генетическая активность изученных растворов была близка к норме, однако отмечены и резкие отклонения от неё. Например, вода реки Оредеж в районе поселка Вырица обладала очень высокой генетической активностью. Источником загрязнения оказалось небольшое предприятие на берегу реки.

Так как данный метод даёт интегральный показатель генетической активности чистых веществ и любых их смесей, отпадает необходимость проведения анализов отдельно взятых технологических участков и производств данного предприятия. При обнаружении генетической активности суммарных стоков возможно проведение дробного анализа для поиска конкретного источника генетической опасности.

В настоящее время в нашем институте ведутся фундаментальные исследования, которые приводят к дальнейшему совершенствованию уже разработанных тест-систем и к созданию новых.

Исследование выполнено в рамках государственного задания по теме «Мультикомпонентные биологические системы: структурно-динамическая и функциональная организация» (№ АААА-А19-119091890069-7).

Природный радионуклид ^{210}Po в отдельных компонентах экосистем крымских озёр

Коротков А. А.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

a.korotkoff@mail.ru

Полоний-210 относится к числу наиболее интересных и важных для изучения природных радионуклидов ввиду своей высокой радиологической значимости для биоты. Дозовый конверсионный фактор для ^{210}Po имеет одно из самых высоких значений, установленных для радиоактивных элементов. Известно, что этот радионуклид, в силу своих физико-химических свойств, является основным вкладчиком в дозу облучения живых организмов. При поступлении в водоёмы ^{210}Po преимущественно абсорбируется взвешенными органическими частицами, в дальнейшем оседая вместе с ними или (при поглощении гидробионтами) включаясь в трофические цепи.

Целью исследования являлась оценка способности живых и косных компонентов экосистем ряда озёр, расположенных по всей территории Крымского полуострова, накапливать ^{210}Po . Каждое из этих озёр (в большинстве своем солёных или гиперсолёных) представляет собой уникальную экосистему со своеобразным гидрохимическим режимом и структурой сообществ живых организмов. Материал для работы отобран во время ряда сухопутных экспедиций 2017–2020 гг. ^{210}Po определяли в пробах воды, взвешенного вещества, донных отложений, а также в наиболее массовых гидробионтах, обитающих в изучаемых водоёмах.

Концентрации ^{210}Po в пробах воды, пропущенных через фильтр пористостью 0,5 мкм, существенно различались для разных озёр. Наибольшие концентрации отмечены в гиперсолёных озёрах — Чокракском (более $220 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$), Тобечикском ($75 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$) и Сасык-Сиваш (около $54 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$), а наименьшие — в пресном озере Кызыл-Яр ($0,6\text{--}1,4 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$). Помимо озёр, для сравнения были определены концентрации полония в 3 пробах воды различной солёности из залива Сиваш (Азовское море). Отмечено, что отношение удельных активностей ^{210}Po в нефилтрованных и фильтрованных пробах возрастает по мере снижения солёности воды. Коэффициенты накопления (далее — КН) ^{210}Po взвешенным веществом (0,5 мкм и более) в различных озёрах составляли от 10^2 до 10^4 , возрастая с уменьшением солёности.

Концентрации ^{210}Po в верхних слоях донных отложений изученных озёр варьировали в широких пределах от $3 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ сухой массы (оз. Акташское) до более чем $80 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ сухой массы (оз. Чокрак). Наиболее высокой аккумулярующей способностью в отношении ^{210}Po отличались темные илы (КН достигали 10^4), в то время как песчаные донные отложения показали низкие КН даже в пределах одного водоёма. Такое распределение полония подтверждает его связь с органическим взвешенным веществом.

Показана высокая аккумулярующая способность в отношении ^{210}Po гидробионтов-фильтраторов, обитающих в изученных озёрах, в частности типичного обитателя солёных и гиперсолёных озёр Крыма — жаброногого рачка *Artemia* spp. Взрослые артемии были отобраны в озёрах Джарылгач, Бакальское и Кирлеутское. Концентрации ^{210}Po в телах рачков варьировали в значительных пределах в зависимости от даты отбора, что, по-видимому, указывает на связь накопления полония артемиями с их жизненным циклом. Максимальные концентрации ^{210}Po достигали $150\text{--}200 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ сырой массы (КН от 10^4 до 10^5). На основании полученных данных были рассчитаны дозы, формируемые в изученных гидробионтах альфа-частицами ^{210}Po .

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИНБЮМ № 121031500515-8.

Биоиндикация для определения сапробности малых рек г. Хабаровска и его окрестностей

Куленко Е. А., Никитина Л. И.

Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск, Россия

kulenko_elena.95@mail.ru

Малые реки городских территорий осуществляют сток поверхностных вод с окрестных водосборов в крупные реки и водотоки, оказывая при этом воздействие на гидрологический, биологический и биохимический режимы. От степени урбанизации территории зависят количество и состав выносимых с водами малых рек взвешенных и растворённых веществ природного и техногенного характера. При стремительном индустриальном развитии в условиях роста городов отношение к малым рекам зачастую не отвечает минимальным экологическим нормам.

Представители типа Ciliata (Ciliophora), выполняющие существенную функцию в деструкции органических веществ, а также в образовании и жизнедеятельности биоценозов, являются неотъемлемой составляющей водных экосистем. Инфузории — важнейшее звено в переносе энергии и вещества в экосистеме между трофическими уровнями. Существенной особенностью инфузорий является их индикационное значение: они могут служить индикатором уровня антропогенного воздействия на окружающую среду, в частности на водные объекты.

В настоящее время водотоки малых рек Чердымовка, Полежаевка, Плюснинка и Гнилая Падь находятся под значительным антропогенным воздействием, которое обуславливается деятельностью предприятий, коммунально-бытовых хозяйств, а также населения. В связи с этим исследование и последующее сохранение биологического разнообразия малых водотоков служат образованию устойчивых экосистем.

Проведено исследование фауны инфузорий малых рек г. Хабаровска — Чердымовки, Полежаевки, Плюснинки и Гнилой Пади. Выявлена сезонная динамика цилиатного населения; прослежена трофическая структура сообществ инфузорий; проанализирована структура сапробных комплексов цилиофауны в водотоках анализируемых малых рек.

В процессе цитологического анализа зарегистрировано 27 видов инфузорий, которые относятся к 2 подтипам (Postciliodesmatophora и Intramacronucleata) и 7 классам, из которых наиболее многочисленными были Oligohymenophorea (9 видов, или 33,3 %) и Spirotrichea (7 видов, или 26 %), формирующие больше половины (59,3 %) от всей определённой фауны цилиат.

Максимальное количество видов цилиат зафиксировано в гидробиологических образцах реки Чердымовка — 18 видов, что соответствует 66,6 % от всей обнаруженной фауны инфузорий. К тому же в числе видов инфузорий данного водоёма зарегистрировано несколько стенотопных представителей. Среди них можно выделить *Stylonychia pustulata*, *Acineria* sp., *Chilodonella* sp. и *Trithigmostoma steinii*.

В реках Плюснинка, Полежаевка и Гнилая Падь выявлено 15, 15 и 16 видов цилиат соответственно, или 55,5 %, 55,5 % и 59,2 % всего видового состава исследованных цилиоценозов. Несмотря на относительно небольшое богатство видов в исследуемых водоёмах, в них тоже были обнаружены стенотопные виды, населяющие малые реки, — *Metopus* sp., *Amphileptus pleurosigma* и *Epistylis chrysemidis*.

Анализ полученных данных по сезонной динамике показал, что у инфузорий малых рек г. Хабаровска отмечаются разные периоды максимальной численности видов. Для подземных рек Плюсинка и Чердымовка наибольшее число видов приходится на зимний период. В тёплое время года в эти две реки поступают ливневые стоки с дорог и улиц города, вследствие чего происходит «разбавление» этих малых рек; ввиду этого прослеживается незначительное видовое разнообразие фауны инфузорий (от 4 до 9 видов). В холодное время года реки не замерзают, систематически принимая неочищенные сточные воды, из-за чего количество видов возрастает до 12–13. Для реки Полежаевка пик численности приходится на осенний период, а для реки Гнилая Падь — на весенне-летний. Максимальное видовое разнообразие инфузорий, зафиксированное в осенний период, объясняется в первую очередь ростом бактерий после цветения водорослей и перераспределением органических веществ и биогенных элементов во время гомотермии. Весенне-летний предел численности видов обоснован попаданием с тальмими водами аллохтонного органического вещества и связанным с ним стремительным онтогенезом бактерий.

Анализ распределения фауны инфузорий по трофическим группам показал, что преобладающее большинство инфузорий обследованных малых рек г. Хабаровска относятся к бактерио-детритофагам, основную часть рациона которых составляют бактерии и детрит. В пресноводных экосистемах, в которых активно разлагается органическое вещество и развивается микрофлора, кластер бактерио-детритофагов распространён широко. На долю этой трофической группы инфузорий приходится 66,7 % от всей выявленной цилиофауны. Доля видов альгофагов составляет 18,5 % от всего видового разнообразия цилиат, а неселективных всеядных — 11,1 %. Единственным хищным представителем цилиофауны малых рек г. Хабаровска является *Amphileptus pleurosigma*.

По принадлежности к основному биотопу подавляющее большинство видов инфузорий (63 %) исследованных малых рек г. Хабаровска относится к «переходной» экологической группе. Это связано с небольшой глубиной малых рек, малой скоростью течения, а также с особенностями гидробиологического материала.

Цилиофауна обладает высокой восприимчивостью к химическому составу вод и вследствие этого используется как индикатор органического загрязнения. Формируясь в большом количестве в мезо- и полисапробных водах, представители цилиофауны принимают участие в процессах самоочищения водоёмов.

Из выявленного количества фауны инфузорий к категории олигосапробных относится 1 представитель (3,7 % от всей обнаруженной цилиофауны), к β -мезосапробной относятся 3 вида (11,1 %), к α -мезосапробной — 18 (66,7 %), к полисапробной — 5 представителей (18,5 %). При анализе состава сапробных групп фауны инфузорий для малых рек г. Хабаровска установлено, что во всех исследуемых реках доминируют представители α -мезосапробного комплекса, что свидетельствует о значительной антропогенной нагрузке на изучаемые малые реки.

Хлорорганические соединения в воде и гидробионтах в черноморских прибрежных районах Крыма

Малахова Л. В.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

malakhovalv@ibss-ras.ru

Активное применение продуктов химической промышленности в различных сферах деятельности человека в XX в. привело к поступлению в морскую среду значительных количеств токсичных веществ, которых в природе не существовало. В первую очередь к таким веществам относятся хлорорганические соединения (далее — ХОС): хлорпестициды (ГХЦГ, ДДТ и др.) и полихлорбифенилы (далее — ПХБ). У истоков работ по исследованию ХОС во всех компонентах прибрежных экосистем Крыма стоял академик НАН Украины Г. Г. Поликарпов — организатор и руководитель отдела радиационной и химической биологии ИнБЮМ с момента его создания до 1991 г. В ОРХБ с начала 1970-х гг. по настоящее время хлорорганические ксенобиотики изучаются как в аспекте их биогеохимической миграции в водных экосистемах, так и в плане их действия на гидробионты. Несмотря на принятый международным сообществом запрет производства и использования ХОС, они до настоящего времени ещё поступают в Чёрное море из многих источников: с промышленными, сельскохозяйственными и бытовыми стоками, с атмосферными осадками, со сбросом отходов в районах дампинга, с льяльными водами и др. По итогам многолетних исследований загрязнения прибрежных районов Крыма в группу приоритетных ХОС включены ДДТ и ПХБ. Данные по их пространственному распределению показали, что интенсивность гидрологических процессов в море не обеспечивала выравнивания градиентов в полях распределения ХОС по всей акватории моря и что в прибрежных черноморских районах Крыма сформировались так называемые критические зоны в отношении ХОС, где их концентрация в компонентах экосистем существенно превышает таковую в условно чистых (фоновых) районах [Егоров и др., 2013]. Целью данной работы был анализ сведений по содержанию ХОС в воде и гидробионтах Чёрного моря в прибрежных районах Крыма за последние 20 лет.

Определение ХОС проводили газохроматографическим методом: до 2017 г. — на хроматографе Varian 3800 с ЭЗД, в дальнейшем — на хроматографе «Хроматэк-Кристалл 5000» (Россия) с микроЭЗД в НОЦКП «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ. Результаты определения ХОС в воде прибрежных и открытых районов моря, полученные в исследованиях на малых судах и в 17 рейсах на НИС «Профессор Водяницкий» за период 1999–2020 гг., показали, что временной ход содержания ХОС в воде был неравномерным, сопровождался сезонными минимумами и максимумами. Содержание суммы шести индикаторных конгенов ПХБ ($\Sigma 6\text{ПХБ}$) в воде варьировало в широких пределах от $< 0,1$ до $110 \text{ нг} \cdot \text{л}^{-1}$ и в среднем превышало более чем в 8 раз концентрацию суммы п,п'-ДДТ и его метаболитов п,п'-ДДЭ и п,п'-ДДД ($\Sigma \text{ДДТ}$), изменявшаяся в этот же период от $< 0,1$ до $23 \text{ нг} \cdot \text{л}^{-1}$. Наибольшие значения как $\Sigma \text{ДДТ}$, так и $\Sigma 6\text{ПХБ}$ были обнаружены в 1999 г. Исходный пестицид п,п'-ДДТ был зарегистрирован в 70 % проб воды. Доля его концентрации в воде от содержания $\Sigma \text{ДДТ}$ изменялась в разные годы и сезоны от 4 до 78 % (при среднем за последние 10 лет значении 37 %). Среднегодовое отношение $(\text{ДДД} + \text{ДДЭ}) / \text{ДДТ}$ изменялось в диапазоне от 0,41 до 0,96 (при среднем 0,68), что свидетельствует о продолжающемся поступлении ДДТ в экосистему моря. С 2010 по 2020 г. средняя концентрация $\Sigma \text{ДДТ}$ в воде имела статистически значимый тренд к снижению ($R^2 = 0,61$; $p < 0,05$), что связано как с уменьше-

нием новых поступлений соединений этой группы в акваторию Чёрного моря, так и с элиминацией ранее поступивших объёмов пестицидов из водных масс. Подобного тренда для концентрации ПХБ выявлено не было, при этом в паводковые весенние и летние периоды их содержание в воде повышалось.

Широкая распространённость ХОС в воде Чёрного моря, а также их липофильные свойства и высокая устойчивость к разложению в условиях окружающей среды определяли их накопление в гидробионтах во многих районах моря. Являясь активными фильтраторами, черноморские мидии *Mytilus galloprovincialis* как из естественных, так и из культивируемых популяций аккумулировали ХОС даже при относительно низкой их концентрации в морской воде. В 2005 г. было определено пространственное распределение ХОС в мягких тканях мидий в районах от побережья Карадага до оз. Донузлав; показано, что минимальная концентрация ХОС обнаружена в восточном побережье Крыма (район Карадага), наибольшая — в бухтах г. Севастополя с ограниченным водообменом с открытым морем. На примере Севастопольского региона показано дифференциальное накопление ХОС в органах мидий. Диапазон концентраций Σ ПХБ изменялся от 8 в жабрах до $459 \text{ нг} \cdot \text{г}^{-1}$ сырой массы в гепатопанкреасе. В открытых районах, не подверженных антропогенному прессу, в органах мидий также подтверждено дифференцированное накопление ПХБ, при том что уровень концентрации был на порядок ниже, чем в загрязнённых районах.

Выявлено, что на содержание и распределение ХОС в органах рыб оказывали влияние несколько факторов — жирность тканей, пол особи и уровень загрязнённости среды обитания. Для придонных видов рыб (*Scophthalmus maxima maeotica*, *Scorpaena porcus* и *Raja clavata*) показано, что печень является критическим органом, в котором в наибольшей степени концентрируются ХОС. В 2008–2011 гг. в печени черноморской камбалы калкан концентрация Σ ДДТ достигала 224, Σ ПХБ — $139 \text{ нг} \cdot \text{г}^{-1}$ сырой массы. Концентрация ХОС у самцов была выше в среднем в два раза, чем у самок калкана [Malakhova et al., 2014]. В этот же период в печени морской лисицы *Raja clavata* содержание Σ ДДТ и Σ ПХБ составило 79 и $67 \text{ нг} \cdot \text{г}^{-1}$ сырой массы соответственно. Более низкие значения концентрации ХОС могут быть связаны с отличием метаболизма ХОС в таких хрящевых рыбах, как морская лисица, механизмы накопления для которых менее изучены по сравнению с костистыми видами рыб. Также это может быть обусловлено различием уровня загрязнённости районов вылова, как было показано для ерша *Scorpaena porcus*. В бухтах с затруднённым водообменом концентрация ХОС в печени ерша была многократно выше, чем в открытых морских районах г. Севастополя; она варьировала в диапазоне 44–328 и 94–2044 $\text{нг} \cdot \text{г}^{-1}$ сырой массы для Σ ДДТ и Σ ПХБ соответственно и положительно коррелировала с концентрацией ХОС в донных осадках ($R^2_{\Sigma\text{ДДТ}} = 0,69$ и $R^2_{\Sigma\text{ПХБ}} = 0,67$; $p < 0,05$) [Малахова и др., 2020].

Во многих работах сообщается, что в морских экосистемах происходит передача ХОС по пищевой цепи, а коэффициенты накопления и биомагнификации достигают $10^2 \dots 10^5$. Особое внимание было уделено исследованию иерархов пищевой цепи Чёрного моря — китообразных *Tursiops truncatus*, *Phocoena phocoena* и *Delphinus delphis*. В 2003 и 2005 гг. ХОС были определены в тканях мышц, лёгких, сердце, почках, печени, подкожном жировом слое дельфинов. Во всех изученных органах обнаружены остаточные количества изомеров гексахлорциклогексана, гексахлорбензола, ДДТ, его дериватов и ПХБ. Результаты показали, что максимальные концентрации ХОС обнаружены в органах с высоким показателем жирности — в подкожном жировом слое и печени. При нормализации на содержание липидов в органах наиболее высокими концентрации ХОС оказались в печени. В 2017 г. доминирующим загрязнителем в подкожном жире был метаболит ДДТ — п,п'-ДДЭ, доля которого составляла более 65 % от суммы ХОС, а концентрация достигала $147 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ липидов [Логоминова и др., 2018]. Неоднородность выборки не позволила получить статистически до-

стойких трендов концентрации ХОС в дельфинах Чёрного моря, однако на фоне значительного снижения ДДТ в воде сохраняются их высокие концентрации в подкожном жире, печени и мышцах черноморских дельфинов, выброшенных на берег Крыма в период с 2003 по 2020 г. В докладе обсуждаются возможные причины наблюдаемых тенденций.

Работа подготовлена по теме государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Молекулярно-биологические и биохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ 121031500515-8).

Многолетняя динамика гидрохимических показателей и количественных характеристик фитопланктона в порту Темрюк (2006–2020 гг.)

Матасова И. Ю., Тёубова В. Ф.

Новороссийский учебный и научно-исследовательский морской биологический центр (филиал)
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», Новороссийск, Россия

biozentr@yandex.ru

Морской порт Темрюк расположен в Темрюкском заливе Азовского моря, в 3 км от устья р. Кубань. Это активно развивающийся порт, способный перегружать до 9400 тыс. тонн в год сухих, наливных, накатных и контейнерных грузов. В порту продолжают развиваться существующие терминалы и планируется строительство новых (перегрузочного комплекса сжиженных углеводородных газов, перевалочного комплекса жидких химических продуктов, терминала по перегрузке нефтепродуктов и т. п.).

В рамках хозяйственных работ НУНИМБЦ проводит мониторинг состояния биоты и среды её обитания в порту Темрюк с 2006 г.

В данной работе проанализированы изменения химических показателей морской среды и количественных характеристик фитопланктона в период с 2006 по 2020 г. у причалов № 19, 22 и 23. Отбор проб проводили 3–4 раза в год: в марте, июне, сентябре и ноябре-декабре. Всего для химического анализа и для определения качественного и количественного состава фитопланктона отобрано по 148 проб морской воды. Морскую воду исследовали на следующие химические показатели по стандартным методикам: растворённый кислород, окисляемость перманганатная, фосфаты, ион аммония, нитриты, нитраты, нефтепродукты, БПК₅, медь, цинк, свинец, кадмий, железо общее, фенол и взвешенные вещества. Фитопланктон отбирали в поверхностном горизонте пластиковым ведром с последующей фиксацией формалином. Пробы объёмом 1,5 л сгущали методом обратной фильтрации через трековую мембрану с размером пор 2 мкм.

Анализ результатов количественного химического анализа показал, что по растворённому кислороду, биогенным веществам и содержанию кадмия морская вода в порту Темрюк за весь период исследования соответствовала рыбохозяйственным нормативам. По остальным нормируемым показателям зафиксированы случаи превышения ПДК: единичные — по меди, цинку и свинцу; около двух десятков (неустойчивое загрязнение) — по нефтепродуктам и железу общему; в трети проб (устойчивое) — по фенолам; в более чем 50 % проб (характерное) — по взвешенным веществам и БПК₅. Уровень загрязнённости по степени кратности превышения ПДК в большинстве случаев низкий (в 1–2 раза); иногда — средний (в 2–10 раз).

Индекс загрязнённости вод (далее — ИЗВ), рассчитанный по годам по растворённому кислороду и ещё трём компонентам, которые имеют самые высокие значения кратности ПДК, равен 1,06, что соответствует умеренно загрязнённым водам.

Для анализа многолетних изменений качества воды в исследуемой акватории порта Темрюк был проведён корреляционный анализ по поиску взаимосвязей между контролируемыми показателями и периодом исследования. Он показал, что большинство из них имеет статистически достоверный тренд на снижение (растворённый кислород, окисляемость, БПК₅, нефтепродукты, медь, цинк, свинец и расчётный ИЗВ) или увеличение концентрации (все биогенные вещества и железо общее). Самые высокие коэффициенты корреляции выявлены для азотсодер-

жащих биогенных соединений ($r = 0,45 \dots 0,52$), для тяжёлых металлов — меди, цинка и свинца ($r = -0,34 \dots -0,62$), а также для ИЗВ ($r = -0,47$). Связи не обнаружено для кадмия и фенола.

Фитопланктонные сообщества исследовали одновременно с определением гидрохимических показателей. В период исследования в акватории у причалов № 19, 22 и 23 идентифицировано 140 видов фитопланктона. Большая часть из них относилась к отделам Bacillariophyta и Miozoa (67 и 38 видов соответственно); также встречено 14 видов из отдела Chlorophyta, 13 — Cyanobacteria, 3 — Euglenozoa, по 2 — Haptophyta и Ochrophyta, 1 — Cercozoa. Диатомеи характеризовались 100%-ной встречаемостью и доминировали в составе сообществ практически на всех этапах отбора; на них приходилось в среднем 86 % общей численности и 78 % общей биомассы. Динофитовые водоросли встречались в 55 % общего количества проб, цианобактерии — в 30 %, эвгленовые — 20 %, зелёные — 13 %, золотистые — 5 %. Численность микроводорослей варьировала от 2,4 до 7933,0 тыс. кл.·л⁻¹, биомасса — от 16,3 до 7749,6 мг·м⁻³ (при медианных значениях 147,0 тыс. кл.·л⁻¹ и 205,5 мг·м⁻³ соответственно).

В первом полугодии (март — июнь) преобладали мелкоклеточные водоросли, в основном из отдела диатомей — виды родов *Skeletonema*, *Pseudo-nitzschia*, *Cyclotella*, *Chaetoceros* и др. В исследуемый период их численность имеет тенденцию к увеличению ($r = 0,32 \dots 0,69$). Во втором полугодии роль мелкокоразмерных водорослей уменьшалась, а роль крупноклеточных немногочисленных диатомей и динофлагеллят (*Pseudosolenia calcar-avis*, *Cerataulina pelagica*, виды родов *Coscinodiscus*, *Triplos* и др.) возрастала. При этом биомасса их с годами имеет тенденцию на снижение ($r = -0,40 \dots -0,70$). Такие изменения в сторону увеличения в составе планктонных микроводорослей роли r-стратегов (r-стратегия выживания), учитывая тренд на повышение концентрации биогенов, особенно во второй половине года ($r = 0,40 \dots 0,87$), следует считать указывающими на негативные трансформации в структуре фитопланктонных сообществ.

Радиоэкологические условия в зонах инновационного развития морской Арктики

Матишов Г. Г.^{1,2}, Ильин Г. В.¹, Усягина И. С.¹, Касаткина Н. Е.¹, Валуйская Д. А.¹

¹Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, Россия

²Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, Россия

matishov_ssc-ras@ssc-ras.ru

Современный этап промышленного освоения Арктики проходит в условиях так называемой постыдерной эпохи и представляется более масштабным и технологичным по сравнению с этапами советского периода. В Арктике сконцентрировано опасное наследие — захоронения радиоизлучающих материалов и береговая инфраструктура атомного флота, в которой обращаются ядерные энергетические источники (РИТЭГ) и радиоактивные отходы (далее — РАО). Применяемые инновации также предусматривают использование атомных энергетических установок на трассах Северного морского пути и развитие инфраструктуры обращения с РАО. В основе современного инновационного освоения морской Арктики лежит эксплуатация нефтегазовых и минеральных ресурсов: поиск, добыча, переработка и перевозки. Другими важными направлениями становятся развитие международных морских транспортных путей, атомная энергетика, туризм. К этому относятся модернизация и строительство портов, транспортных узлов, навигационной инфраструктуры, а также ледокольные суда, плавучие блоки атомных теплоэлектростанций (ПАТЭС). Первый из них — «Академик Ломоносов» — прошёл по арктическим морским путям через порт Мурманск и был установлен в порту Певек в 2019 г. Освоение Арктики сопровождается развитием инфраструктуры по обеспечению национальной безопасности и фундаментальными научными изысканиями, в том числе по обоснованию принадлежности России новых участков арктического шельфа.

Радиоактивное загрязнение морской Арктики стало реальностью в 1955 г. — после испытания атомного устройства на архипелаге Новая Земля. Сейчас при глобальном распространении техногенных радионуклидов на состояние отдельных участков влияют особенности транзита загрязнителей и вторичные источники радиации. Постоянного изучения требуют современные риски загрязнения при инцидентах с источниками ядерной энергии и при обращении с радиоактивными отходами. Примерами реальности таких рисков служат крупнейшие аварии на Чернобыльской АЭС и АЭС «Фукусима Дайичи», гибель подводных лодок «Комсомолец» и «Курск», авария в хранилище радиоактивных отходов в губе Андреева, захоронения РАО вблизи Новой Земли и др.

Однако современное радиоэкологическое загрязнение морей ассоциируется в первую очередь с переносом радиоактивных загрязнителей течениями из Северной Атлантики и атмосферными выпадениями. Поступающие в Баренцево море и Арктический бассейн воды ветвей Северо-Атлантического течения на своём пути загрязнялись сбросами отходов западноевропейских радиохимических предприятий. В 1990-е гг. взрывы на Новоземельском полигоне были закончены, а сбросы комбината «Селлафилд» были во много раз снижены. Однако поток атлантических вод остаётся в числе основных факторов радиационного загрязнения.

Баренцево море. Динамика радиационного фона в Баренцевом море прослеживается с конца 1950-х гг. Западная часть его акватории всегда отмечается как район максимального загрязнения воды. Основной поток радиоцезия поступает с атлантическими водами через границу по линии Нордкап — Медвежий в верхних слоях Нордкапского течения до 150 м. К началу 2000-х гг. содер-

жание радиоактивного ^{137}Cs в атлантических водах тёплых течений заметно снизилось — с 26–30 до 2–3 Бк·м⁻³; к концу первого десятилетия нового века оно снизилось до 1,2–2 Бк·м⁻³.

Карское море сохраняет связь с системой атлантических течений и вместе с тем подвержено влиянию стока сибирских рек, в бассейнах которых расположены объекты ядерной промышленности России. Однако в последнее время в его водах не обнаружено короткоживущих техногенных изотопов, которые могли бы свидетельствовать о недавних эмиссиях радионуклидов. Объёмная активность ^{137}Cs не высока (0,21–4 Бк·м⁻³); объёмная активность ^{90}Sr — 1,5–3,5 Бк·м⁻³, однако отмечено эпизодическое увеличение этого показателя до 5 Бк/м³.

Море Лаптевых. В акватории моря Лаптевых, как и Восточно-Сибирского, а также на водосборных территориях этих морей отсутствуют прямые источники техногенных радионуклидов. Главными факторами загрязнения являются процессы планетарного перераспределения радиоизотопов посредством атмосферных выпадений, речного стока и морских течений.

Распределение ^{137}Cs в шельфовой акватории моря неравномерно. Совокупная система движения вод состоит из нескольких циклонических круговоротов, которые образуют обширные линзы вод разной солёности, с разной концентрацией ^{137}Cs — от 0,6 до 1,4 Бк·м⁻³. Максимальные концентрации ^{137}Cs — 2–2,5 Бк·м⁻³ — тяготеют к северному и западному участкам моря, где присутствуют потоки вод из Карского моря и Северного Ледовитого океана. Содержание ^{90}Sr в водных массах моря изменяется от 0,8 до 5 Бк·м⁻³.

Восточно-Сибирское море. В шельфовой зоне моря концентрацию радиоизотопов ^{137}Cs и ^{90}Sr определяют поток вод из моря Лаптевых и нерегулярный подход атлантических вод. Фон концентраций ^{137}Cs в акватории характеризуется как низкоактивный. Средняя объёмная активность ниже, чем в море Лаптевых, — 0,9 Бк·м⁻³. Максимальная концентрация ^{137}Cs (> 2 Бк·м⁻³) отмечена в северной части шельфа, где возможен эпизодический заход атлантических вод по желобам в материковом склоне. У побережья архипелага Новосибирские острова его содержание не превышает 1 Бк·м⁻³, что обусловлено смешением морских вод с береговым стоком. Средняя объёмная активность ^{90}Sr в водах равна 5,1 Бк·м⁻³.

Концептуальная вариативность радиоэкологического фона в водной среде. Средние значения объёмной активности ^{137}Cs в разных морях показывают, что более высокое его содержание наблюдается в Баренцевом (1,6 Бк·м⁻³) и Карском (1,7 Бк·м⁻³) морях. В морях Лаптевых (1,2 Бк·м⁻³) и Восточно-Сибирском (0,7 Бк·м⁻³), которые мало подвержены влиянию Атлантики, отмечен низкий уровень загрязнения. Данные были подвергнуты статистической обработке. С помощью непараметрического критерия Краскела — Уоллиса (H) установлены статистически значимые различия между акваториями морей по содержанию ^{137}Cs ($H = 47,673$, $df = 3$, $p < 0,001$) и отсутствие таковых по содержанию ^{90}Sr ($H = 3,500$, $df = 3$, $p = 0,321$). Выполнены также парные сравнения данных объёмной активности ^{137}Cs с помощью критерия Манна — Уитни (U) для возможных комбинаций пар ($n = 0,5 \cdot N \cdot (N - 1)$, где N — количество морей). Был принят критический уровень значимости $p^* = 0,0085$ ($p^* = 1 - 0,95^{1/n}$, где n — количество проводимых сравнений). По вычисленным критериям моря разделены на две группы с минимальными статистическими признаками различий внутри каждой группы: 1) моря Западной Арктики — Баренцево и Карское; 2) Восточно-Арктические моря — Лаптевых и Восточно-Сибирское. Основным фактором, формирующим различия между группами по уровню радиационной загрязнённости, является глобальный трансокеанический перенос содержащих радионуклиды атлантических вод. Влияние данного фактора выражено более сильно в Баренцевом и Карском морях, за пределами этих морей его влияние затухает. Сходства внутри каждой группы определяются сходством особенностей глобального атмосферного переноса и атмосферных выпадений техногенных радионуклидов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ММБИ РАН (№ госрегистрации АААА-А18-118030690062-0), а также при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 18-05-60249 «Радиоактивное загрязнение и вторичные источники антропогенных изотопов в морях Северного Ледовитого океана на рубеже XX–XXI веков».

65 лет морской радиохемозологии в СБС — ФИЦ ИнБЮМ

Мирзоева Н. Ю., Егоров В. Н., Терещенко Н. Н., Малахова Л. В.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

natmirz@mail.ru

5 (6) сентября 2021 г. исполнилось 65 лет отделу радиационной и химической биологии (ОРХБ) ФИЦ ИнБЮМ. История становления и развития ОРХБ неразрывно связана с именем одного из основателей морской радиоэкологии, д. б. н., профессора, академика НАН Украины, выдающегося учёного Геннадия Григорьевича Поликарпова. В 1956 г. он организовал и возглавил лабораторию биофизики — радиобиологии Севастопольской биологической станции (СБС) имени А. О. Ковалевского АН СССР. В 1963 г. СБС была преобразована в Институт биологии южных морей (ИнБЮМ) АН УССР. Приказом директора ИнБЮМ № 136 от 28 сентября 1963 г. на базе лаборатории радиобиологии был создан отдел радиобиологии, который в 1973 г., в связи с расширением тематики проводимых научных исследований, был переименован в отдел радиационной и химической биологии ИнБЮМ. С 1994 г. ОРХБ — структурное подразделение ИнБЮМ НАН Украины, с 28 апреля 2015 г. — структурное подразделение ФГБУН «Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН», а с июня 2019 г. — структурное подразделение ФИЦ ИнБЮМ. С 1991 по 2009 г. заведующим ОРХБ был академик НАН Украины, профессор, д. б. н. В. Н. Егоров, с 2009 по 2015 г. — профессор, д. б. н. С. Б. Гулин, а с 01.12.2015 отдел возглавляет ученица Г. Г. Поликарпова и В. Н. Егорова к. б. н. Н. Ю. Мирзоева.

Среди самых первых практических и важнейших для человечества проблем в начальный период времени морской радиоэкологии в Севастополе (1956–1960), наряду с приоритетной разработкой фундаментальных научных проблем морской радиоэкологии, был вопрос, поставленный перед отечественной и международной общественностью директором СБС профессором В. А. Водяницким: «Допустим ли сброс отходов ядерных производств в Чёрное море?» — в качестве острой реакции на соответствующую неожиданную инициативу в Конгрессе США. В названной выше лаборатории радиобиологии СБС в конце 1950-х гг. уже были выполнены экспериментальные радиоэкологические исследования способности черноморских растений и животных накапливать важнейшие осколочные и наведённые радионуклиды из водной среды, выражаемой в виде величин коэффициентов накопления, в том числе был дан радиоэкологически обоснованный отрицательный ответ — о недопустимости сброса отходов ядерных производств в Чёрное море. Директор ИнБЮМ, член-корреспондент АН УССР, профессор В. А. Водяницкий писал впоследствии в своих воспоминаниях: «Работы ИнБЮМ по водообмену в Чёрном море и радиоэкологии сыграли большую роль в отклонении предложений западных держав о сбросе отходов атомных производств в глубины Чёрного моря».

Основные направления научных исследований ОРХБ с 1976 по 2000 г. были определены самим Г. Г. Поликарповым. Актуальность отдельных направлений очевидна и сегодня. Перспективы научных исследований ОРХБ с 2000 по 2025 г. были разработаны уже совместно тремя выдающимися учеными: академиком Г. Г. Поликарповым, его учеником академиком В. Н. Егоровым и учеником двух академиков д. б. н., профессором С. Б. Гулиным. Эти научные направления в целом и взяты за основу научных исследований, проводимых нами в настоящее время.

Важнейшие научные достижения ОРХБ за 65 лет проводимых исследований описаны в монографиях и состоят в следующем:

- созданы новые научные направления — морская радиоэкология, морская динамическая радиохемозэкология, ядерная геохронология морских экосистем;
- создана кинетическая теория минерального обмена, концепция экологической ёмкости морской среды в отношении загрязняющих веществ, разработаны методы нормирования потоков антропогенного загрязнения морских акваторий по биогеохимическим критериям;
- разработана концептуальная модель действия ионизирующей радиации во всём диапазоне мощностей доз на всех уровнях организации живой природы;
- предложена методология эквидозиметрической оценки действия радиоактивного, химического и сочетанного загрязнения среды на популяции гидробионтов;
- изучен радиоэкологический отклик Чёрного моря на чернобыльскую ядерную аварию;
- обнаружен и исследован новый хемозэкологический фактор — струйные метановые газовыделения со дна Чёрного моря;
- разработаны методы дистанционной оценки запасов морских рыб и макрофитов с использованием гидроакустики;
- разработана теория радиоизотопного и химического гомеостаза морских экосистем.

Перспективные направления научных исследований ОРХБ ФИЦ ИнБЮМ связаны с исследованиями в области морской (водной) радиохемозэкологии, изучением фундаментальных закономерностей взаимодействия живых и косных компонентов морских (водных) экосистем с радиоактивными и химическими элементами, находящимися в среде. Более детально эти исследования направлены на изучение ядерной геохронологии морских экосистем, определение экологической ёмкости морской среды, эквидозиметрию, исследование экологии и биогеохимии метановых сипов, изучение биогеохимических закономерностей гомеостаза морских экосистем, решение задач реализации экоцентрического принципа морского природопользования в условиях эволюции морских экосистем в результате климатических изменений и антропогенного воздействия.

Полученные результаты и перспективные направления научных исследований ОРХБ ФИЦ ИнБЮМ подтверждают стратегическую цель исследований, которые были начаты академиком НАН Украины, д. б. н., профессором Г. Г. Поликарповым и продолжены его учениками, направленную на получение знаний и разработку теоретической и параметрической базы для нормирования антропогенного воздействия, исходя из концепции устойчивого развития морских регионов.

Исследования выполнялись в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ гос. регистрации 121031500515-8).

Пространственное распределение ^{137}Cs в акваториях Мирового океана по результатам экспедиционных исследований 2016–2020 гг.

Мирошниченко О. Н., Сидоров И. Г., Параскив А. А.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

oksaniya_89@mail.ru

Цезий-137 является долгоживущим осколочным радионуклидом с периодом полураспада 30,17 года, образующимся в реакторах атомных станций и при ядерных взрывах. Известно, что в период испытаний ядерного оружия в атмосфере, которые достигли своего максимума в 1962 г., в окружающую среду поступило до 1300–1500 ПБк цезия-137 [НКДАР при ООН, 1982]. Глобальные бомбовые выпадения превалировали в Северном полушарии; значительно меньшее количество выпадений в Южном полушарии объясняется относительно небольшим числом испытательных взрывов, а также ограниченным атмосферным обменом между северной и южной стратосферами [WOMARS, 2005]. Сбросы радиохимических предприятий Европы в середине XX в. и авария на АЭС «Фукусима-1» в 2011 г. также внесли значительный вклад в загрязнение морских акваторий цезием-137 [Buessler, 2014]. Авария на Чернобыльской АЭС 26 апреля 1986 г. — это катастрофа XX в., в результате которой произошёл выброс порядка 100 ПБк цезия-137 [Gudiksen et al., 1989]. Атмосферный перенос продуктов аварии происходил вначале в северо-западном, а затем в южном направлении, в связи с этим наибольшему загрязнению подверглись Балтийское, Северное, Чёрное и Средиземное моря [Mourad, 1988]. Поступление чернобыльского цезия-137 в Мировой океан оценивается в 15–20 % от глобальных выпадений и составляет порядка 18 ПБк. Таким образом, к 2011 г. общее количество чернобыльского цезия-137 уменьшилось до 56 ПБк вследствие радиоактивного распада, а в океане осталось 8–11 ПБк; суммарное же количество цезия-137 в Мировом океане оценивается в 200 ПБк [Buessler, 2014].

Таким образом, цезий-137 является в настоящее время одним из главных факторов радиоактивного загрязнения биосферы, а радиоаналитический контроль и мониторинг его содержания в морских экосистемах представляется одной из наиболее актуальных задач обеспечения их радиационной безопасности. Цель настоящих исследований — оценка современных уровней концентрации и распределения техногенного радионуклида цезия-137 в поверхностных водах акваторий Мирового океана в рамках радиохимического мониторинга.

Объектами исследования были поверхностные воды морей Евразии (Восточно-Китайское, Южно-Китайское, Красное, Средиземное, Северное, Балтийское) и Арктики (Баренцево, Норвежское), дальневосточные моря (Японское, Охотское, Берингово), район Антарктического полуострова, Атлантический океан, а также Чёрное и Азовское моря. Пробы отбирались сотрудниками отдела радиационной и химической биологии ФИЦ ИнБЮМ, принимавшими участие в кругосветных экспедициях на НИС «Академик Борис Петров» (42-й рейс в 2017 г.), НИС «Академик Мстислав Келдыш» (68-й рейс в 2017 г.; 79-й рейс в 2020 г.), НИС «М. А. Лаврентьев» (82-й рейс в 2018 г.). Экспедиционные исследования Азово-Черноморского региона проходили на НИС «Профессор Водяницкий» ФИЦ ИнБЮМ. Всего за период 2016–2020 гг. проведены исследования в 15 рейсах на НИС «Профессор Водяницкий».

Определение объёмной активности цезия-137 в пробах воды объёмом 60–100 л проводили сорбционным методом с использованием в качестве сорбента ферроцианида переход-

ных металлов. Активность цезия-137 в сорбентах измеряли на NaI(Tl) гамма-спектрометре и 1282 CompuGamma CS (LKB Wallac, Финляндия) по дочернему гамма-излучающему радионуклиду ^{137m}Ba . Относительная погрешность полученных результатов не превышала 20 % [Gulin et al., 2015].

По итогам 42-го рейса НИС «Академик Борис Петров», опубликованным в 2019 г. [Miroshnichenko et al., 2019], показано, что концентрация цезия-137 в поверхностной воде морей Евразии находится на уровне 1–6 Бк·м⁻³. Исключение составляет Балтийское море, где уровень содержания цезия-137 значительно превышает величины, наблюдавшиеся в дочерно-быльский период. Обнаружена более высокая, по сравнению с предыдущими оценками, концентрация цезия-137 в поверхностных водах Восточно-Китайского моря, что может быть связано со значительным сбросом высокоактивных жидких радиоактивных отходов после аварии на АЭС «Фукусима-1» в 2011 г. В морях Арктики — в Норвежском и Баренцевом — активность цезия-137 в указанных акваториях находилась в пределах 1,5–4 Бк·м⁻³ и отличалась равномерностью. Низкие уровни цезия-137 в поверхностных водах свидетельствуют об отсутствии значимых источников радиоактивного загрязнения этой части Мирового океана [Miroshnichenko et al., 2019].

В исследованных в 82-м рейсе НИС «М. А. Лаврентьев» акваториях дальневосточных морей объёмная активность цезия-137 в поверхностной воде составила 1,7–5 Бк·м⁻³. Максимальные уровни загрязнения радиоцезием характерны для поверхностных вод Японского моря, что может быть связано с его изолированностью от других акваторий и с наличием вторичных источников поступления радионуклидов. Кроме того, накоплению радионуклида в водоёме способствует слабый водообмен в Японском море [Мирошниченко и др., 2020].

В 79-й экспедиции на НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 2020 г. получены данные по содержанию цезия-137 в поверхностных водах, которые омывают Антарктический полуостров, находящиеся в пределах от ниже детектируемого до 0,88 Бк·м⁻³. В 4-м этапе экспедиции был выполнен трансатлантический разрез, в котором получено широтное распределение цезия-137 в поверхностных водах Атлантического океана. Широтное распределение растворённой формы цезия-137, как и ожидалось, определяется характером глобальных выпадений с более высокими концентрациями в средних широтах как Северного, так и Южного полушарий. Определено, что объёмная активность цезия-137 в Атлантике остаётся на уровне 0,7–1,5 Бк·м⁻³.

В Чёрном и Азовском морях концентрации цезия-137 остаются в 4–15 раз выше, чем в других акваториях Мирового океана, в связи с непосредственной близостью к Чернобыльской АЭС, откуда, помимо атмосферных выпадений, происходило хроническое вторичное поступление поставарийных радионуклидов с речным и континентальным стоком. За период 2016–2020 гг. объёмная активность радиоцезия в Чёрном море находилась в пределах 11–15 Бк·м⁻³, в Азовском средняя концентрация составила 4,8 Бк·м⁻³. При этом в Чёрном море уровни цезия-137 достигли дочернобыльских величин, а в Азовском море они остаются в 1,5–2 раза выше доаварийных значений [Матишов, 2004], что может быть связано с дополнительным поступлением растворённого цезия-137 из Чёрного моря через Керченский пролив.

Таким образом, объёмная активность цезия-137 в современный период находится на уровне техногенного фона и составляет 1–5 Бк·м⁻³. Поверхностное распределение растворённого цезия-137 в открытых районах Мирового океана зависит от гидрологических особенностей акватории, в то время как в замкнутых водоёмах с ограниченным водообменом дополнительный цезий-137 привносится с материковым стоком.

В акваториях Мирового океана — близлежащих зонах распространения чернобыльских выпадений (в Балтийском, Чёрном и Азовском морях) концентрация цезия-137 в 5–50 раз выше, чем

в других районах Мирового океана. Это связано с их изолированностью и с наличием вторичных источников поступления техногенных радионуклидов.

Работа подготовлена в рамках темы государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ 121031500515-8). Исследования в Антарктике и в Атлантическом океане выполнены в рамках темы государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Комплексные исследования современного состояния экосистемы атлантического сектора Антарктики» (№ АААА-А19-119100290162-0).

Природа углеводородов в воде и осадках российского сектора Чёрного моря

Немировская И. А., Завьялов О. П., Храмцова А. Н.

Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

nemir44@mail.ru

С целью определения современного состояния загрязнённости нефтепродуктами прибрежных районов северо-восточной части Чёрного моря проводили исследование алифатических углеводородов (далее — АУВ) и полициклических ароматических углеводородов (далее — ПАУ) во взвеси поверхностных вод и в поверхностном слое донных осадков на разрезах в районе Большого Сочи (2013–2015), в Феодосийском заливе (2015–2017), в Керченском проливе (2019–2020) в сравнении с открытыми районами моря.

Исследования проводили методами, принятыми при анализе нефтяных и природных углеводородов: концентрацию липидов и АУВ определяли методом ИК-спектрофотометрии, алканы — методом газовой хроматографии, $C_{\text{орг}}$ — методом сухого сжигания, взвесь — гравиметрически, ПАУ — методом высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Проведённые исследования выявили наиболее высокие концентрации АУВ в поверхностных водах непосредственно в Керченском проливе, где в апреле 2019 г. они изменялись в интервале 110–160 мкг·л⁻¹, а в Феодосийском заливе составляли 70–110 мкг·л⁻¹. Было замечено некоторое снижение содержания АУВ к сентябрю (55–138 мкг·л⁻¹). Однако даже при наиболее низких концентрациях они превышали ПДК для нефтяных УВ — 50 мкг·л⁻¹. В июле 2020 г. также выделялась область высоких значений непосредственно в Керченском проливе, где установлена максимальная концентрация УВ — 259 мкг·л⁻¹.

Поступление загрязнённых вод из Керченского пролива приводит к повышенным концентрациям АУВ и в Феодосийском заливе (94–450 мкг·л⁻¹ взвеси). Прямые измерения скорости течений, а также геострофические оценки указывают на существование в верхнем 15-метровом слое струйного вдольберегового течения западного направления, переносящего азовоморские воды в сторону Феодосийского залива.

Содержание ПАУ во взвеси поверхностных вод Керченского пролива изменялось от 11 до 20 нг·л⁻¹. В их составе доминировали пирогенные соединения — флуорантен (далее — ФЛ) и пирен (далее — П), которые характерны для продуктов горения различных видов топлива. Отношение ФЛ/П изменялось незначительно (1,32–1,72) и указывало на свежее загрязнение: в пробах, трансформированных ПАУ, это отношение должно быть > 4, а отношение фенантрен/антрацен (Ф/Ан) от 8,8 до 19,2 может указывать на влияние нефтяных загрязнений в водах пролива, так как при значениях > 10 оно маркирует нефтяные УВ. В июле 2020 г. содержание ПАУ изменялось в интервале 2,0–7,8 нг·л⁻¹. В составе ПАУ в низкомолекулярной области выделяется пик 2-метилнафталина, характерный для нефтяных полиаренов. Среди 5 кольчатых ПАУ доминировали ФЛ и П, поступающие при сгорании топлива. Более высокие концентрации ФЛ могут указывать на трансформацию состава ПАУ в поверхностных водах.

Напротив, в донных осадках Керченского пролива содержание АУВ и ПАУ было ниже, чем в других прибрежных районах моря, так как осадки этого района состоят из песчаных, ракушечных и галечных отложений, а распределение органических веществ зависит от гранулометрического типа осадка. Именно поэтому наблюдалась зависимость в распределении $C_{\text{орг}}$ и влажности с вы-

соким коэффициентом корреляции ($r = 0,86$), а также между распределением $C_{орг}$ и АУВ (в разные сезоны — 0,79 и 0,85 соответственно), что, скорее всего, обусловлено быстрой трансформацией нефтяных АУВ. Наиболее высокие концентрации АУВ наблюдались так же, как и в воде, непосредственно в Керченском проливе. В сентябре увеличивалась доля АУВ в составе $C_{орг}$ (1,2–2,4 %). Напротив, в апреле только в донных осадках на прибрежных станциях возле мысов Опук и Чауда концентрации АУВ в составе $C_{орг}$ достигали 2,9–4,2 %. При фоновом содержании доля АУВ в песчаных осадках составила $10 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$, а в составе $C_{орг}$ она не превышала 1 %. В осадках остальных станций содержание АУВ было $< 0,78 \%$.

Быстрая деградация нефтяных УВ, особенно алифатических, приводит к тому, что как в Феодосийском заливе, так и в Керченском проливе, согласно конфигурациям спектров и значениям молекулярных маркеров, алканы имели смешанный, преимущественно терригенный генезис. Преобладали нечётные аллохтонные гомологи $n\text{-C}_{25}$ – $n\text{-C}_{31}$. В низкомолекулярной области доминировали микробные алканы. При трансформации нефтяных УВ в процессе седиментации роль низкомолекулярных алканов уменьшается, увеличивается содержание высокомолекулярных нечётных гомологов, обладающих большей устойчивостью.

Интенсивные процессы, происходящие на границе вода — осадок, способствуют дальнейшей трансформации УВ и образованию микробных алканов. В небольших количествах нефтяные УВ могут способствовать образованию автохтонных органических соединений, что приводит к повышению их доли в составе алканов осадков. Сходный состав УВ установлен в донных отложениях прибрежных районов не только Чёрного моря, но и других морей.

В донных осадках нефтяные УВ фиксируются в том случае, когда скорость осаднения превышает скорость трансформации. В открытой части Чёрного моря на больших глубинах (500–2200 м) в илистых осадках в составе УВ практически отсутствовали низкомолекулярные гомологи (до $n\text{-C}_{20}$), которые исчезают в процессе седиментации. В связи с тем, что чётные алканы разлагаются легче, чем нечётные, значения CPI (Carbon Preference Index, отношение нечётных к чётным алканам в высокомолекулярной области) возросли по сравнению с таковыми для Феодосийского залива и достигли величины 8,2.

Загрязнение нефтью в большей степени сказывается на составе более устойчивого класса — ПАУ. В их составе в осадках Керченского пролива зафиксированы нефтяные и пирогенные гомологи, а суммарные концентрации достигали $2269 \text{ нг} \cdot \text{г}^{-1}$. Значительно ниже оказалось содержание ПАУ в осадках Феодосийского залива — до $348 \text{ нг} \cdot \text{г}^{-1}$, а в открытой части Чёрного моря — до $276 \text{ нг} \cdot \text{г}^{-1}$; эти концентрации считаются фоновыми или незначительными.

В итоге необходимо отметить, что высокие концентрации АУВ в водах встречались редко, в большинстве районов их содержание не превышало величины ПДК ($50 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$). Повышенные уровни приурочены к якорной стоянке судов в Керченском проливе, который можно отнести к «горячим точкам» в водах РФ. Постоянное поступление загрязняющих веществ в Керченском проливе приводит к тому, что в этом районе не происходит уменьшения концентраций АУВ в водах и донных осадках, как наблюдалось в акватории Большого Сочи после окончания строительства олимпийских объектов. Зона смешения речных вод с морскими выступает в качестве геохимического барьера, который препятствует попаданию основной части загрязнений, выносимых реками, в открытые морские районы. Поступающие нефтепродукты повышают в осадках уровень УВ, создавая тем самым современный углеводородный фон.

Результаты исследования получены в рамках государственного задания (тема № 0128-2021-0015), при поддержке РНФ (проект 21-17-00191).

Микробиологический мониторинг воды реки Кизань в районе расположения Соколовских нефтешламонакопителей (Астраханская область)

Обухова О. В., Мельник И. В., Васильева Е. Г.

Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

obuhowa-ov@yandex.ru

Микроорганизмы являются объективными индикаторами состояния водоёма, поскольку обладают высокой пластичностью и регенеративной способностью. При поступлении различных загрязняющих веществ в воду происходит изменение количественных, качественных и функциональных показателей развития бактерий, что позволяет провести оценку санитарного состояния водоёмов и процесса их самоочищения.

В связи с этим целью наших исследований являлись изучение и оценка загрязнения реки Кизань дельты Волги на основе использования различных микробиологических показателей — сезонной динамики численности гетеротрофных, в том числе олиготрофных, бактерий и нефтеокисляющих микроорганизмов.

Пробы воды отбирали на р. Кизань, в районе расположения Соколовских нефтяем, которые непосредственно граничат с водным объектом.

Установлено, что максимальное содержание нефтепродуктов в воде наблюдали весной в период паводка: оно достигало $(0,23 \pm 0,06)$ мг·дм⁻³ в районе расположения 1-й нефтяемы и $(0,54 \pm 0,14)$ мг·дм⁻³ в районе 2-й нефтяемы. На расстоянии 1000 м ниже по течению от нефтешламонакопителей количество нефтепродуктов остаётся на достаточно высоком уровне — $(0,12 \pm 0,05)$ мг·дм⁻³. Во время летней межени в августе содержание нефтепродуктов в воде было минимальным и в районе нефтяем составляло $(0,17 \pm 0,06)$ и $(0,22 \pm 0,07)$ мг·дм⁻³, а на расстоянии 500 и 1000 м ниже по течению регистрировали $(0,12 \pm 0,04)$ и $(0,09 \pm 0,00903)$ мг·дм⁻³ соответственно.

В результате проведённых исследований установлена ярко выраженная сезонная динамика численности микроорганизмов в р. Кизань в районе расположения Соколовских нефтяем. Количество гетеротрофных бактерий в начале вегетационного периода и в летние месяцы варьировало от $0,85 \cdot 10^3$ кл·мл⁻¹ в мае в районе расположения 2-ой нефтяемы до $9,6 \cdot 10^3$ кл·мл⁻¹ на пляже, что обусловлено, по-видимому, заносом органики и аллохтонной микрофлоры из р. Волги, особенно в период паводка. Резкий подъём количества сапрофитов в августе и сентябре объясняется отмиранием планктонных организмов и значительным увеличением органического вещества в воде. Максимальные значения зарегистрированы в точке 500 м ниже по течению реки после 2-й нефтяемы, они достигали $62,2 \cdot 10^3$ кл·мл⁻¹.

В местах непосредственного расположения нефтяных ям в период всего вегетационного периода наблюдали более низкие показатели микробной обсеменённости, чем в других точках, что обусловлено, возможно, токсичным воздействием нефтешламов, поступающих в водоток, которые ингибируют развитие микроорганизмов.

Динамика численности олиготрофных бактерий повторила динамику количества гетеротрофов, с максимальными значениями в конце лета и начале осени. Следует отметить высокие значения на пляже в сентябре, а также на расстоянии 500 и 1000 м после 2-й нефтяемы в течение всего вегетационного периода.

Количество углеводородокисляющих бактерий в районе расположения Соколовских нефтям достигало максимальных значений в сентябре — $10,4 \cdot 10^3$ кл·мл⁻¹ в районе расположения 2-й нефтямы и $7,65 \cdot 10^3$ кл·мл⁻¹ около 1-й ямы. Обращает на себя внимание высокая численность данных микроорганизмов, зарегистрированная в районе ям и на расстоянии 500 м ниже по течению р. Кизань на протяжении всего периода исследования.

Следовательно, высокая активность нефтеокисляющих бактерий обусловлена значительным содержанием нефтепродуктов в данном районе р. Кизань и высокими температурами воды в период летней межени.

Особое внимание следует уделить процентному соотношению нефтеокисляющих бактерий от численности гетеротрофов. Установлено, что при снижении уровня воды, скорости течения и при высоких температурах численность углеводородокисляющих бактерий в непосредственном расположении нефтешламонакопителей в августе достигает 28,3 и 54,8 % от численности гетеротрофов. Это свидетельствует об активной деструкции нефтепродуктов, попадающих в реку Кизань в данный период, и способствует самоочищению водотока.

Полученные сведения дают основание утверждать о целесообразности продолжения и углубления микробиологических мониторинговых исследований, поскольку они весьма информативны и объективны.

Сравнительная характеристика содержания нитрозаминов в тканях черноморских рыб

Омельченко С. О.

ГБОУ ДПО РК «Крымский республиканский институт постдипломного педагогического образования»,
Симферополь, Россия
svet.omelchenko@mail.ru

В настоящее время проблеме эвтрофирования водоёмов уделяется особое внимание в связи с повсеместностью этого явления и его пагубными последствиями для пресноводных и морских экосистем. Соединения азота широко распространены в гидросфере, куда они попадают со сточными водами промышленных и сельскохозяйственных комплексов, предприятий коммунального хозяйства, а также с атмосферными осадками. Изменение содержания азота в водной экосистеме не только влияет на физико-химические свойства воды и донных осадков, на структуру и состав гидробионтов, но и негативно сказывается на качестве воды, способствует развитию эвтрофирования, что в значительной степени ухудшает здоровье водных обитателей и создаёт опасность для здоровья человека. Различные районы Чёрного моря также подвержены эвтрофированию, которое является следствием глобального загрязнения акваторий отходами, поступающими как со сточными водами предприятий промышленности, коммунального и сельского хозяйства с побережья, так и со стоками рек, приносящими загрязнители со всего водосборного бассейна [Омельченко, 2004 ; Руднева и др., 2006 ; Руднева, Омельченко, 2021].

В связи с этим актуальна ещё одна проблема — связанная с избыточными концентрациями азотсодержащих соединений в воде, в результате чего возможно образование различных азотсодержащих соединений с токсичными и иными вредными свойствами. К ним, в частности, относятся нитрозамины (далее — НА), которые отличаются высокой стабильностью, устойчивы к температуре и свету, могут длительно сохраняться в окружающей среде, не подвергаясь разложению. НА относятся к классу химических соединений, обладающих канцерогенной и мутагенной активностью [Костюковский, Меламед, 1988 ; Руднева и др., 2006]. Помимо этого, НА являются источниками окиси азота, играющей важную роль в ряде физиологических и биохимических процессов [Mohn, 1977]. НА синтезируются в процессе реакций нитрозирования, в результате взаимодействия вторичных и третичных аминов с нитритами и нитратами.

В организм высших животных и человека нитросоединения (НС) попадают из экзогенных источников (пищи, воды, воздуха), они образуются в результате нитрификации аммонийного азота микроорганизмами кишечника. В настоящее время определение НА в тканях гидробионтов обязательно для оценки их качества и пригодности для пищи человека.

Цель работы — сравнительный анализ содержания НА в мышечных тканях массовых видов рыб, обитающих в акватории Чёрного моря в районе г. Севастополя.

Определение нитрозаминов проводили в соответствии с методическими рекомендациями по обнаружению, идентификации и количественному определению N-нитрозаминов в пищевых продуктах № 1959-59.

Исследования на черноморских видах рыб позволили установить определённые различия в содержании НА в их тканях в зависимости от филогенетического положения, принадлежности рыб к определённой экологической группе.

Содержание НА в мышечных тканях костистых рыб колеблется от 1,70 (у бычка-кругляка) до 2,50 нг·кг⁻¹ (у кефали).

Усреднённое содержание НА в мышечных тканях хрящевых рыб ($x_{\text{ср}} = 1,80$ нг·кг⁻¹) выше, чем у костистых рыб ($x_{\text{ср}} = 1,00$ нг·кг⁻¹). Самые высокие показатели отмечены у донных хищников — морского кота и морской лисицы [Rudneva et al., 2012], что может быть обусловлено специфическим азотистым обменом этих форм, конечный продукт которого — мочевины. Её концентрация в тканях хрящевых рыб нередко превышает 2 % и служит для осморегуляционных целей. Для поддержания осмотического баланса у скатов есть и другие азотсодержащие компоненты с низкой молекулярной массой — триметиламиноксид и бетаин [Naman et al., 2012].

Таким образом, насыщение тканей хрящевых рыб азотсодержащими компонентами может способствовать вовлечению их в реакции образования НА по специфическим метаболическим путям, присущим эласмобранхиям. Кроме того, морской кот и морская лисица, в отличие от катрана, являются донными рыбами, а они в наибольшей степени подвержены действию загрязнителей, сконцентрированных в придонных слоях воды, в том числе биогенов и других токсикантов, которые способствуют образованию НА в организме рыб, что отмечено и для костистых рыб.

Содержание НА в мышечных тканях костистых рыб имеет чётко выраженную зависимость от экологической группы, к которой принадлежит вид, и варьирует в значительных пределах, нг·кг⁻¹: придонная группа — от 0,20 до 0,30 ($x_{\text{ср}} = 1,30$); придонно-пелагическая — от 0,15 до 2,00 ($x_{\text{ср}} = 1,00$); пелагическая — от 0,20 до 1,60 ($x_{\text{ср}} = 0,60$).

Пелагические и придонно-пелагические виды способны мигрировать из эвтрофированных сильно загрязнённых районов, что снижает вероятность образования НА. Повышенное содержание НА в тканях донных форм может быть вызвано условиями обитания в более загрязнённых придонных слоях воды, непосредственно соприкасающихся с грунтами, где аккумулируются загрязнители [Омельченко и др., 2016]. Помимо этого, донные формы питаются бентосными беспозвоночными, и накопление НА в их тканях может происходить за счёт эффекта концентрирования. В то же время большая вариабельность содержания НА в тканях костистых рыб обусловлена их биологическими и видовыми особенностями (образ жизни, подвижность, спектр питания). По сравнению с концентрацией НА в мышечных тканях придонных видов, ведущих малоподвижный образ жизни, концентрация НА в мышечных тканях пелагических и придонно-пелагических рыб заметно ниже, что может быть следствием более интенсивного метаболизма, свойственного активному образу жизни.

Видовые особенности содержания НА в тканях исследуемых рыб могут быть связаны с особенностями трансформации данных соединений в печени рыб, клетки которой очень чувствительны к ним. В этом процессе определённую роль играют алиментарный фактор, а также состояние гепатоцитов и степень активности монооксигеназ печени. Интоксикация этими соединениями приводит к нарушению функционирования монооксигеназ и к снижению синтеза цитохрома P450 как следствию трёх взаимосвязанных процессов: включение НА в метаболические пути организма ингибирует активность цитохрома P450, угнетает его биосинтез и при взаимодействии с биомолекулами приводит к их повреждению. Они стимулируют перекисное окисление липидов в печени, что усиливает токсический эффект этих канцерогенов [Воронин и др., 1989 ; Рубенчик, 1990 ; Руднева и др., 2007]. Острый токсический эффект НА связан прежде всего с поражением систем детоксикации в клетках печени. В группе придонных рыб содержание НА имеет близкие и самые высокие значения у бычков и морского ерша, но у звездочёта данный показатель в 2 раза ниже. Все исследуемые виды рыб этой группы ведут сходный образ жизни и имеют одинаковый спектр питания, включающий мелкую рыбу, ракообразных и червей. Между тем особенность звездочё-

та — его крайне малоподвижный образ жизни: он предпочитает зарываться в песок и длительно поджидать добычу. В этом случае его контакты с загрязнённой биогенами водой сокращаются. Таким образом, снижается их поступление в организм рыбы по сравнению с поступлением в организм других представителей этой группы, предпочитающих держаться на поверхности дна.

Результаты проведённых исследований позволили заключить, что образ жизни, степень подвижности и спектр питания морских рыб могут оказывать существенное влияние на содержание в них канцерогенов. Приведённые данные свидетельствуют о том, что содержание НА в тканях массовых видов черноморских рыб, отловленных в прибрежной зоне г. Севастополя, не превышало ПДК, однако присутствие этих соединений даже в незначительных количествах может отрицательно повлиять на здоровье как рыб, так и их потребителей, включая человека. Это особенно касается использования в пищу таких промысловых видов, как катран, ставрида, смарида, горбыль, и в меньшей степени — бычков и морского ерша, которые, однако, содержат наибольшее количество НА.

Антропогенные радиоизотопы плутония в компонентах экосистемы Севастопольской бухты

Параскив А. А.¹, Терещенко Н. Н.¹, Проскурнин В. Ю.¹, Чужикова-Проскурнина О. Д.¹,
Платаев А. П.², Трапезников А. В.²

¹ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

²ФГБУН «Институт экологии растений и животных УрО РАН», Екатеринбург, Россия

paraskiv@ibss-ras.ru

Среди 19 радиоактивных изотопов плутония, в современный период практически полностью являющихся продуктом антропогенной деятельности человека, на сегодняшний день роль основных альфа-излучающих долгоживущих дозообразующих радиоизотопов играют изотопы ²³⁹Pu и ²⁴⁰Pu с периодами полураспада 24400 и 6620 лет соответственно. Они поступили в экосистемы Чёрного моря в значительных количествах, в основном в результате глобальных радиоактивных выпадений после испытаний ядерного оружия, а также после аварии на Чернобыльской АЭС [Поликарпов и др., 2008]. Периоды полураспада, составляющие тысячи лет, обуславливают тот факт, что, попадая в морские экосистемы, радиоизотопы плутония не выводятся из них, а преимущественно перераспределяются в их биотических и абиотических компонентах. Поэтому вызывает интерес количественная оценка процессов перераспределения радиоизотопов плутония в морских экосистемах.

Севастопольская бухта является самой большой на юго-западном побережье Крымского полуострова, она широко используется в хозяйственной и рекреационной сферах, является транспортным узлом, принимающим военные и пассажирские суда. При этом в экосистеме бухты обитает большое количество видов гидробионтов, многие из которых служат объектами промысла и употребляются в пищу человеком. Согласно рекомендательным документам Росгидромета, представительными объектами морских экосистем в рамках оценки радиационно-экологического воздействия на объекты природной среды являются рыбы, моллюски и макрородосли [Р52.18.820-2015].

Целью данной работы была оценка современных (2010–2020) уровней удельной активности радиоизотопов плутония в воде, донных отложениях и представительных видах гидробионтов Севастопольской бухты, а также расчёт запасов ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в поверхностном слое донных отложений и коэффициентов накопления (K_n) ²³⁹⁺²⁴⁰Pu для донных отложений и представительных видов гидробионтов бухты.

Пробы отбирались в 2010–2020 гг. в Севастопольской бухте, от устьевой части до кутовой, где в бухту впадает река Чёрная. Кроме того, для сравнительной оценки пробы отбирались на рейде г. Севастополя, в открытой части моря, за пределами бухты. Осуществляли отбор проб поверхностной воды (1000 л), проб верхнего, 0–5-см слоя донных отложений, а также особей рыб [*Spicara maena* (Linnaeus, 1758) и *Scorpaena porcus* (Linnaeus, 1758)], двусторчатых моллюсков [*Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819)] и макрофитов [бурых водорослей *Cystoseira barbata* (C. Agardh, 1820) и зелёных водорослей *Cladophora laetevirens* (Kützinger, 1843)]. Все пробы подвергались многоступенчатой радиохимической обработке в отделе радиационной и химической биологии ФИЦ ИнБЮМ (Поликарпов и др., 2008). Измерения проводились на альфа-спектрометрическом комплексе фирмы ORTEC (США) в отделе континентальной радиэкологии ИЭРиЖ УрО РАН.

В результате проведённых исследований показано, что в поверхностной воде Севастопольской бухты объёмная активность $^{239+240}\text{Pu}$ изменялась от $(1,08 \pm 0,09)$ до $(1,54 \pm 0,17)$ МБк·м⁻³. При этом за пределами бухты, как в прибрежной части Чёрного моря, так и в глубоководной, объёмная активность $^{239+240}\text{Pu}$ в поверхностных водах в пределах статистической погрешности находилась на таком же уровне — от $(1,1 \pm 0,21)$ до $(1,66 \pm 0,21)$ МБк·м⁻³.

Наибольшие величины удельной активности $^{239+240}\text{Pu}$ среди компонент экосистемы Севастопольской бухты определены в поверхностном слое донных отложений — от (276 ± 53) МБк·кг⁻¹ сухой массы в кутовой части бухты до (993 ± 53) МБк·кг⁻¹ в устьевой части. За пределами бухты, на рейде г. Севастополя, удельная активность $^{239+240}\text{Pu}$ составила (110 ± 20) МБк·кг⁻¹. Однако стоит отметить, что донные отложения в бухте сложены в основном илами, тогда как за пределами бухты — преимущественно песками. Запасы радиоизотопов $^{239+240}\text{Pu}$ в донных отложениях Севастопольской бухты оценивали исходя из её морфометрических характеристик, а также величин скорости осадконакопления и абсолютных масс донных осадков согласно ранее опубликованным данным [Егоров и др., 2018]. Суммарный запас $^{239+240}\text{Pu}$ в верхнем, 0–5-см слое донных осадков бухты составил 121 МБк, при этом максимальное значение получено для устьевого района (71,8 МБк), а минимальное — для кутовой части бухты (3,4 МБк).

Среди изученных видов гидробионтов Севастопольской бухты наименьшие значения удельной активности $^{239+240}\text{Pu}$ определены в представителе донных рыб — морском ерше *S. porcus* [$(0,38 \pm 0,28)$ МБк·кг⁻¹ сырой массы]. В пелагобентосном черноморском окуне *S. taena* удельная активность $^{239+240}\text{Pu}$ составила $(1,11 \pm 0,28)$ МБк·кг⁻¹. Ранее проведённые исследования [Терещенко, 2013] показали, что в средиземноморских мидиях *M. galloprovincialis* более 90 % $^{239+240}\text{Pu}$ концентрируется в раковинах. Результаты нашего исследования на раковинах средиземноморских мидий продемонстрировали, что величины удельной активности находятся в диапазоне от $(0,47 \pm 0,34)$ до $(13,07 \pm 1,99)$ МБк·кг⁻¹ сырой массы, причём минимальные значения также характерны для кутовой части бухты. Среди исследованных представителей макрофитов наибольшие удельные активности $^{239+240}\text{Pu}$ определены в многолетних бурых водорослях *C. barbata* — от $(1,32 \pm 0,1)$ до $(3,13 \pm 0,39)$ МБк·кг⁻¹ сырой массы. В представителях однолетних зелёных водорослей *C. laetevirens* величины удельной активности $^{239+240}\text{Pu}$ были меньше и составляли от $(0,88 \pm 0,12)$ до $(1,05 \pm 0,19)$ МБк·кг⁻¹.

Количественные данные о распределении радиоизотопов $^{239+240}\text{Pu}$ в компонентах экосистемы Севастопольской бухты позволили оценить величины коэффициентов накопления плутония донными отложениями и представительными видами гидробионтов изучаемой морской акватории. Самые высокие значения коэффициентов накопления определены для донных отложений ($n \times 10^5$), далее располагаются мидии и бурые водоросли ($n \times 10^3$), наименьшие величины характерны для зелёных водорослей и рыб ($n \times 10^2$).

Таким образом, в результате проведённых исследований определены современные (2010–2020) уровни удельных активностей антропогенных радиоизотопов плутония в поверхностной воде, поверхностном, 0–5-см слое донных отложений, а также в некоторых видах рыб, в двустворчатых моллюсках и макрофитах. Эти данные позволили оценить запасы $^{239+240}\text{Pu}$ в донных отложениях Севастопольской бухты и коэффициенты накопления $^{239+240}\text{Pu}$ для изученных видов гидробионтов. Установлено, что наибольшие величины запасов $^{239+240}\text{Pu}$ характерны для устьевого района бухты (71,8 МБк). Суммарный расчётный запас $^{239+240}\text{Pu}$ в 0–5-см слое донных отложений бухты составил 121 МБк. Также показано, что донные отложения обладают наибольшими коэффициентами накопления радиоизотопов плутония ($n \times 10^5$), что ещё раз подтверждает их педотропный характер биогеохимического поведения в Чёрном море. Определено,

что представители многолетних бурых водорослей, а также средиземноморские мидии обладают более высокими коэффициентами накопления $^{239+240}\text{Pu}$ ($n \times 10^3$), чем однолетние зелёные водоросли, донные и пелагобентосные рыбы ($n \times 10^2$).

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-35-90041 («Аспиранты»); полевые работы по отбору проб донных отложений выполнены по теме государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ гос. регистрации 121031500515-8).

Прооксидантная активность ароматических производных Hg и Sn

Половинкина М. А.¹, Осипова В. П.¹, Осипова А. Д.², Пименов Ю. Т.²

¹Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, Россия

²Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

polovinkina.ast@gmail.com

В последнее время загрязнение водной среды соединениями тяжёлых металлов привлекает всё большее внимание из-за их высокой токсичности, биоаккумуляции и отсутствия возможности биохимического разложения [Islam, 2015]. Даже в низких концентрациях тяжёлые металлы способны вызывать как прямую интоксикацию, так и отдалённые биологические последствия у гидробионтов. Данные ксенобиотики долго сохраняются в водной среде и передаются по пищевой цепи, распространяясь не только на гидробионты, но и на растения, а также на более высокие трофические уровни — млекопитающих и птиц. Антропогенная деятельность оказывает значительное воздействие на окружающую среду, приводя к её загрязнению и к накоплению таких особо опасных металлов, как олово и ртуть.

Неорганические соединения олова и ртути, попадающие в водную среду в результате выбросов, связанных с производственной деятельностью, сброса сточных вод из очистных сооружений, а также применения агрохимикатов, обладают относительно низкой токсичностью. Однако в природе под действием микроорганизмов происходит их биохимическое алкилирование, что приводит к образованию органических производных тяжёлых металлов, обладающих на порядок большей токсичностью по сравнению с их неорганическими предшественниками [Liu, 2012]. Например, известно, что образующаяся в тканях гидробионтов метилртуть представляет потенциальную опасность для здоровья человека, вызывая болезнь Минамата. Оловоорганические соединения непосредственно сами широко применяются в различных отраслях промышленного производства в качестве бактерицидов и инсектицидов, и для них также установлена высокая токсичность в очень низких концентрациях, проявляющаяся в виде биоцидных эффектов [Chen, 2019]. Наиболее известным механизмом токсичности тяжёлых металлов является их способность вступать во взаимодействие с SH-группами белков, в том числе ферментов, вызывая их денатурацию [Tchounwou, 2014]. Но в последнее время доказано, что органические и неорганические соединения тяжёлых металлов способны вызывать развитие окислительного стресса [Fatima, 2015], приводя тем самым к тяжёлым патологическим состояниям.

В данной работе было исследовано влияние хлорида бензилртути (**1**), дифенилртути (**2**), оксида дифенилолова (**3**), трихлор(фенил)олова (**4**) и дихлордифенилолова (**5**) на процесс длительно протекающего пероксидного окисления липидов (далее — ПОЛ) гомогената печени русского осетра. Активность соединений **1–5** оценивали относительно контрольного образца в процентах, исходя из расчёта уровня накопления вторичных карбонильных продуктов, дающих окрашенные комплексы с тиобарбитуровой кислотой (TBARS).

На начальном этапе инкубирования (1 час) соединения **1–3** практически не оказывали влияния на процесс окисления липидов печени осетра. Органические производные олова **4** и **5** проявили незначительное антиоксидантное действие, снизив концентрацию TBARS на 9 и 10 % соответственно. Через 48 часов инкубирования отмечалось выраженное промотирующее действие ароматических производных ртути **1** и **2**, прооксидантная активность которых составила 54,8 и 68,2 %

соответственно. Для производных олова также было установлено значительное промотирующее действие на отдалённых этапах инкубирования; так, например, добавка соединений **3** и **5** увеличивала уровень вторичных карбонильных продуктов окисления по сравнению с контролем в среднем на 40 %. Наибольшее прооксидантное действие среди исследованных производных олова показало соединение **4**, повышая уровень TBARS на 63,7 %.

Таким образом, на модельной системе ПОЛ гомогената печени осетра была установлена прооксидантная активность ароматических производных ртути и олова, а наибольшее промотирующее действие продемонстрировало трихлор(фенил)олово. Несмотря на отсутствие выраженного прооксидантного действия соединений **1–5** на начальных этапах инкубирования, для всех производных на отдалённых этапах наблюдалось значительное увеличение концентрации TBARS, что свидетельствует об опасности попадания в живой организм данных соединений, имеющих отдалённые токсические эффекты. Для нейтрализации негативного действия ароматических производных ртути и олова необходимо проводить целенаправленный поиск новых эффективных и безопасных полифункциональных соединений — антиоксидантов, способных одновременно выступать в качестве хелаторов тяжёлых металлов и антирадикальных агентов, нейтрализующих вызванный ими окислительный стресс, что в конечном итоге должно способствовать снижению их токсичности.

Кинетический аспект фосфорного обмена природной взвеси фотического слоя Чёрного моря на основе метода радиоактивных индикаторов

Поповичев В. Н.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

popovichev@ukr.net

На современном этапе развития морской радиохемозологии, активно участвующей в решении многих гидробиологических задач, сформированы представления о единстве механизмов продуктивности и биотического кондиционирования среды в экосистемах фотической зоны морей и океанов. Для понятия специфики процесса первичного продуцирования органического вещества (далее — ОВ) в морской среде важное значение имеют исследования кинетических закономерностей минерального питания биоты. Скорость включения минерального фосфора в биотический круговорот является одной из существенных характеристик функционирования экосистем, однако измерение концентрации растворённого фосфата в природных водоёмах не даёт представления о доступности фосфора. Низкое его содержание в воде может означать, что или система истощена, или метаболизм её очень интенсивен, и понять ситуацию можно, только определив скорость потока вещества. Быстрый поток фосфора типичен для высокопродуктивных систем, и для поддержания высокой продукции органики скорость потока важнее, чем концентрация фосфата. Малый запас и высокая оборачиваемость минерального фосфата в зоне фотосинтеза пелагиали морских водоёмов приводят к тому, что развитие фитопланктона лимитируется скоростью его потока в сообществе, а не абсолютной его концентрацией, являющейся результирующей динамического равновесия процессов его потребления планктонным сообществом, с одной стороны, и его поставки за счёт физических процессов водообмена и биологических процессов регенерации — с другой [Сорокин, 1985]. Одним из современных подходов к изучению потока фосфора в морских экосистемах и оценке его лимитирующей роли в процессах продуцирования ОВ является сочетание аналитических методов определения содержания минерального фосфора в морской среде, метода радиоактивных индикаторов в экспериментальных условиях и анализа наблюдений на основе теоретических представлений о фосфорном метаболизме морских организмов [Пархоменко и др., 1983 ; Егоров и др., 1992 ; Поповичев, Егоров, 2000, 2003, 2008].

Целью данной работы было экспериментальное изучение кинетических закономерностей поглощения минерального фосфора взвешенным веществом фотической зоны Чёрного моря с использованием фосфора-32 (^{32}P) в качестве радиоактивной метки, выполняемое в условиях, близких *in situ*, в рейсах НИС «Профессор Водяницкий» (№ 25, 28, 31, 36, 38, 45, 48, 49 и 55).

Известно, что абиотические компоненты взвесей взаимодействуют с минеральным фосфором в морской среде сорбционно. У одноклеточных водорослей и бактериопланктона взаимодействие с фосфатами осуществляется в результате одновременно протекающих сорбционных и метаболических процессов, поэтому при исследовании фосфорного обмена морской взвеси для выделения метаболических процессов на фоне сорбционных применяют ферментативные яды, которые полностью выключают ферментативную систему биоты. И хотя эти яды, убивая планктонные организмы, воздействуют и на их сорбционные свойства, разница в динамике процессов часто используется для качественной оценки фосфорного обмена биотического компонента взвеси [Баринов, 1970 ; Поповичев, Егоров, 2000, 2003, 2008 ; Поповичев, 2021].

Вместе с тем важно отметить, что, несмотря на высокую чувствительность радиоиндикаторного метода, основанного на предположении, что стабильный и радиоактивный изотопы химически неразличимы, его недостатком, применительно к исследованиям фосфорного обмена микропланктонным сообществом, является недоучёт выводимого из биоты радиофосфора, зависящий как от продолжительности опыта, так и от физиологического состояния организмов [Пархоменко и др., 1983].

Изучение кинетических закономерностей накопления ^{32}P природной взвесью из фотической зоны западной акватории Чёрного моря показало, что со взвесьями было связано до 80 % фосфора, находящегося первоначально в воде в минеральной форме. Стационарность системы взвешенное вещество — ^{32}P в воде наступала через 15–20 ч, при этом разность между уровнями поглощения ^{32}P в экспериментах без добавок сулемы, а также с добавками сулемы, используемой в качестве ферментативного яда, достигала 70 %. Это свидетельствовало о превалировании биотических процессов во взаимодействии взвешенного вещества с минеральным фосфором водной среды над сорбционными [Поповичев, Егоров, 2008].

Получение кинетической кривой накопления ^{32}P взвесью позволило определить оптимальную экспозицию в экспериментах по оценке скорости биотического и сорбционного обмена минерального фосфора взвешенным веществом, т. е. время, в течение которого скорость накопления ^{32}P взвесью ещё была близка к скорости поглощения ею минерального фосфора. Это время характеризовалось практически линейным отрезком на кинетической кривой, и в наших исследованиях оно определялось 2–3 ч.

В процессе проведения экспериментов с ^{32}P также нами были получены интегральные и дифференциальные оценки скорости поглощения минерального фосфора. Понятие «интегральной» оценки вытекает из того, что процесс накопления радиофосфора взвесью является результирующим процессом его поглощения и выведения, а понятие «дифференциальная» оценка отражает изменение скорости его поглощения в ходе эксперимента. Следует также отметить, что при постановке экспериментов с пробой воды, содержащей взвесь, мы открытую естественную систему взвесь — вода моделируем искусственной замкнутой системой, накладывая на обменные процессы в естественной системе пространственные, температурные и световые ограничения. Отсюда: если фосфатное лимитирование этих процессов в открытой системе будет в какой-то степени компенсировано или сглажено притоком минерального фосфора из окружающего пространства (аути или апвеллинг, адвекция), то в замкнутой системе (в отсутствие притока фосфора извне) будет осуществляться перераспределение фосфатного пула, и этот процесс отличается от естественного. В связи с этим исследователи стремятся поставить эксперименты в условиях, близких *in situ*, а если это затруднительно, то для выполнения требований балансового подхода [Егоров, 1987] — максимально полно описать все накладываемые на моделируемую систему ограничительные условия и фиксировать динамические параметры такой эмпирической модели.

Закключение: в процессе создания ОВ первичными продуцентами водной среды минеральный фосфор включается в биологический круговорот, об интенсивности которого можно судить по кинетическим характеристикам. Важным показателем фосфорного обмена является скорость его поглощения биотическим компонентом взвешенного вещества — живыми планктонными организмами. Вместе с тем связь продукционного процесса с фосфорным обменом имеет неоднозначный характер [Винберг, Ляхнович, 1965]: в малопродуктивных водоёмах скорости обмена могут быть низкими, а в высокопродуктивных — высокими даже при одинаковых концентрациях фосфора в воде. Количественная оценка процесса обмена фосфором между компонентами экосистемы необходима для понимания внутреннего баланса этого элемента в водоёмах.

Работа выполнена по теме государственного задания ФИЦ ИнБЮМ № 121031500515-8.

Транспорт антропогенного радионуклида ^{137}Cs через Керченский пролив

Сидоров И. Г., Мирошниченко О. Н., Проскурнин В. Ю.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

sidorov@ibss-ras.ru

Авария на Чернобыльской АЭС в 1986 г. стала важнейшим радиозэкологическим событием для Азово-Черноморского региона. Поступление ^{137}Cs в Азовское море было связано главным образом с «южным следом» атмосферного переноса и составило 99,2 ТБк. С речным стоком и с водами Чёрного моря через Керченский пролив за период 1986–2000 гг. дополнительно поступило 4,2 и 25,2 ТБк ^{137}Cs соответственно. При этом необходимо учитывать, что имеет место и обратный сток ^{137}Cs из Азовского моря в Чёрное; с 1986 по 2000 г. он составил 17,2 ТБк [Буфетова, 2002].

На основе экспедиционных исследований на НИС «Профессор Водяницкий» нами получены данные по содержанию ^{137}Cs в водах Чёрного и Азовского морей и рассчитан транспорт этого радионуклида через Керченский пролив в современный период (2017–2019). Для определения содержания цезия в морской воде использован метод, основанный на его концентрировании с помощью проточной сорбции с последующим измерением на NaI(Tl) гамма-спектрометре 1282 CompuGamma CS (LKB Wallac, Финляндия) по дочернему гамма-излучающему радионуклиду $^{137\text{m}}\text{Ba}$ [Gulin et al., 2015]. Пробы предварительно фильтровали на полипропиленовом фильтре с номинальным размером пор 0,5 мкм для удаления взвешенного вещества. Отфильтрованную воду пропускали через два последовательно соединённых адсорбера, импрегнированных смешанным ферроцианидом железа-калия. Далее сорбенты сжигались для компактизации в муфельной печи при +400 °С, после чего поступали на гамма-спектрометрические измерения. Эффективность сорбции определяли по разнице активностей в первом и втором адсорберах.

Для двух станций, расположенных по обе стороны Керченского пролива, в Чёрном и Азовском морях, в 2017–2019 гг. проводились систематические мониторинговые наблюдения объёмной активности ^{137}Cs . Она находилась в диапазоне 11,55÷15,21 Бк·м⁻³ для станции в Чёрном море и 5,39÷8,29 Бк·м⁻³ в Азовском. Для Азовского моря в целом, на остальных исследованных станциях, объёмная активность составляла 2,6–7 Бк·м⁻³ при среднем значении 4,8 Бк·м⁻³. Видно, что станция в Азовском море, у выхода из Керченского пролива, в целом характеризуется большими значениями активности ^{137}Cs , чем остальная акватория Азовского моря, что, очевидно, отражает поступление более солёной и более обогащённой цезием-137 черноморской воды через Керченский пролив.

На основе данных по объёмной активности ^{137}Cs в районах, прилегающих к выходам из Керченского пролива со стороны Чёрного и Азовского морей, нами рассчитаны объёмы транспорта (ТБк·год⁻¹) этого радионуклида через Керченский пролив. Поскольку параметры водообмена через пролив, приводимые в различных источниках, характеризуются большим разбросом значений, были проведены расчёты отдельно для каждого значения. Результирующий поток (то есть разница между потоками в Азовское и Чёрное моря через Керченский пролив) ^{137}Cs во всех случаях направлен из Чёрного в Азовское море и в зависимости от скорости водообмена находился в диапазоне 0,12÷0,78 ТБк·год⁻¹.

Известно, что результирующий поток ^{137}Cs через Керченский пролив в 2000 г. был направлен в Азовское море и составлял 0,57 ТБк [Буфетова, 2002]. Эта величина укладывается в диапазон

значений, полученных для 2017–2019 гг. в настоящем исследовании. При этом при использовании средних объёмов водообмена из работы [Буфетова, 2002] для расчётов потока по нашим данным он получается равным $0,12 \text{ ТБк}\cdot\text{год}^{-1}$.

Таким образом, можно констатировать, что на современном этапе продолжается поступление в Азовское море растворённой формы ^{137}Cs с черноморскими водами. С учётом различных параметров водообмена через Керченский пролив, приводимых в литературе, результирующий поток этого радионуклида в настоящее время составляет десятые доли $\text{ТБк}\cdot\text{год}^{-1}$.

Работа подготовлена в рамках темы государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ государственной регистрации 121031500515-8).

Особенности углеводородного состава донных отложений Балаклавской бухты (Чёрное море)

Соловьёва О. В., Тихонова Е. А., Алёмова Т. Е.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

tihonoval@mail.ru

В настоящее время усилился интерес к экологическим проблемам Балаклавской бухты. В течение последних лет нагрузка на акваторию увеличилась за счёт активной эксплуатации малого флота. Известно, что ареалы поступления основной части антропогенных углеводородов (далее — УВ) ограничены прибрежными районами, устьями рек и припортовыми акваториями. Балаклавская бухта как раз является акваторией, имеющей все перечисленные особенности: её побережье интенсивно эксплуатируется, в воды бухты впадает река Балаклавка, а причальные стенки водоёма активно используются в качестве места стоянки яхт и маломерных судов. Ухудшает положение и отсутствие систем централизованной канализации в кафе на набережных, когда неочищенные стоки непосредственно попадают в водную среду.

Генезис органических веществ, в том числе УВ, в донных отложениях позволяет определить молекулярный состав нормальных алканов (н-алканов) — один из возможных маркеров происхождения органического вещества. Природными источниками поступления УВ, в том числе н-алканов, в морские грунты являются растительные и — в меньшей степени — животные остатки. К антропогенным их источникам в донных отложениях относятся органические поллютанты, наиболее распространёнными среди которых являются нефть и нефтепродукты.

Целью настоящей работы стало определение содержания и пространственного распределения, а также оценка вероятных источников поступления УВ в современных донных отложениях Балаклавской бухты. Идентификация вероятных источников поступления УВ осуществлялась на основании данных об индивидуальном составе н-алканов и диагностических индексов.

Для идентификации генезиса УВ используют различные маркеры. С целью дифференциации аллохтонного и автохтонного происхождения нередко применяют соотношение терригенных и автохтонных соединений (TAR), индекс терригенности Alk_{terr} , $\sum C_{25-35} / \sum C_{15-21(неч.)}$, среднюю длину углеводородной цепи (ACL), соотношение низкомолекулярных и высокомолекулярных гомологов (LWH/HWH). Отдельные биомаркеры позволяют уточнить характер биогенной природы соединений, в частности оценить вклад травянистой и древесной растительности в формирование аллохтонной составляющей поступающих в донные отложения УВ; это, например, соотношения C_{31}/C_{29} , ACL. Для дифференциации нефтяного и биогенного происхождения обнаруженных УВ используются такие соотношения, как индекс нечётности (CPI), в частности CPI_2 , рассчитанный для высокомолекулярной части спектра, отношение величины неразложимого фона к алифатической фракции УВ (UCM/R), ACL, LWH/HWH.

Материалом для исследования послужили пробы донных отложений верхнего слоя (0–5 см), отобранные водолазом трубками из оргстекла, герметично закрываемыми сверху и снизу, в зимний период 2019 г. на различных участках прибрежной акватории Балаклавской бухты. УВ определяли на базе НОЦКП «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ методом газовой хроматографии на газовом хроматографе «Кристалл 5000.2» с пламенно-ионизационным детектором.

Суммарное количество УВ в донных отложениях Балаклавской бухты варьировало от 21 до 2385 мг·кг⁻¹ и соответствовало характеру донных отложений. Зафиксированные уровни загрязнения преимущественно соответствовали отмеченным в загрязнённых акваториях Мирового океана. Распределены по акватории указанные вещества неравномерно. Зона их концентрирования приходилась на центральную часть бухты. Минимальное содержание УВ в донных отложениях зафиксировано в её мористой части. Содержание н-алканов в донных отложениях Балаклавской бухты колебалось от 1 до 154 мг·кг⁻¹. Максимальные значения были приурочены к центральной части акватории (район сужения), в частности к её восточному берегу, а минимальные показатели — к открытой части бухты. По всей акватории Балаклавской бухты распределение н-алканов на хроматограммах имело признаки бимодальности, что говорит о смешанном происхождении УВ. Молекулярные маркеры свидетельствуют о преимущественно терригенном происхождении УВ в донных отложениях акватории, а также о присутствии хронического нефтяного загрязнения во внутренней части бухты. Состав УВ донных отложений наиболее открытого, мористого участка Балаклавской бухты отличался от такового во внутренних частях акватории. Если судить по значениям маркеров, можно заключить, что там преобладали УВ автохтонной природы.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ 121031500515-8).

Использование антропогенного радионуклида ^{137}Cs для геохронологии распределения ртути в донных осадках севастопольских бухт

Стецюк А. П.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

alex-ra-777@mail.ru

Ртуть оказывает чрезвычайно токсическое воздействие на гидробионтов и поэтому представляет наибольшую опасность для морских экосистем. В водной толще ртуть сорбируется на взвешенном веществе и в процессе седиментации загрязняет донные отложения, являющиеся деполирующей средой. Изучив профили распределения ртути в толще донных осадков, можно понять многолетнюю динамику загрязнения ртутью водоёма.

Источники поступления ртути могут быть как природного, так и антропогенного происхождения. Поскольку Крым расположен в ртутнорудном поясе Земли [Jonasson, 1972], в результате «ртутного дыхания Земли» осуществляется регулярное поступление ртути в окружающую среду. На территории Горного Крыма отмечены многочисленные рудопроявления ртути, приуроченные к зонам интенсивной трещиноватости и гидротермальных изменений [Сидоренко, 1974].

К антропогенным источникам поступления ртути в Севастопольскую бухту относятся: морской транспорт, промышленно-коммунальные стоки, судоремонтные и нефтеперерабатывающие предприятия, муниципальные очистные сооружения. На территории Севастопольской бухты функционируют более 30 источников различных стоков (промышленно-бытовых, коммунальных, ливневых), большая часть которых расположена в Южной бухте.

Исследование содержания ртути в севастопольских бухтах проводилось на протяжении более чем 30 лет. По данным 1988–2008 г. [Костова и др., 2001 ; Костова, 2011 ; Костова, Иванов, 2009], наиболее высокие концентрации ртути были отмечены для илистых донных осадков у Павловского мыса и в Южной бухте. В 2004 г. участки акватории бухты Южной характеризовались повышенным содержанием ртути, которое в донных осадках изменялось от 1200 до 3500 нг·г⁻¹ (здесь и далее — на сухую массу), а в 2008 г. концентрация ртути изменялась от 61 до 3374 нг·г⁻¹. В колонке донных отложений, отобранной в 2008 г. у Павловского мыса, концентрация ртути изменялась от 1464 нг·г⁻¹ в поверхностном слое до 2360 нг·г⁻¹ в слое на глубине 7–8 см. В слое донных осадков на глубине 4–7 см С. К. Костовой было обнаружено, что концентрация ртути составляет 4664 нг·г⁻¹. Эти данные свидетельствуют о высоком загрязнении ртутью акватории у Павловского мыса и Южной бухты, обозначенных как критические зоны [Костова, Иванов, 2009].

Цель работы — проведение геохронологической реконструкции поступления ртути в акваторию Севастопольской бухты по профилям донных осадков. Для этого в сентябре 2020 г. и в мае 2021 г. были отобраны колонки донных осадков. Станции отбора проб располагались у Константиновского равелина, в Южной бухте, у Павловского мыса, в Голландии и Инкермане. Керны донных осадков разделяли в лабораторных условиях при помощи поршневого экструдера на горизонтальные слои толщиной 1 см. Пробоподготовку донных осадков для определения Hg проводили в соответствии с ГОСТ 26927-86. Концентрацию Hg определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии (метод холодного пара) на анализаторе «Хиранума-1». Контроль правильности результатов анализа донных отложений осуществляли с помощью государственных стандартных образцов состава дерновоподзолистой супесчаной почвы СДПС-1.

Для определения возраста слоёв донных отложений была использована средняя скорость осадконакопления, рассчитанная С. Б. Гулиным по ^{137}Cs на основании гамма-спектрометрического анализа.

Анализ полученных результатов показал, что наибольшее поступление ртути и её депонирование в донные осадки водоёма происходили на станциях в различные периоды времени. На станции «Равелин» самая высокая концентрация ртути была в 2009 г. ($950,0 \text{ нг}\cdot\text{г}^{-1}$), в Южной бухте — в 2006 г. ($2467,4 \text{ нг}\cdot\text{г}^{-1}$), а в районе Павловского мыса — в 2002 г. ($3179,1 \text{ нг}\cdot\text{г}^{-1}$). На станции «Голландия» самая высокая концентрация была в слое 4,5 см, соответствующем 2007 г. ($1331,8 \text{ нг}\cdot\text{г}^{-1}$). На станции «Инкерман» пик концентрации находился в слое 5,5 см, соответствующем 2015 г. ($244,6 \text{ нг}\cdot\text{г}^{-1}$). Высокие концентрации ртути были отмечены для донных осадков Южной бухты на протяжении длительного периода времени (1992–2020). Для всех станций наблюдалась тенденция снижения концентрации ртути к верхнему слою донных осадков, приуроченных к 2019–2020 гг., относительно соответствующего максимума предыдущих лет.

Ранее было рассчитано, что в Севастопольской бухте при высоких уровнях загрязнения ртутью морских вод достигается предел сорбционного насыщения донных осадков, равный $2740 \text{ нг}\cdot\text{г}^{-1}$ [Костова и др., 2001]. Однако данная величина была определена авторами в первом приближении и лишь отражала методический приём оценивания предела сорбционного насыщения ртутью донных осадков. Поэтому, если в 1998 г. концентрация ртути в колонке донных осадков, отобранных в районе Павловского мыса, не превышала $1800 \text{ нг}\cdot\text{г}^{-1}$ с эффектом 65%-го сорбционного насыщения ртутью, то, по современным расчётам, в этом же районе при максимальной концентрации ртути в 2002 г., равной $3179,1 \text{ нг}\cdot\text{г}^{-1}$, получается, что величина сорбционного насыщения ртутью донных осадков превышает установленный ранее предел. Эти данные свидетельствуют о высоком загрязнении акватории ртутью. К 2019 г. концентрация ртути в донных осадках у Павловского мыса снизилась до $1369,5 \text{ нг}\cdot\text{г}^{-1}$ с сорбционным насыщением 50 %. На станциях «Голландия», «Равелин» и «Инкерман» при соответствующих максимальных концентрациях ртути ($1331,8$; $950,0$; $244,6 \text{ нг}\cdot\text{г}^{-1}$) сорбционное насыщение составило лишь 48,0; 34,6; 8,9 % относительно $2740 \text{ нг}\cdot\text{г}^{-1}$. В верхних слоях донных осадков, соответствующих 2019–2020 гг., сорбционное насыщение на этих станциях снизилось до 23,9, 14,6 и 5,2 %. Высокая концентрация ртути в донных осадках бухты Южной, обусловленная 90%-м сорбционным насыщением ртутью, свидетельствует о сильном загрязнении акватории в 2006 г. К 2020 г. концентрация ртути постепенно снижалась до 35,6%-го сорбционного насыщения ртутью донных осадков.

Выводы:

1. Данные по скорости осадконакопления цезия-137 позволили провести датировку донных осадков и геохронологическую реконструкцию поступления ртути на протяжении многих лет.
2. Бухта Южная и акватория у Павловского мыса являются зонами повышенного риска в отношении сорбционного накопления ртути на протяжении нескольких лет.
3. В севастопольских бухтах выявлена тенденция снижения концентрации ртути в донных осадках к их верхнему слою, приуроченному к 2019–2020 гг., относительно соответствующего максимума предыдущих лет и отражающая снижение концентрации ртути в воде.

Работа выполнена по теме государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ гос. регистрации 121031500515-8).

Автор признательна за отбор проб кернов донных осадков сотруднику отдела радиационной и химической биологии ФИЦ ИнБЮМ Мосейченко И. Н.

Изучение особенностей осадконакопления в западной части Чёрного моря методом радиоизотопной геохронологии

Терещенко Н. Н., Пархоменко А. В.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

ntereshchenko@yandex.ru

Процессы биогеохимической седиментации в морских экосистемах играют важную роль в формировании направленности и интенсивности биогеохимического круговорота вещества и энергии и в формировании качества морских вод, так как вносят большой вклад в самоочищение морских вод посредством переноса вместе с осадочным материалом многих веществ в процессе осадконакопления в донные отложения. Поэтому изучение особенностей осадконакопления в морях актуально в современный период, когда морские экосистемы подвержены постоянному антропогенному влиянию, особенно внутренние моря, к которым относится Чёрное море.

Источниками осадочного вещества в Чёрном море служат взвешенное терригенное вещество, поступающее со стоком рек, в процессе абразии берегов и дна, эолового переноса, а также взвешенное органическое и минерализованное вещество, основу которого составляет первичная продукция. Показано, что в глубоководной области Чёрного моря осадочное вещество преимущественно состоит из автохтонного биогенного вещества, образовавшегося за счет продукции фитопланктона. Именно поэтому изучение роли первичной продукции (далее — ПП) в сравнении с ролью других источников осадочного вещества очень важно для понимания процессов осадконакопления в разных районах Чёрного моря.

Цель работы заключалась в определении скорости осадконакопления в абсолютных массах донных отложений (далее — MAR) и в выявлении особенностей осадконакопления в западной части Черного моря (далее — ЗЧМ) в районах, отличающихся по уровню ПП.

В работе проведён анализ собственных и литературных данных по скорости осадконакопления, полученных методом радиоизотопной геохронологии с использованием в качестве радиотрассеров природного (^{210}Pb) и техногенных (^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{241}Am , $^{238,239,240}\text{Pu}$) радиоизотопов и их сочетаний. Наши данные получены с помощью радиотрассеров $^{238,239,240}\text{Pu}$. В изучаемых районах ЗЧМ данные по ПП обобщены по литературным сведениям с оценкой среднемноголетней годовой её величины за несколько десятилетий [Ведерников, Демидов, 1997 ; Демидов, 2008 ; Финенко и др., 2019 ; Ковалева, 2014].

Установлено, что особенности формирования MAR в исследованных районах ЗЧМ определяются комплексом биогеографических условий, основными из которых служат: 1) наличие стока крупных рек; 2) удалённость акватории от приустьевых участков; 3) пологий удлинённый шельф как зона оседания основного количества терригенного осадочного материала; 4) удалённость акваторий от берега в сторону глубоководной области моря — увеличение глубины моря; 5) различные уровни ПП; 6) обеднение биоты в H_2S -зоне глубоководной области моря вследствие отсутствия кислорода; 7) наличие восстановительных условий в H_2S -зоне моря и ряда особенностей структуры вод, поддерживающих существование восстановительной зоны в Чёрном море.

По характеру формирования среднемноголетних годовых значений MAR и снижению их абсолютных величин от прибрежных районов северо-западного шельфа к континентальному склону и глубоководной котловине ЗЧМ выделены 3 группы районов, в которых отношение вклада биогенного ($\text{MAR}_{\text{БГ}}$) и литогенного осадочного ($\text{MAR}_{\text{ЛГ}}$) вещества от группы к группе возрастало не менее

чем в 3–5 раз. Величины отношений в этих группах изменялись от $MAR_{БГ}/MAR_{ЛГ} \leq 1$ (I группа) и $1 < MAR_{БГ}/MAR_{ЛГ} \leq 3$ (II группа) до $MAR_{БГ}/MAR_{ЛГ} > 15$ (III группа). Значения MAR повышались в направлении от глубоководной котловины к приустьевым районам от 65 до $3449 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$.

Взаимосвязь между значениями MAR (как суммарной, так и отдельно биогенной и литогенной её составляющих) и величинами ПП носила линейный характер. При этом ПП не является определяющим фактором в формировании MAR в приустьевых районах и на шельфе, но играет ведущую роль в глубоководной области ЗЧМ.

Особенность формирования MAR в глубоководной области ЗЧМ связана с наличием H_2S -зоны. При уменьшении абсолютных значений MAR в глубоководной котловине ЗЧМ относительная роль биогенного осадочного вещества в формировании MAR возрастала. Наибольший вклад в формирование донных осадков был характерен для биогенного минерализованного осадочного вещества ($MAR_{БГМ}$). На континентальном склоне он составлял 54 %, а в глубоководной котловине моря — 68,5 % от суммарной MAR.

Работа подготовлена по темам государственного задания ФИЦ ИНБЮМ «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ 121031500515-8) и «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом» (№ 121041400077-1).

Оценка экологического состояния малых рек города Саратова по биологическому индексу макрофитов

Торгашкова О. Н., Беликов А. С.

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского,
Саратов, Россия

torgaschkova88@mail.ru

Одной из главных задач современного времени являются методы контроля качества природных вод. Приоритетность биологической оценки определяется, кроме интегральности, получением непосредственной характеристики здоровья среды, её пригодности для живых организмов. Важное место в контроле качества вод занимают наблюдения за состоянием высшей водной растительности, которая чутко реагирует на изменение окружающей среды. Водные макрофиты являются очень удобным объектом для биоиндикации состояния водных экосистем, так как они представляют собой средообразующий и первично продуцирующий компонент экосистемы, позволяют определить трофические свойства воды, а иногда и специфику её химизма. Макрофитам свойственна консервативность по отношению к кратковременным изменениям среды, но изменения растительности в течение нескольких лет могут свидетельствовать об антропогенной трансформации экосистем.

Настоящее исследование выполнялось на реках Назаровка и Елшанка в пределах города Саратова. Отбор проб воды и определение её качества воды производилось в соответствии с ГОСТ 17.1.5.05-85 и инструкцией по отбору проб сточной воды НВН 33-5.3.01-85. Определение гидрохимических показателей проводилось на спектрофотометре HACH LANGE DR 2800. Для определения качества водной среды рассчитывались индекс фитотоксичности и биологический индекс макрофитов для рек (IBMR). Река Назаровка практически по всей длине представлена цепью запруженных водоёмов, которые располагаются в районе промзоны ТЭЦ-2, промышленной зоны СНПЗ, промзоны ПАО «Саратоворгсинтез». Река Елшанка протекает по территории многочисленных садовых товариществ; также вблизи неё располагается нефтебаза.

Активная реакция водной среды рек находится в пределах допустимых значений. Содержание хлоридов и сульфатов на всех участках не превышает предельно допустимых значений. Кислородный режим рек благоприятный; величина перманганатной окисляемости в среднем составляет $7,1 \text{ мг} \cdot \text{дм}^{-3}$; содержание общего органического вещества наблюдалось на уровне от 18 до $21 \text{ мг} \cdot \text{дм}^{-3}$. Концентрация нефтепродуктов, превышающая ПДК, отмечена во всех пунктах реки Назаровки и некоторых пунктах реки Елшанки. В некоторых пунктах рек наблюдаются максимальные концентрации аммонийного азота (от 0,06 до $0,12 \text{ мг} \cdot \text{дм}^{-3}$), меди (от 0,03 до $0,05 \text{ мг} \cdot \text{дм}^{-3}$), железа (от 0,16 до $0,37 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-3}$), йода (от 0,4 до $0,5 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-3}$), марганца (от 0,05 до $1,9 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-3}$), нитритного азота (от 0,012 до $0,022 \text{ мг} \cdot \text{дм}^{-3}$), превышающие предельно допустимые нормы.

Исследованные пункты рек находятся в промышленной зоне, и по мере продвижения к источникам загрязнения увеличивается антропогенная нагрузка, оказываемая на реку, что отражается на фитотоксичности воды. Максимальный индекс фитотоксичности реки Елшанки (0,52) выше, чем максимальный индекс фитотоксичности реки Назаровки (0,18), что объясняется повышенным содержанием загрязняющих веществ в воде вследствие сброса в неё сточных вод промышленными предприятиями. Вода из реки Назаровки характеризуется слабым фитотоксическим эффектом и является умеренно токсичной, вода из реки Елшанки характеризуется средним фитотоксическим эффектом и является умеренно токсичной.

Часто в водоёме присутствуют несколько индикаторных видов, произрастающих в среде разной степени загрязнённости. По общей суммарной степени загрязнения (ОССЗ) вода реки Назаровки относится к третьему классу качества (умеренно загрязнённая), реки Елшанки — к четвёртому (сильно загрязнённая).

Водоёмы обладают уникальным свойством — способностью к самоочищению. К водным растениям, которые способны аккумулировать и обезвреживать определённые химические загрязнения, распространённым в Саратовской области, относятся: тростник обыкновенный (*Phragmites australis*) и рогоз узколистный (*Typha angustifolia*). Уменьшение токсичности воды и увеличение самоочищаемости водоёма отмечаются в пунктах, где наблюдается массовое разрастание тростника обыкновенного и увеличение обилия макрофитов, максимально устойчивых к сильно загрязнённым водам (*T. angustifolia*, *Lemna minor* L., *Salvinia* sp., *Hydrocharis morsus-ranae* L., *Potamogeton* sp., *Ceratophyllum demersum* 'Mexico', *Elodea* Michx.). Макрофиты способны обогащать кислородом воду, задерживать загрязняющие вещества и очищать воду, извлекать из неё растворённые токсичные вещества и детоксицировать их. Способность высших водных растений накапливать вещества в концентрациях, которые превышают фоновые значения, зафиксированные в окружающей среде, обусловила их использование в системе мониторинга и контроля состояния окружающей среды. Следовательно, макрофиты играют огромную роль в динамике и миграции биогенных элементов в водных экосистемах, могут способствовать процессам самоочищения водной массы от промышленных загрязнений и использоваться для рекультивации земель при ликвидации прудов-отстойников как дополнительное средство биологической очистки.

Результаты расчётов IBMR показали, что реки Назаровка и Елшанка имеют удовлетворительный экологический статус. При этом значения индекса приближаются к нижней границе интервала удовлетворительного экологического состояния. Отметки IBMR выше 10 баллов достигали истоки рек, где экологическая ситуация по суммарному антропогенному загрязнению оценивается как «относительно благоприятная». Трофический статус исследованных станций рек оценён как «средний». Оценка изученных участков рек по структурным параметрам макрофитов выявила, что их воды относятся к классам 4 — сильно загрязнённые (река Елшанка) и 3 — умеренно загрязнённые (река Назаровка), что сопоставимо с оценкой реки по гидрохимическим характеристикам. Следовательно, подход к оценке экологического состояния водоёмов по структурным параметрам макрофитов и с помощью индекса IBMR, основанного на сравнении флористических списков водных экосистем и на учёте индикаторной значимости видов макрофитов, является перспективными и позволит эффективно выявлять эталонные условия водотоков.

Биоиндикация загрязнения реки Июль (Удмуртская Республика) по организмам макрозообентоса

Холмогорова Н. В.

Удмуртский государственный университет, Ижевск, Россия

nadjaholm@mail.ru

Река Июль протекает в Воткинском и Завьяловском районах Удмуртской Республики и является притоком реки Кама третьего порядка. Исток р. Июль находится к западу от деревни Кудрино Воткинского района. Река течёт на восток, затем поворачивает на юг. На реке расположены населённые пункты Кудрино, Владимировский, Новокварсинское, Банное, Июльское. Река зарегулирована пятью прудами. Она впадает в р. Позимь в 33 км от устья последней. Длина реки составляет 17 км. Основные источники её загрязнения — сельскохозяйственные и коммунальные стоки, автодороги и рекреация. В селе Июльское находится АО УЧХОЗ «Июльское» Ижевской сельхозакадемии, в структуре товарной продукции которого 77 % занимает животноводство; поголовье крупного рогатого скота насчитывает 2269 голов, в том числе 840 голов дойного стада.

Исследования макрозообентоса проводились в июле 2017 и 2018 гг. Всего отобрано 20 проб макрозообентоса и 20 проб донных отложений.

Сбор проб бентоса проводили по общепринятым методикам с помощью гидробиологического скребка.

В верхнем течении р. Июль донные отложения были представлены глиной и галькой. На других участках грунты менялись от глинистых до песчано-галечных. Скорость течения реки на разных участках составляла от 0,09 до 0,5 м·с⁻¹. Небольшая скорость течения (меньше 0,2 м·с⁻¹) обусловлена наличием запруд или большой шириной реки — 20–25 м. Максимальная скорость течения отмечена ниже плотин. Минерализация воды, измеренная кондуктометром, составляла 121–201 мг·л⁻¹.

За период исследования выявили 56 видов и таксонов более высокого ранга макрозообентоса, причём личинки комаров-звонцов определяли только до подсемейства.

Наиболее широко представлен тип членистоногие, в котором преобладают виды класса Hexapoda. Среди насекомых встречаются представители семейств Baetidae, Libellulidae, Aeshnidae, Gomphidae, Nepidae, Naucoridae, Corixidae, Sialidae, Hydropsychidae, Polycentropodidae, Limnephilidae, Chironomidae, Ceratopogonidae, Simuliidae, Dytiscidae, Haliplidae и Hydrophilidae. Доминирует по числу таксонов семейство Chironomidae.

Индекс Шеннона менялся в пределах от 0,64 до 2,51 бит·экз.⁻¹. Средний показатель выравненности сообществ по Пиелу — 0,81.

В истоках вода имеет «чайный» цвет благодаря наличию в ней гуминовых веществ. Минимальное видовое разнообразие обнаружено на станции 1. На данном участке велись работы по укреплению плотины пруда; вероятно, естественное дно засыпали глинистым грунтом, что и привело к уменьшению числа видов. Здесь отмечены только 2 вида олигохет семейства Tubificidae. Наибольшим видовым разнообразием отличается ст. 2 в верхнем течении (деревня Кудрино, ниже пруда). Здесь отмечен 21 вид макрозообентоса; это можно объяснить 100%-ным проективным покрытием макрофитов, которые способствуют развитию фитофильных видов.

Численность макрозообентоса на реке Июль менялась в диапазоне от 50 до 4967 экз·м⁻². Средняя плотность бентоса составила 2096,5 экз·м⁻², что соответствует средним показате-

лям макрозообентоса малых рек Удмуртии. Максимальная плотность отмечена на участках ниже прудов, чему способствовал рост числа личинок комаров-звонцов ($3367 \text{ экз.}\cdot\text{м}^{-2}$) и мошек ($2033 \text{ экз.}\cdot\text{м}^{-2}$).

Биомасса бентоса реки Июльь менялась в диапазоне от 83,3 до $29253,33 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-2}$. Средние показатели — $12515,7 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-2}$. Максимальные значения биомассы выявлены на ст. 4, 6 и 9. На ст. 4 основу биомассы составили личинки ручейников ($13333 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-2}$), на ст. 6 — личинки комаров-звонцов ($15181 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-2}$) и ручейники ($7333 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-2}$). На ст. 9 (село Июльское) по биомассе доминировали двустворчатые моллюски ($14600 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-2}$).

Доля чувствительных к загрязнению видов (Ephemeroptera, Trichoptera и Plecoptera) изменяется на станциях в диапазоне 0–14,4 % от общей численности макрозообентоса.

Для оценки сапробности использовали индекс Пантле — Букка. Показатель сапробности менялся в диапазоне 2,19–3,65, β -мезосапробная — α -мезосапробная зона. Средняя сапробность реки составила 2,75, что соответствует α -мезосапробной зоне (грязная вода).

Олигохетный индекс Гуднайта — Уитли менялся в широких пределах (6,25–100 %). При этом среднее значение индекса (34 %) соответствовало II классу качества вод (чистые).

Изменение сапробности реки связано в первую очередь со строительством плотин, а значит, с уменьшением проточности реки, что ведёт к сокращению концентрации растворённого кислорода. Кроме того, ухудшение показателей бентосных сообществ отмечается в нижнем течении в районе села Июльское.

Таким образом, по данным биоиндикации, загрязнение воды в р. Июльь носит мозаичный характер, поэтому вода меняется от очень грязной до чистой. Это связано с нарушением естественного стока, что вызывает накопление органических веществ в воде и в донных отложениях.

Микроэлементный состав организмов из прибрежных вод морских акваторий — проявление региональных особенностей или биогеохимических провинций?

Чернова Е. Н.

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия

elena@tigdvo.ru

Изучение элементного состава близкородственных видов водорослей — индикаторов загрязнения морской среды металлами в ряде удалённых и различных по климатическим и гидрологическим характеристикам морских бассейнов (Японском, Охотском и Белом, Японском и Южно-Китайском морях) позволило выявить некоторые региональные биогеохимические особенности организмов прибрежной зоны. Например, отличительные черты микроэлементного состава фукусов Японского, Охотского и Белого морей — повышенные концентрации Fe и Mn, пониженные концентрации Zn и Cd в беломорских фукусах, повышенные концентрации Fe и Cd в охотоморских фукусах, Zn — в япономорских фукусах.

Целью данной работы было исследовать, как соотносятся имеющиеся региональные биогеохимические особенности микроэлементного состава организмов с понятием «биогеохимические провинции».

Понятие «биогеохимические провинции» ввёл в научное знание А. П. Виноградов. Он назвал биогеохимическими провинциями «области на Земле разной величины, тесно связанные с геохимическими провинциями и отличающиеся более или менее одинаковой концентрацией в среде (почвах, воде, воздухе), одним, отличным от соседних областей уровнем одного или нескольких химических элементов (нормальным, избыточным или недостаточным), с чем связана характерная биологическая реакция флоры и фауны данной области». Согласно В. В. Ермакову, в формировании биогеохимических провинций принципиальное значение имеют геологические факторы, но основной принцип выделения биогеохимических провинций — сочетание геохимических факторов с биологическими. Известно, что множество биологических, внутривидовых факторов оказывают влияние на химический состав живых организмов. На появление особенностей микроэлементного состава живых организмов влияют также морфология водного объекта и характер биогеоценозов. В связи с этим можно констатировать, что возникновение биогеохимических особенностей морских акваторий зависит не только от прямых связей химического состава организмов с составом горных пород, воды или донных отложений, но и от морфологических, гидрологических и биологических особенностей данных морей.

Итак, наличие биогеохимической провинции подразумевает, что особенности микроэлементного состава должны проявляться у всех живых организмов, обитающих в её границах. Кроме того, в зоне существования биогеохимических провинций наблюдаются выраженные проявления изменения метаболизма организмов вплоть до развития эндемических заболеваний, происходит перестройка видового состава экосистем в пользу небольшого числа устойчивых видов. Это, например, наблюдается в рыбах из озёр Кольского севера [Моисеенко] в связи с формированием техногенной медно-никелевой биогеохимической провинции.

У продуцентов (фукусы и ламинарии) Белого моря присутствуют повышенные концентрации Mn (согласно фоновому диапазону, $(Med \pm 2 MAO)$, где MAO — медиана абсолютных отклонений) по сравнению с япономорскими, однако у консументов первого порядка (мидии) и в абиотических

компонентах среды (растворённые формы металлов в воде, в осадках и взвеси) отсутствуют. Источником Mn и Fe, а также других микроэлементов в морской среде Белого моря является непомерно высокий объём речного стока. Высокая продуктивность прибрежной зоны Белого моря, проявляющаяся в повышенной биомассе макроводорослей и моллюсков, и отсутствие доказательств отрицательного влияния Mn на метаболизм организмов не подтверждают наличие в прибрежных водах Белого моря биогеохимической провинции с избытком Mn.

Кадмий — высокотоксичный химический элемент с сомнительной биологической ролью. В растительные клетки он поступает с помощью марганцевых переносчиков. Наиболее высокие концентрации Cd наблюдались в фукусах и мидиях Охотского моря, значимо более низкие — в фукусах и ламинарии Белого моря. В мидиях Японского и Белого морей концентрации Cd сопоставимы. Имеющиеся данные по содержанию Cd во взвеси и донных осадках демонстрируют их сопоставимость в Японском, Охотском и Белом морях. Существует линейная положительная зависимость между содержанием металлов в воде и организмах. Однако в фоновых условиях организмы накапливают металлы с наибольшей интенсивностью до физиологически необходимого количества. Низкие концентрации Cd, а также Zn (элементов с низкими концентрациями в среде, но имеющих высокое сродство к органическому веществу) в макрофитах Белого моря формируются благодаря их распределению по высокой биомассе. Повышенный пул Cd в биотической компоненте Охотского моря (из прибрежных вод Курильских островов) в целом подтверждает существование зоны с биогеохимическими особенностями благодаря гидротермальным и апвеллинговым проявлениям. Последние обогащены растворёнными формами металлов. В связи с высоким сродством Cd к органическому веществу избыток элемента из воды активно ассимилируется живыми организмами, биомасса которых на единицу объёма моря (и даже прибрежной полосы) значительно меньше, чем для Белого; соответственно, ниже конкуренция. В абиотических компонентах среды избыток Cd (относительно япономорских вод) выявляется мозаично. Работы, демонстрирующие токсическое влияние Cd на жизнедеятельность организмов Охотского моря, в настоящее время отсутствуют. Поэтому нет оснований полагать, что прибрежные воды Охотского моря представляют собой биогеохимическую провинцию с избытком Cd.

Если взять за основу определение А. П. Виноградова о биогеохимических провинциях как об экосистемах с избытком или недостатком каких-либо химических элементов в среде и организмах, вызывающих нарушения основных процессов жизнедеятельности, то в морской среде такие акватории займут площадь «небольшого пятна» с наличием источника поступления металлов и с ограниченным водообменом. Так, согласно исследованиям коллег, зона, претендующая на определение «биогеохимическая провинция» в районе Курильских островов, — это бухта Кратерная, о-в Ушишир. Высокие концентрации Fe и Mn в её водах, водорослях, моллюсках в связи с гидротермальной деятельностью и закрытостью акватории создают условия для формирования сообществ с изменённым видовым составом. Отложения плёнок оксидов Fe и Mn на поверхности фукусов вызывают значительные нарушения основных процессов жизнедеятельности водорослей, в том числе нарушение процесса размножения. В то же время в окружающих этот остров водах концентрации металлов сопоставимы с океаническими, в водорослях лишь повышено содержание Cd, Fe и Mn, в моллюсках — Cd, Fe, Cu и Zn, а также расширен диапазон концентраций Fe, Mn и Cd по сравнению с близкородственными видами Японского моря.

Гранулометрический состав и содержание органического вещества в донных отложениях Калининградского залива Балтийского моря

Чечко В. А.¹, Кривошлык П. Н.^{1,2}

¹Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

²Балтийский федеральный университет имени И. Канта, Калининград, Россия

che-chko@mail.ru

Важнейший компонент любых водоёмов — донные отложения. Они являются источником информации о климатических, геохимических и экологических условиях, которые раньше существовали на водосборе и в самом водоёме, и позволяют оценить современное экологическое состояние водной среды. При изучении донных отложений особое внимание уделяется их гранулометрическому составу, так как данные о содержании той или иной фракции дают представление о генезисе, физико-механических и химических свойствах отложений. Именно от гранулометрического состава отложений зависит их способность накапливать различные поллютанты, а также органическое вещество.

Органическое вещество (далее — ОВ) морских донных отложений — важный экологический показатель, определяющий трофическую основу развития донных сообществ и условия их обитания. Избыточное накопление ОВ негативно отражается на экологическом состоянии прибрежных акваторий, что проявляется прежде всего в возникновении придонной гипоксии/аноксии и заморов водных организмов.

Накопление органики в донных отложениях особенно характерно для устьевых районов и полузамкнутых водоёмов, подверженных антропогенной нагрузке. К таким водным объектам относится Калининградский залив, являющийся частью Вислинского залива — крупнейшего мелководного (максимальная глубина — 5,2 м; средняя — 2,7 м) бассейна лагунного типа Балтийского моря. Калининградский залив — это зона множественного хозяйственного использования. Вдоль его северного берега проходит морской канал с интенсивным круглогодичным судоходством, по берегам которого строятся новые причалы, портовые комплексы и нефтяные терминалы; в акватории залива осуществляется активный рыбный промысел и ведётся добыча нерудных полезных ископаемых; в последние годы возрастает значение залива как зоны рекреации [Чечко и др., 2018].

Основная цель работы — исследование особенностей распределения органического вещества и выявление взаимосвязей его содержания с гранулометрическим составом поверхностного слоя донных отложений.

Содержание ОВ оценивалось по потерям при прокаливании (ППП, $t = +550\text{ }^{\circ}\text{C}$); гранулометрический состав донных отложений определялся по массовому содержанию частиц различной крупности, выраженному в процентах, по отношению к массе сухой пробы осадков, взятой для анализа. Он выполнялся ситовым (фракции $> 0,04\text{ мм}$) и водно-механическим (фракции $< 0,04\text{ мм}$) методами. Всего изучено 86 проб донных осадков, отобранных в акватории залива в 2019 г.

На поверхности дна Калининградского залива развиты осадки современного типа, которые являются продуктом осадкообразования, происходящего в настоящее время. В самом общем виде для распределения донных осадков характерно чередование участков песков, песчанистых отложений различной степени заиления и илов различной дисперсности от берегов в сторону центральной, наиболее углублённой части залива. В генетическом отношении в заливе на по-

верхности дна распространены терригенные осадочные образования с большим спектром размерности — валуны, гравий, галька, разнозернистые пески, алевриты и алевритово-пелитовые илы [Чечко и др., 2020]. Минимальным (около 1 %) содержанием карбоната кальция (CaCO_3) отличаются песчаные отложения, а максимальным (6–7 %) — мелкоалевритовые илы.

При исследовании была выявлена очевидная зависимость между количеством ОВ в осадках и их гранулометрическим составом. Наименьшие (0,5–0,25 %) значения содержания органического вещества приурочены к песчаным отложениям (Md 0,1–0,8 мм). При уменьшении медианного диаметра от 0,1 до 0,05 мм значения содержания органического вещества увеличиваются до 5–6 %; при дальнейшем уменьшении размера осадочных частиц содержание органики продолжает расти и достигает максимальных значений на станции 549 (23 %). Таким образом, в результате исследований подтвердилась обратная зависимость между размерным составом осадочных частиц и количеством содержащихся в осадках органических веществ: с уменьшением размера частиц происходит увеличение содержащихся в осадках органических веществ.

В ближайшее время исследования будут продолжены с целью определения зависимостей между ППП и механическим составом осадков во всей акватории залива.

Полевые исследования и гранулометрический анализ проб донных отложений поддержаны проектом РФФИ № 14-45-390013 р_а; определение ППП, анализ и интерпретация данных выполнены при поддержке государственного задания ИО РАН (тема № 0128-2021-0012).

Тяжёлые металлы в прибрежных водах Чёрного и Азовского морей в летний сезон 2020 г.

Чужикова-Проскурнина О. Д.¹, Проскурнин В. Ю.¹, Терещенко Н. Н.¹, Кобечинская В. Г.²

¹ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

²Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, Симферополь, Россия

olga88.chp@ya.ru

Многие тяжёлые металлы относятся к токсичным загрязняющим веществам, требующим постоянного мониторинга для своевременного обнаружения поступления их в окружающую среду и предотвращения негативного воздействия на живые организмы. Источниками их поступления в морскую среду служат как природные процессы, так и антропогенное воздействие, особенно проявляющееся в прибрежных зонах.

Цель работы состояла в изучении пространственного распределения тяжёлых металлов в поверхностной и придонной воде прибрежных районов российского сектора Чёрного и Азовского морей.

Для наблюдений были выбраны 15 мониторинговых станций (ст.): 4 станции у западного побережья Крыма (ст. 1 — в Каркинитском заливе, ст. 2 — у мыса Тарханкут, ст. 3 — на траверзе г. Евпатории, ст. 4 — у г. Севастополя), 4 станции в акватории ЮБК (ст. 5 — в бухте Ласпи, ст. 6 — у г. Ялты, ст. 7 — г. Судак, ст. 8 — в Феодосийском заливе), 4 станции в Азово-Черноморском регионе (в предпроливье Керченского пролива: ст. 9 — со стороны Чёрного моря, ст. 10 — со стороны Азовского моря, ст. 11 — в Арабатском заливе, ст. 12 — около Таганрогского залива), 3 станции у Черноморского побережья материковой части России (ст. 13 — у г. Анапы, ст. 14 — у г. Новороссийска, ст. 15 — у г. Туапсе). Отбор проб воды на указанных станциях осуществлялся с поверхностного и придонного горизонтов в 113-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» (4–29 июня 2020 г.).

Обработка проб производилась в соответствии с РД 52.10.243-92 и заключалась в экстракционном отделении и концентрировании тяжёлых металлов непосредственно после отбора проб в бортовых лабораториях НИС с использованием четырёххлористого углерода и комплексообразователя — диэтилдитиокарбамата натрия (Na-ДДК). Этот метод позволяет выполнить количественное экстрагирование растворённых лабильных форм Cu, Zn, Cd и Pb. Кроме того, имеются данные о том, что Be, V, Fe, Co, Ni, As, Se, Mo, Ag, Sb, Tl также количественно извлекаются по описанной методике.

Измерения проводились в соответствии с ГОСТ Р 56219-2014 методом масс-спектрометрии с индукционно-связанной плазмой на масс-спектрометре PlasmaQuant MS Elite фирмы Analytik Jena AG в ЦКП «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ.

Для оценки загрязнённости вод используются ПДК для морской воды, приводимые в Приказе от 13 декабря 2016 г. № 552 Министерства сельского хозяйства Российской Федерации «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

Концентрации меди находились в пределах 0,12–2,37 мкг·л⁻¹ и на девяти станциях (6–14) превысили 20 % ПДК в поверхностной воде, а в Азовском море (ст. 10–12) — и в придонной воде. Максимальное значение зафиксировано на станции 6 — около 45 % ПДК. Концентрации цинка

были порядка 2,1–32,5 мкг·л⁻¹, они были выше 20 % ПДК для поверхностных горизонтов на ст. 2–4 и 12–14, а для придонных горизонтов — на ст. 5, 7, 12 и 14. Максимальные значения концентраций достигли 60 % ПДК на ст. 12 (придонный горизонт) и 13 (поверхностный горизонт). Максимальная концентрация кадмия — 0,16 мкг·л⁻¹ — определена на ст. 1 в поверхностном горизонте, однако это всего около 1,5 % ПДК. Наибольшая концентрация свинца — 0,22 мкг·л⁻¹ — получена на ст. 9, это около 2 % ПДК.

Концентрация железа достигла 20 % ПДК только в придонной воде ст. 15 — 21,1 мкг·л⁻¹, значительно превысив показатели на других станциях — от 0,4 до 4,4 мкг·л⁻¹. Концентрация кобальта составила 0,001–0,546 мкг·л⁻¹ и превысила 10 % ПДК только на ст. 10 в придонном горизонте, а концентрации никеля (0,23–1,77 мкг·л⁻¹) — на ст. 10–12 в придонных и поверхностных горизонтах. При этом на ст. 11 в придонном горизонте концентрация никеля достигла 20 % ПДК. Содержание ванадия (0,15–0,60 мкг·л⁻¹) на всех станциях и горизонтах, кроме поверхностных горизонтов ст. 13–15, превысило 20 % ПДК, достигая в половине случаев значений порядка 50–60 % ПДК. В отношении бериллия и селена концентрации оказались ниже предела детектирования на всех мониторинговых станциях. Подобная ситуация характерна для серебра и талия, определить концентрации которых удалось только на шести станциях (Ag — 0,0003–0,0039 мкг·л⁻¹; Tl — 0,0002–0,0027 мкг·л⁻¹), а полученные значения едва превышали 2 % ПДК. Максимальные концентрации мышьяка и сурьмы обнаружены в придонных горизонтах на ст. 14 (1,17 и 0,09 мкг·л⁻¹) и 15 (1,34 и 0,06 мкг·л⁻¹). При этом для сурьмы значения соответствуют 1–2 % ПДК, в то время как для мышьяка достигают 10–14 % ПДК.

Для большинства детектируемых элементов более высокие концентрации определяются в поверхностной воде, чем в придонной. Исключением является ванадий, для которого на всех станциях концентрация в придонном горизонте не ниже его концентрации в поверхностной воде, а на отдельных станциях (4–7, 9, 13–15) превышает таковую в 2–3 раза. Также значительные превышения в придонных горизонтах относительно поверхностных определены на отдельных станциях для следующих элементов: железа — на ст. 15 (в 20 раз выше), кобальта — на ст. 10 (в 4 раза выше), цинка — на ст. 5, 7 и 12 (в 2–3 раза выше), сурьмы и мышьяка — на ст. 14 и 15 (в 10–40 раз выше).

Превышения ПДК в 1–2 раза зафиксированы только для молибдена на всех мониторинговых станциях как в поверхностных, так и в придонных горизонтах (кроме придонного горизонта ст. 14), а концентрации при этом находились в диапазоне 0,46–2,10 мкг·л⁻¹. В отношении остальных 14 элементов во всех исследованных районах экологическая ситуация в июне 2020 г. была благоприятной.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Молискологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ гос. регистрации 121031500515-8).

Myxozoan Parasites and Biliary Neoplasia in a Temperate Bass (Moronidae) in North America

Matsche M.

Cooperative Oxford Laboratory, Oxford, Maryland, USA

mark.matsche@maryland.gov

Recent surveys of white perch *Morone americana* from Chesapeake Bay revealed a high prevalence of hepatic and biliary lesions, including neoplasia, and a newly described Myxozoa parasites, *Myxidium murchelanoi*, that infect the bile ducts and gallbladder. Here, we describe lesions in the liver and evaluate for statistical associations among lesions, parasites, and biomarkers of chemical exposure in fish from two tributaries of Chesapeake Bay, USA. Fish were collected from an estuarine site in the Choptank River ($n = 122$; ages 3–11), a tributary with extensive agriculture within the watershed, and the Severn River ($n = 131$; ages 2–16), a tributary with extensive urban development. Passive integrative samplers were deployed at the fish collection site and an upstream, non-tidal site in each river for 30 days. Intrahepatic biliary lesions observed in fish from both rivers included neoplasia (23.3 %), dysplasia (16.2 %), hyperplasia (46.6 %), cholangitis (24.9 %), and dilated ducts containing plasmodia of *Myxidium murchelanoi* (24.9 %). Hepatocellular lesions included foci of hepatocellular alterations (FHA, 15.8 %) and neoplasia in four Severn River fish (2.3 %). Age of fish and *M. murchelanoi* infections were significant risk factors for proliferative and neoplastic biliary lesions, and age alone was a risk factor for FHA. Lesion prevalence was higher in fish from the Severn River, which contained higher concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), organochlorine pesticides, and brominated diphenyl ethers. Metabolite biomarkers indicated higher PAH exposures to Severn River fish. The potential roles of contaminant exposures and *Myxidium* sp. as a tumor promoter are discussed.

Биологические ресурсы, биотехнология и аквакультура

Крабы-вселенцы Баренцева моря и перспективы их промысла

Баканев С. В.

Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО»), Мурманск, Россия

bakanev@pinro.ru

В настоящее время в экосистеме Баренцева моря важную роль играют два вида инвазивных крабов — камчатский краб (*Paralithodes camtschaticus*) и краб-стригун опилио (*Chionoecetes opilio*). Появление первого вида связано с целенаправленной интродукцией из районов нативного ареала, которая проходила во второй половине XX в. Причины стихийной инвазии второго вида до сих пор неясны и могут быть связаны как с непреднамеренным переносом личинок с балластными водами, так и с самостоятельной миграцией взрослых особей под влиянием естественных факторов среды.

Несмотря на то, что крабы образовали самовоспроизводящиеся популяции в Баренцевом море, занимающие обширные акватории, процессы акклиматизации этих видов в полной мере пока не завершены. Крабы активно осваивают новые районы, а также увеличивают свою численность в уже заселённых акваториях. Кроме того, экологические особенности видов не создают для них конкурентные условия, и географическое распределение популяций существенно отличается. Популяция камчатского краба занимает южную часть Баренцева моря, а её расселение происходит в юго-западном и юго-восточном направлении. Краб-стригун отмечается в центральных районах Баренцева моря и активно мигрирует в северо-восточном и северо-западном направлениях.

Рост численности камчатского краба и краба-стригуна опилио вызвал немало дискуссий о его воздействии на экосистему Баренцева моря. Активная дискуссия в научных сообществах и повышенный общественный интерес к проблеме явились стимулом для проведения целого ряда исследований. В частности, проводятся исследования трофической роли инвазивных крабов в экосистеме, а также изучается воздействие вселенцев на местную фауну. Предварительные результаты исследований показали, что величины выедания бентоса камчатским крабом и крабом-стригуном составляют незначительную часть от общей оценённой продукции бентоса в Баренцевом море, что не даёт основания для утверждения о значительном влиянии или подрыве кормовой базы донных рыб. Оценки экологических последствий интродукции камчатского краба на состояние донных сообществ отдельных районов Баренцева моря не выявили отчётливого влияния камчатского краба на общую биомассу бентоса и показатели биоразнообразия в пределах исследованного сообщества.

Вместе с тем оба вида в настоящее время стали промысловыми объектами Баренцева моря, и перспективы их промысла остаются весьма оптимистичными. Эксплуатация запасов камчатского краба Россией и Норвегией ведётся с 1994 г., и в отдельные годы его общий вылов составлял порядка 10–14 тыс. т. По прогностическим оценкам, ежегодный вылов камчатского краба в ближайшие годы может составлять около 20–25 тыс. т.

Краб-стригун опилио в настоящее время является наиболее перспективным объектом добычи в Баренцевом море, его промысел начал развиваться в международных водах в 2013 г. В 2016 г. после проведения аукциона по распределению квот на вылов краба-стригуна опилио был открыт промысел этого биоресурса в российских водах. С 2017 г. идёт ежегодное наращивание промысловых усилий; к 2020 г. количество судов на промысле достигло 17 единиц, а вылов превысил 13 тыс. т. Стабильное и благополучное состояние запаса позволяет рекомендовать его ежегодное изъятие в долгосрочной перспективе на уровне 70 тыс. т.

В настоящее время информационной основой рационального управления запасами крабов-вселенцев являются данные системы окружающая среда — запас — промысел, получаемые как в ходе прямых наблюдений за популяцией и промыслом, так и опосредованно, в рамках долго-временного мониторинга всей экосистемы Баренцева моря.

Оценка состояния промыслового запаса крабов-вселенцев представляет собой комплексную процедуру, основанную на использовании как эмпирических методов анализа временных рядов различных популяционных параметров, так и аналитических моделей динамики численности популяции. С открытием коммерческого промысла и накоплением промысловой статистики были предприняты попытки использовать как сложные когортные модели, базирующиеся на динамике численности размерных групп, так и простые производственные модели, которые в дальнейшем послужили основой для разработки стратегий регулирования промысла в рамках современных концепций рационального рыболовства.

Таким образом, несмотря на сохраняющийся высокий риск негативных последствий для экосистемы Баренцева моря, существуют весьма очевидные позитивные аспекты в появлении крабов-вселенцев для экономического благополучия региона. Согласно текущему состоянию запасов крабов-вселенцев в Баренцевом море, их ежегодный вылов может быть увеличен, что, возможно, позволит Северному рыбохозяйственному бассейну в долгосрочной перспективе стать лидером отечественной добычи промысловых ракообразных.

Научный мониторинг биологических ресурсов в Атлантическом океане

Бандурин К. В., Архипов А. Г., Маслянкин Г. Е.

Атлантический филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства
и океанографии («АтлантНИРО»), Калининград, Россия

arkhipov@atlantniro.ru

Атлантический филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (АтлантНИРО) — один из ведущих государственных научных центров России по изучению водных биологических ресурсов (далее — ВБР). Важная область деятельности АтлантНИРО — комплексное изучение и научный мониторинг ВБР и среды их обитания, разработка мер по сохранению водных биоресурсов в районах действия международных и межгосударственных договоров Российской Федерации в области рыболовства и сохранение ВБР Атлантики, в том числе с целью расширения географии деятельности российского промыслового флота и укрепления позиций России в Мировом океане. В работе проведён краткий анализ современного состояния водных биоресурсов в океанических районах ответственности АтлантНИРО и оценена возможность добычи ВБР отечественным рыбопромысловым флотом в этих районах [Промысловое описание..., 2013 ; Бандурин, Архипов, 2019 ; FAO Yearbook, 2020 ; <http://fish.gov.ru/otraslevaya-deyatelnost>].

Северо-Западная Атлантика (СЗА). Для российского промысла в СЗА наибольшее значение имеют морской окунь, гренландский палтус и берикс. В настоящее время возможности российского промысла в этом районе сравнительно небольшие. Общий объём выделяемых России квот в последние годы составлял до 20 тыс. т (без квоты на вылов пелагического окуня; этот ресурс распределялся как в СЗА, так и в Северо-Восточной Атлантике). Суммарный вылов ВБР всеми странами, ведущими промысел в этом районе, колебался в пределах 1,8–2,1 млн т. Рекомендуемый вылов России составляет примерно 5,0 тыс. т.

Северо-Восточная Атлантика (СВА). Сырьевая база российского рыболовства в СВА представлена пелагическими видами — путассу, пикшей и морскими окунями. В регионе осуществляется действенный мониторинг промысла в рамках межправительственных соглашений и сфер деятельности международных региональных организаций. Ежегодные суммарные мировые уловы водных биоресурсов в последние годы находились на уровне 8,0–9,3 млн т. Всего в СВА (без уловов в Баренцевом и Норвежском морях) Россия может добывать до 80–90 тыс. т.

Центрально-Восточная Атлантика (ЦВА) — традиционный район научного мониторинга запасов ВБР и отечественного рыбного промысла. Основой сырьевой базы промысла в ЦВА являются запасы массовых пелагических рыб — европейской сардины, европейской и западноафриканской ставриды, каранкса, круглой и плоской сардинеллы, восточной скумбрии и некоторых других видов. Нарращивание вылова возможно в основном за счёт сардины, численность которой остаётся на стабильном уровне, и в некоторой степени за счёт скумбрии. Суммарный вылов ВБР всеми странами, ведущими промысел в этом районе, в последние годы был довольно стабильным — в пределах 4,2–5,1 млн т. В настоящее время вылов России в ЦВА (в исключительных экономических зонах (ИЭЗ) иностранных государств) находится на уровне 140–240 тыс. т в год. Ежегодный вылов России в ЦВА (по межправительственным соглашениям в ИЭЗ иностранных государств) возможен в объёме 250–260 тыс. т.

Юго-Восточная Атлантика (ЮВА). Запасы основных промысловых объектов этого района — ставрид, сардинелл и хеков — находятся в удовлетворительном состоянии. Суммарные уловы водных биоресурсов в ЮВА в последние годы изменялись в пределах 1,3–1,7 млн т. В последние годы в ЮВА Россия по договорённости с предприятиями Анголы и Намибии добывала до 15,0 тыс. т рыбы. Ежегодно в ЮВА Россия в рамках совместных с прибрежными странами предприятий может добывать 250–260 тыс. т рыбы.

Юго-Западная Атлантика (ЮЗА) — один из важных районов мирового рыболовства. Ежегодные суммарные уловы морепродуктов в 2010–2018 гг. находились на уровне 1,6–2,4 млн т. Промысел биоресурсов в ЮЗА в последние годы идёт стабильно с выловом, близким к 2 млн т. Уловы выше этой величины, как правило, получают лишь в годы очень высоких уловов аргентинского кальмара. Во многом именно колебания уловов кальмара определяют изменчивость величины общих уловов водных биоресурсов в этом районе. Суммарный вылов России в ЮЗА в основном за счёт промысла кальмара может составить около 40 тыс. т.

Антарктическая часть Атлантики (АЧА). Антарктический криль является главным промысловым ресурсом в водах Южного океана. По сочетанию потенциала вылова и потребительских свойств антарктический криль на сегодняшний день — крупнейший и самый перспективный ресурс Мирового океана. Кроме того, в АЧА ведётся промысел клыкачей и ледяной рыбы. Динамика общего вылова промысловых гидробионтов АЧА, в первую очередь криля, изменялась в пределах 0,16–0,30 млн т. Весь современный промысел криля сосредоточен в Антарктической части Атлантики. Общая биомасса криля в АЧА оценена в 60,3 млн т. величина общего допустимого вылова криля установлена на уровне 5,61 млн т при временном ограничении на вылов в 620 тыс. т. Россия может добывать в АЧА около 300 тыс. т криля.

Возможность интенсификации аэробных биохимических процессов на этапе биологической очистки сточных вод

Басамыкина А. Н., Курбатова А. И., Савенкова Е. В., Куркина Е. В.

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

alena.basamykina@gmail.com

Биологическая очистка является важной и неотъемлемой частью любых очистных сооружений, которые обрабатывают как бытовые сточные воды, так и промышленные. Биологические методы очистки сточных вод применяются для удаления органических и некоторых неорганических (например, сероводорода, сульфидов, аммиака, нитратов и др.) веществ из сточных вод с помощью простейших организмов, которые используют эти вещества для питания, расщепляя их с помощью клеточных процессов.

Проведение аэробной биологической очистки сточных вод требует не только оптимального баланса между поступающим субстратом загрязняющих веществ и качественным составом сообществ микроорганизмов, но и высоких энергетических затрат на подачу воздуха, который необходим для жизнедеятельности этих организмов. Одними из интенсифицирующих факторов для увеличения протекания аэробных биохимических процессов на этапе биологической очистки сточных вод являются повышение массообмена и повышение усвоения кислорода микроорганизмами. За счёт максимального осваивания кислорода стимулируется активность микроорганизмов, благодаря чему достигаются интенсификация процесса и эффективная очистка от загрязнений. Происходит массообмен, который также достигается благодаря интенсивному перемешиванию воздуха, воды и биомассы.

Стоит отметить, что предлагаемая технология для интенсификации аэробных биохимических процессов на этапе биологической очистки сточных вод обеспечивает высокую активность процессов нитрификации и денитрификации посредством как равномерно распределённой в жидкости биомассы, так и биоплёнки, которая растёт на специальной биозагрузке. Кроме того, технология потребляет незначительное количество энергии — 0,2 кВт·ч электроэнергии на удаление одного килограмма ХПК. Контролирование биохимического процесса достигается особой геометрией биореактора, позволяющей использовать потоки струй жидкости и воздуха для создания нужной среды обитания микроорганизмов. Таким образом, происходит большее потребление подаваемого воздуха микроорганизмами, в результате чего достигается глубокая биологическая очистка с полным окислением органических соединений.

Интенсификация биохимических процессов наблюдается за счёт равномерного распределения хлопьев активного ила, а также за счёт высокого обеспечения биомассы кислородом и субстратом благодаря ускоренному массообмену. В результате ускоряется процесс разрушения загрязняющих веществ и, соответственно, изменяется время протекания биохимических процессов на биологическом этапе очистки сточных вод.

Динамика популяционных характеристик черноморской атерины *Atherina boyeri* Risso, 1810 Каркинитского залива и перспективы её хозяйственного использования

Белогурова Р. Е., Карпова Е. П., Аблязов Э. Р.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

belogurova_re@ibss-ras.ru

Семейство Атериновые (Atherinidae) в Чёрном море, по литературным данным, представлено тремя видами; это атерина средиземноморская (*Atherina hepsetus* Linnaeus, 1758), атерина коричневая (*A. bonapartii* Boulenger, 1907) и атерина черноморская (*A. boyeri* Risso); из них последний вид наиболее распространён у берегов Крымского полуострова [Световидов, 1964 ; Васильева, 2007; Болтачев, Карпова, 2017]. Систематическое положение этого вида до сих пор является объектом дискуссий, и в данной работе, руководствуясь последними таксономическими сводками, авторы используют наименование *Atherina boyeri* [Eschmeyer's Catalog of Fishes, 2021].

Ввиду своей невысокой промысловой ценности атерина черноморская в настоящее время — это слабо изученный объект. Тем не менее этот вид является массовым в приловах пассивных орудий лова (вентерь, ставной невод), что делает его перспективным объектом исследований [Суховая, 2012 ; Самотой, 2014 ; Куцын, Самотой, 2020]. При промысле травяной креветки (*Palaemon adspersus* Rathke) в районе Каркинитского залива доля атерины в улове по численности среди других рыб в вентерях составляла от 14,5 до 90,4 % [Прищеп, 2017], а по массе от общего веса улова вентерей — около 50 %. Атерина является источником дешевого сырья для получения пищевого белка животного происхождения [Памбук, 2007]. Согласно литературным данным, благодаря недоиспользованности в качестве объекта промысла атерина может также стать альтернативным сырьём для производства белковых гидролизатов — ценных легкоусвояемых дополнительных источников белка [Чернявская и др., 2017а, б ; Виннов, Турбал, 2012].

На сегодняшний день виды рода *Atherina* входят в перечень видов, допустимых к промыслу согласно распоряжению Правительства Российской Федерации от 18.11.2017 № 2569-р об утверждении перечней видов водных биоресурсов, в отношении которых осуществляются промышленное рыболовство и прибрежное рыболовство (с изменениями на 10.02.2021). При этом в перечне выделяется общая квота на все виды рода *Atherina*. Доля атерин в вылове крымскими пользователями в Чёрном море от общего вылова водных биологических ресурсов составляет менее 1 %, что позволяет говорить о том, что в некоторых случаях, например при промысле травяной креветки, добыча атерины не учитывается.

В условиях практически полного исчезновения ценных промысловых видов рыб Чёрного моря (осетровые, камбаловые) и, как следствие, возросшей численности мелких короткоциклового видов, к которым относится черноморская атерина, проблема получения легкоусвояемого белка животного происхождения стоит достаточно остро. С учётом вышесказанного актуальным является комплексное изучение популяционных характеристик черноморской атерины как перспективного объекта хозяйственного использования.

Материалом для работы являются пробы рыб, которые были получены в экспедиционных исследованиях, осуществляемых авторами в Каркинитском заливе (северо-западная часть Крымского полуострова, Раздольненский район) в ноябре 2015 г., июле 2016 г., марте 2017 г. и с апреля по июнь в 2018 г. Анализировался прилов креветочных вентерей с ячеей 6,5–8,0 мм, устанавли-

ваемых в зарослях морских трав (*Zostera* sp.) на глубинах 0,5–1,2 м. Биологическому анализу были подвергнуты 997 особей черноморской атерины: 299 экземпляров в 2015 г., 118 в 2016 г., 198 в 2017 г. и 382 в 2018 г. У рыб измеряли тотальную и стандартную длину тела (TL и SL) с помощью штангенциркуля с точностью до 0,1 мм, а также массу тела (P); определяли половую принадлежность и стадию зрелости. Математическая обработка данных выполнена в программном пакете Microsoft Excel 2018.

По результатам анализа, в среднем атерина из улова 2015 г. была крупнее, чем рыбы в другие периоды исследований, хотя для атерины, выловленной в 2018 г., было зафиксировано наибольшее значение стандартной длины (SL = 101,5 мм). Половое соотношение у особей, выловленных в 2015 г., составляло 1:1,4 с преобладанием самок. В целом самцы в ноябре 2015 г. были достоверно мельче самок ($t = 3,87$, $p < 0,05$), для которых зафиксированы максимальные значения стандартной длины и массы. Картина размерно-частотных характеристик атерины в 2015 г. следующая: соотношение самцов и самок размерных классов 60–80 мм практически одинаково; в то же время у самок преобладали более высокие размерные классы (80–90 мм). Зависимость массы атерины от стандартной длины с высокой степенью аппроксимации ($R^2 > 0,9$) описывается степенным уравнением Рикера [Рикер, 1979]. И у самцов, и у самок коэффициенты a и b почти равны; соответственно, скорость весового роста атерины в ноябре 2015 г. по половому признаку практически не отличается.

В июльской выборке (2016) самки атерины также оказались крупнее самцов, причём в высоких размерных классах (90–100 мм) не было зафиксировано ни одного самца. Это связано с тем, что в период нереста самцы атерины погибают, и среди наиболее крупных особей встречаются в основном самки. Тем не менее у самцов преобладали размерные классы 70–85 мм, а у самок — 65–75 мм. Достоверных различий по стандартной длине у двух полов между собой не зафиксировано. Половое соотношение соответствовало 1:1,3 с преобладанием самок. Атерина в июле 2016 г. регистрировалась на стадии выбоя половых продуктов. Относительная скорость весового роста и степень кривизны кривых аллометрического роста выше у самок атерины ($R^2 > 0,9$).

В марте 2017 г. самки оказались незначительно крупнее самцов, в то же время предельные значения стандартной длины были зафиксированы для самок. Половое соотношение, как и в прошлой выборке, соответствовало 1:1,3 с преобладанием самок. У представителей обоих полов преобладали размерные классы 65–75 мм. В целом данная выборка уступает в значениях массы предыдущим выборкам, что связано с потерями в весе во время зимовки. Оценка значимости отличий размерно-массовых показателей самцов и самок атерины с использованием критерия Стьюдента также не выявила достоверных различий; скорость весового роста атерины в выборке по половому признаку практически не отличалась.

В весенне-летний период 2018 г. самки в среднем оказались крупнее самцов, но для последних зафиксированы предельные значения стандартной длины и массы тела. Половое соотношение составило 1:1,6 с преобладанием самок. Оценка значимости отличий размерно-массовых показателей самцов и самок атерины с использованием критерия Стьюдента не выявила достоверных различий. С высокой степенью достоверности ($R^2 > 0,8$) весовой рост черноморской атерины аппроксимируется степенными уравнениями Рикера. Исходя из коэффициентов b уравнения Рикера, можно заключить, что в марте и апреле набор массы рыб происходил несколько быстрее, чем в июне, что связано с развитием половых продуктов и подготовкой к нересту, который осуществляется с апреля по август.

Попарное сравнение размерно-массовых характеристик самок и самцов атерины, выловленных в разные годы, с использованием *t*-критерия Стьюдента выявило достоверные различия у самок 2015, 2016 и 2017 гг. по стандартной длине и массе, а у самцов — только по массе. Доказаны достоверные отличия по стандартной длине для выборок самок 2015 и 2018 гг.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИНБЮМ по темам «Фундаментальные исследования популяционной биологии морских животных, их морфологического и генетического разнообразия» (№ 121040500247-0) и «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана» (№ 121030100028-0).

Водные биологические ресурсы южных мигрантов в Южно-Курильской зоне

Болдырев В. З., Бадаев О. З.

Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), Владивосток, Россия

Цель работы — оценка состояния ресурсов и промысла мигрирующих южных гидробионтов в Южно-Курильской зоне Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна России.

Данные по общему допустимому улову (далее — ОДУ) и рекомендованному вылову (далее — РВ) взяты из материалов «ТИНРО»; также привлечены сведения из базы данных отраслевой системы мониторинга водных биологических ресурсов, наблюдения и контроля за деятельностью промысловых судов (ОСМ). Фактический вылов и освоение водных биоресурсов рассчитаны по данным судовых суточных донесений (ССД) и отчётов предприятий из ОСМ. Для уточнения некоторых вопросов получены консультации специалистов-экспертов «ТИНРО».

Физико-географическое положение Южно-Курильской зоны определили уникальные условия для разнообразия промысловых видов региона. Здесь добывается до 505,3 тыс. т промысловых гидробионтов в год.

Изучению проблемы освоения водных биологических ресурсов региона уделяется внимание, однако многие вопросы ещё не решены.

При рекомендованной величине промыслового изъятия в Южно-Курильской зоне в 2000–2020 гг. 452,19–944,346 тыс. т (в среднем 623,063 тыс. т) вылов составил 67,7–505,3 тыс. т (в среднем 206,5 тыс. т).

Гидрологический режим в районе Южных Курильских островов очень динамичен и зависит от множества факторов. Это, в свою очередь, обеспечивает высокую межсезонную и межгодовую динамику видовой структуры нектонного сообщества.

Для Южно-Курильской зоны в летне-осенний период характерно наличие промысловых видов южных гидробионтов-мигрантов. Это тихоокеанский кальмар (*Todarodes pacificus*), сайра (*Cololabis saira*), японская скумбрия (*Scomber japonicus*), дальневосточная сардина (*Sardinops melanostictus*), японский анчоус (*Engraulis japonicus*), корифена (*Coryphaena hippurus*), гипероглиф (*Hyperoglyphe japonica*), тунцы (некоторые виды родов *Thunnus*, *Katsuwonus* и *Euthynnus*), акулы (некоторые виды родов *Somniosus*, *Lamna*, *Prionace* и *Squalus*), японский морской лещ (*Brama japonica*), лемонема (*Laemonema longipes*) и др. В России эти виды добываются только здесь или в основном здесь.

В разные периоды, наряду с минтаем (*Theragra chalcogramma*) и тихоокеанскими лососями (р. *Oncorhynchus*), основу прогнозируемых объектов и вылова составляли тихоокеанская сайра, дальневосточная сардина (иваси), японская скумбрия, японский анчоус, кальмары тихоокеанский и Бартрама (*Ommastrephes bartrami*).

В рекомендованном и фактическом вылове за период 2000–2020 гг. некоторые южные мигранты достигают значительных величин: сайра (ОДУ, РВ) — 215 тыс. т, вылов — 128,81; скумбрия — 230 и 65,9 тыс. т соответственно; сардина — 220 и 308,7 тыс. т; кальмары — 145 и 25,3 тыс. т; лемонема — 14 и 19,2 тыс. т. Остальные южные мигранты в этом ряду занимают незначительное положение.

Для некоторых видов характерна значительная флуктуация численности (сардина, анчоус, скумбрия, сайра, тихоокеанский кальмар). Вследствие того, что Южно-Курильская зона (российские воды вообще) являются лишь частью нагульного ареала этих промысловых объектов, прогнозировать величину их рекомендованного изъятия сложно.

В последние годы на фоне сокращения вылова сайры увеличилась добыча сардины и скумбрии, которые после длительного перерыва в больших количествах вновь появились в российских водах.

Значительные объёмы ОДУ и РВ осваиваются не в полной мере или не осваиваются совсем. Это является следствием разной доступности для промысла, близости специфических рынков сбыта, формирующих спрос, сезонной изменчивости биоценозов, образующейся прежде всего за счёт nekтона южного комплекса, и других причин.

Сезонная изменчивость биоценозов в Южно-Курильской зоне обуславливает разную интенсивность промысла различных объектов в течение года.

Иногда интенсивность промысла связана не с динамикой биомассы промысловых гидробионтов, а с организационными вопросами и факторами внешней среды. Например, лемонему можно добывать в ноябре — декабре так же интенсивно, как в летнее время, однако циклоническая активность в этот период мешает ловить её тралами на сложных грунтах.

Аквакультура водорослей в Баренцевом, Гренландском и Норвежском морях

Воскобойников Г. М.¹, Воскобойников А. В.²

¹Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, Россия

²Norway Seaweed AS, Arendal, Norway

grvosk@mail.ru

Искусственное выращивание водорослей в прибрежных районах морей описывалось задолго до появления термина «аквакультура». Уже 500–600 лет назад в Китае в промышленных масштабах выращивали красную водоросль порфиру. Первые упоминания об использовании водорослей в качестве полезной для здоровья пищи, а также в качестве сырья для приготовления лекарственных средств присутствуют уже в «Каноне медицины» и в других книгах, написанных известным врачом-врачевателем Авиценной в начале XI в. Правда, в них не указано, используются для этих целей водоросли, взятые из природы, или выращенные на плантациях.

Основным объектом аквакультуры арктических морей была и остаётся *Saccharina latissima* (сахарина большая) = *Laminaria saccharina* (ламинария сахаристая). Исследования морфологии, эмбриологии и раннего онтогенеза данного вида водорослей, результаты которых стали теоретической основой аквакультуры, были начаты в 1950–1960-е гг. Первая опытно-промышленная ламинариевая плантация была создана на Баренцевом море в 1983 г. в губе Зеленецкая. Выращивание проводилось в двухгодичном цикле. Урожайность составила 55–60 т·га⁻¹. Последующие разработки позволили повысить урожайность до 70 т·га⁻¹. Опытное-промышленное культивирование показало, что ламинариевые хозяйства в условиях Севера способны быть высокопродуктивными.

Для культивирования данный вид не является чужеродным, это массовый вид в Баренцевом море. Локальная концентрация биомассы ламинарии на плантации при урожайности 70 т·га⁻¹ выше средней биомассы в природных зарослях в 2–2,5 раза, но ниже максимальной биомассы для данного региона в 3–4 раза. Как показал гидробиологический мониторинг, плантация не оказывает отрицательного влияния на окружающие биологические сообщества. Вместе с тем с учётом того, что запасы ламинарии составляют в Баренцевом море около 300 тыс. т, а добыча в настоящее время не превышает 1,0 тыс. т, встаёт вопрос: зачем развивать аквакультуру, если не используются природные заросли. Причины — экономические. Промысел до последнего времени был малорентабельным. Именно по пути разработки новых технологий сбора водорослей пошли в Норвегии, при этом не забывая о новых технологиях аквакультуры.

В докладе на конкретных примерах будут показаны возможные технологии выращивания водорослей на плантациях и сбора водорослей в природе. Проанализирован опыт аквакультуры ламинарии в Грэн-фьорде (Шпицберген) и у берегов Норвегии, а также перспективы выращивания водорослей с заданными свойствами. Большое внимание будет уделено использованию ламинарии и других водорослей в санитарной аквакультуре.

Сравнительная характеристика производителей стерляди из природной популяции и выращенных в условиях УЗВ

Данилова Е. А.¹, Бубунец Э. В.²

¹Дмитровский рыбохозяйственный технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «АГТУ»,
Рыбное, Россия

²ФГБУ «Центральное управление по рыбохозяйственной экспертизе и нормативам по сохранению,
воспроизводству водных биологических ресурсов и акклиматизации», Москва, Россия

kafvba@mail.ru

Осетровые в настоящее время являются востребованными объектами выращивания в мировой аквакультуре. При формировании маточных стад в условиях, отличающихся от природных, проявляются различия по ряду признаков. При воспроизводстве в рыбоводных хозяйствах наиболее важны те показатели, которые сопоставимы с продуктивными характеристиками, — масса, длина, коэффициент упитанности. Актуальным остаётся вопрос дифференцировки рыб по полу независимо от возраста. У выращиваемой стерляди половой диморфизм проявляется слабо, особенно у не достигших половой зрелости особей.

В работе представлено сравнение биометрических показателей этого вида из природных условий (дикая рыба) и производителей, выращенных в установке замкнутого водообеспечения (далее — УЗВ).

Объект исследования — стерлядь (*Acipenser ruthenus* Linnaeus, 1758). Природная популяция представлена особями из Саратовского водохранилища в период нерестового хода, выловленными для целей воспроизводства в количестве 187 экз. (данные любезно предоставлены сотрудниками ГосНИОРХ). Для сравнения использовали данные бонитировки, ремонтно-маточного стада (далее — РМС) стерляди Можайского производственного экспериментального рыбоводного завода (далее — МПЭРЗ), выращенной в условиях УЗВ из оплодотворённой икры от диких производителей и собственных генераций (242 экз.: 156 ♀ и 86 ♂; возраст 3+...8+). Сравнительный анализ проведён по признакам: масса (P, г), зоологическая длина (L (AB), см), промысловая длина (I (AC), см), коэффициенты упитанности по Фультону (K.y.L; K.y.I). Сравнение проводили по критерию достоверности Стьюдента (≥ 3). Сравнивали особей по полу как внутри каждой группы, так и из разных условий обитания. Полученные результаты обработаны статистически в MS Excel.

Анализ промеров стерляди.

Стерлядь из Саратовского водохранилища характеризовалась следующими показателями:

- выявлено самок — 65 экз.; самцов — 122 экз.; соотношение полов — $\sim 1:2$;
- масса средняя по выборке — $(1130,7 \pm 68,03)$ г; средняя масса самок — $(1645,38 \pm 167,14)$ г; средняя масса самцов — $(856,5 \pm 35,29)$ г;
- длина L средняя по выборке — $(57,1 \pm 0,72)$ см; по самцам — $(54,28 \pm 0,64)$ см; по самкам — $(62,40 \pm 1,47)$ см;
- длина I средняя по выборке — $(49,7 \pm 0,65)$ см; по самцам — $(47,21 \pm 0,53)$ см; по самкам — $(54,40 \pm 1,41)$ см;
- возраст исследованных рыб — от 4 до 25 лет (5+ — 21 %);
- K.y.L средний по выборке — $(0,53 \pm 0,011)$; по самцам — $(0,51 \pm 0,01)$; по самкам — $(0,56 \pm 0,099)$;

- К.у._L средний по выборке — $(0,80 \pm 0,008)$; по самцам — $(0,67 \pm 0,092)$; по самкам — $(0,86 \pm 0,099)$.

Сравнительный анализ пластических признаков, коэффициента упитанности самок и самцов из нативного ареала выявил достоверные отличия:

- 1) всей выборки по всем показателям — 95–99 %;
- 2) по всем показателям у самцов и самок с гонадами на IV стадии зрелости — 99 %;
- 3) в 4 года масса самцов достоверно превышала массу самок (возможно, связано с созреванием самцов и незрелыми самками); при сравнении рыб только на II стадии зрелости гонад разница не достоверна.

Производители стерляди из РМС МПЭРЗ характеризовались следующими показателями:

- в маточном стаде соотношение самцов и самок — 1:1,8; проанализированы особи с гонадами на IV стадии зрелости;
- масса средняя по выборке — $(1505,7 \pm 27,3)$ г; средняя масса самок — $(1558,3 \pm 36,4)$ г; средняя масса самцов — $(1409,7 \pm 37,3)$ г;
- длина L средняя по выборке — $(66,21 \pm 0,3)$ см; по самцам — $(65,94 \pm 0,49)$; по самкам — $(66,36 \pm 0,43)$;
- длина I средняя по выборке — $(59,5 \pm 0,3)$ см; по самцам — $(58,86 \pm 0,44)$; по самкам — $(59,84 \pm 0,4)$;
- РМС представлено возрастными группами 3+ (22 %), 4+ (49 %), от 5+ до 8+ (29 %);
- К.у._L средний по выборке — $(0,51 \pm 0,01)$; по самцам — $(0,49 \pm 0,01)$; по самкам — $(0,53 \pm 0,01)$;
- К.у._I средний по выборке — $(0,71 \pm 0,01)$; по самцам — $(0,69 \pm 0,01)$; по самкам — $(0,72 \pm 0,01)$.

Сравнительный анализ производителей, выращенных в условиях УЗВ МПЭРЗ, показал следующее:

- 1) самки достоверно отличаются от самцов на уровне 95–99 % по массе, коэффициентам упитанности и отношением длин к массе;
- 2) в возрасте 3+ достоверно отличие самцов и самок только по К.у._L (99 %) и К.у._I (95 %), при этом масса самок больше, а длина меньше, чем у самцов (но разница не достоверна);
- 3) в возрасте 4+ масса самок достоверно (95 %) превышает массу самцов;
- 4) в возрасте от 5+ до 8+ достоверны различия только по массе (у самок она выше) и К.у._L (95 %; больше у самцов).

Самцы и самки в возрастных группах заводских производителей не имели достоверных отличий по длине; с возрастом у них нивелировались различия и по коэффициентам упитанности.

При сравнении производителей стерляди, обитавших в состоянии естественной свободы, и особей, выращенных в УЗВ, отмечено следующее:

- 1) получены достоверные отличия по всем показателям, за исключением К.у._L;
- 2) в 5-годовалом возрасте производители из природного ареала имели среднюю массу 536,6 г, L 47,7 см и I 41,5 см, а производители стерляди из УЗВ МПЭРЗ в возрасте 4+ имели показатели P 1456,5 г, L 65,7 см и I 58,8 см;

- 3) при сравнении выборок диких и заводских производителей в возрасте 4–9 лет отдельно по полу как самки, так и самцы показали достоверные отличия по всем показателям, кроме К.у.Л.

Выводы. В природной популяции было выявлено, что в период начала созревания масса самцов достоверно превышает массу самок, однако более возрастные самки на IV стадии зрелости достоверно превосходили одновозрастных самцов по массе. У заводских производителей самки всегда крупнее самцов по массе, но в начале созревания разница не достоверна; различия коэффициента упитанности выражены только в возрасте 3+; по длинам тела (L и l) различий нет ни в одной возрастной группе. В целом природная популяция рыб достоверно отличалась от заводских производителей по всем признакам, за исключением коэффициента упитанности К.у.Л.

Ростовые и продукционные характеристики культуры *Tetraselmis viridis* в тепличном бассейне при естественных источниках света и углерода

Жондарева Я. Д.

ФГБУН ФИЦ «Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН»,
Севастополь, Россия

yana.zhondareva@yandex.ru

Микроводоросли рассматриваются как важный природный ресурс, способный обеспечить различные биопродукты для пищевой, нутрицевтической, медицинской, косметической промышленности и аквакультуры. Однако необходимо учитывать экономику процесса их выращивания. Крупномасштабное производство микроводорослей по-прежнему является сложной проблемой, в первую очередь из-за высокой себестоимости биомассы. Дизайн и технология системы культивирования должны разрабатываться с использованием энергоэффективных подходов, чтобы максимизировать объём производства с наименьшими затратами. Этим требованиям удовлетворяет технология выращивания микроводорослей на естественном освещении. Следующий важный момент энергоэффективного подхода — применение недорогого динамического перемешивания культуры для максимального использования углекислого газа из атмосферы и питательных веществ из среды. При таких условиях можно получать культуру высокой плотности, что позволяет использовать бассейны небольшой глубины и объёма при равных освещаемых площадях.

Так как в последние годы стала бурно развиваться аквакультура ценных пород рыб, появилась потребность в пигментах и полиненасыщенных жирных кислотах, которые стимулируют рост и выживаемость личинок рыб, повышают качество конечной продукции. К наиболее перспективным источникам биологически ценных продуктов из микроводорослей относятся морские виды. В качестве одного из объектов, перспективных для промышленного производства и практического использования, можно рассматривать морские одноклеточные водоросли рода *Tetraselmis*.

Таким образом, целью данной работы является экспериментальное обоснование возможности массового культивирования микроводоросли *Tetraselmis viridis* при минимальных технических и технологических затратах производства. В опытах использовали альгологически чистую культуру *Tetraselmis viridis* (Rouchijajnen) R. E. Norris, Hori & Chihara, 1980 — штамм IMBR-25 из ЦКП «Коллекция гидробионтов Мирового океана» ФИЦ ИнБЮМ. Питательную среду готовили на основе пастеризованной черноморской воды с добавлением всех необходимых для роста микроводоросли макро- и микроэлементов: NaNO_3 — $1,8 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$, $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ — $0,3 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$, Na_2EDTA — $0,037 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$, $\text{FeC}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — $0,042 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$, $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ — $0,008 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$, $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ — $0,00625 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$, $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ — $0,00183 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$, $\text{K}_2\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ — $0,00238 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$. Для экспериментов использовали неглубокие (до 18 см) бассейны прямоугольной формы размером $0,5 \times 1 \text{ м}$, выстеленные полиэтиленовой плёнкой. Перед экспериментом культиваторы стерилизовали ультрафиолетовой лампой в течение 1 часа. Глубина слоя суспензии в опытах поддерживалась на уровне 8 см (объём — 40 л), с ежедневной компенсацией испарившейся воды. В одном из углов бассейна был расположен аквариумный компрессор, который перемешивал суспензию и обеспечивал газообмен с внешней средой.

Фотоавтотрофный рост микроводорослей обеспечивался только естественным освещением. Начало эксперимента было осуществлено в день летнего солнцестояния — 22 июня 2018 г., ко-

гда наблюдается максимальная инсоляция поверхности земли. На протяжении недельного опыта стояли ясные солнечные дни. Измерения на поверхности бассейнов подтвердили, что в течение дня их освещённость в области фотосинтетически активной радиации была близкой к расчётной для г. Севастополя. Основная проблема теплиц — это перегрев культуры при высокой освещённости. Снижение температуры в культуре происходит за счёт активной продувки суспензии воздухом и непринудительной вентиляции самой теплицы. Кроме того, снижение температуры микроводорослевой суспензии предусмотрено теплообменниками в виде шлангов, погруженных в культуру, за счёт прокачки через них воды из моря. В наших опытах температура культуры в дневное время поддерживалась на уровне +27...+30 °С, что соответствует оптимальному диапазону роста *Tetraselmis viridis*. Контроль роста производился тремя независимыми методами: по изменению оптической плотности культуры, подсчётом концентрации клеток и определением абсолютно сухой массы в единице объёма культуры.

Динамика роста концентрации клеток в экспериментальной культуре *T. viridis* показала, что культура имела устойчивый непрерывный рост в течение первых четырёх суток. За это время концентрация клеток превысила 1 млн кл.·мл⁻¹, т. е. увеличилась примерно в 8 раз. После запуска (концентрация $N_0 = 0,137$ млн кл.·мл⁻¹) в течение первых четырёх суток (t) концентрация клеток (N , млн кл.·мл⁻¹) растёт практически линейно, со скоростью $P_n = 237$ тыс. кл.·мл⁻¹·сут⁻¹.

Этот рост хорошо описывается уравнением прямой [Тренкеншу, 2018]:

$$N = N_0 + P_n t = 0,137 + 0,237t; (0 \leq t \leq 4).$$

Аналогичная картина наблюдалась и для динамики оптической плотности культуры в области 750 нм, показывающей устойчивое непрерывное возрастание в течение первых шести суток, причём оптическая плотность за это время увеличилась более чем в десять раз, изменяясь от 0,5 до 6 ед. опт. пл. Сопоставлением измеренных значений удалось обнаружить высокую корреляцию между концентрацией клеток и оптической плотностью культуры для диапазона концентраций от нуля до 1 млн кл.·л⁻¹. Найденная связь позволяет недорогим оптическим способом осуществлять непрерывный контроль и управление плотностью культуры при переходе к квазинепрерывному процессу выращивания *T. viridis*.

Накопительная кривая роста биомассы (в сухом виде) представляла собой типичную сигмоидную зависимость. Плотность культуры за 6 суток роста увеличилась примерно в 12 раз и достигла 0,62 г (АСВ)·л⁻¹, или 49 г (АСВ)·м⁻², максимальная продуктивность P_t составила 0,18 г (АСВ)·л⁻¹·сут⁻¹, или 14,4 г (АСВ)·м⁻²·сут⁻¹. Достигнутая продуктивность сравнима с таковой в аналогичных опытах других авторов, но ниже максимальных значений, полученных в опытах при использовании дополнительных источников углерода [Raes et al., 2014; Fon Sing, 2014]. Можно утверждать, что в наших опытах лимитирующим скорость роста фактором является углеродное обеспечение клеток. Дополнительное увеличение углеродного питания при данных световых условиях может увеличить продуктивность, но повысит себестоимость получаемой биомассы.

Таким образом:

- 1) экспериментально показана возможность интенсивного полупромышленного выращивания черноморской жгутиковой микроводоросли *Tetraselmis viridis*;
- 2) предложена технология культивирования, не требующая больших энергетических и материальных затрат на организацию массового производства, т. к. используются естественные источники света и углерода — солнечный свет и углекислый газ из воздуха;
- 3) зарегистрированы максимальные для данных условий плотность культуры *Tetraselmis viridis* (около 50 г (сухой массы)·м⁻², или 88 млрд кл.·м⁻²) и продуктивность 14,4 г (сухой массы)·м⁻²·сут⁻¹, или 19 млрд кл.·м⁻²·сут⁻¹.

Анализ морфологических особенностей пищеварительной системы молоди чистильщика радужного губана *Labrus bergilta* — возможного объекта марикультуры

Журавлева Н. Г.

Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, Россия

nonnazh@yandex.ru

Возможность использования чистильщика *Labrus bergilta* — естественного охотника на эктопаразита — в качестве альтернативы химическим методам борьбы с проблемой «морской вши» привлекла внимание специалистов коммерческой марикультуры лососевых и трески. Успешное применение экологически чистых мер (использование чистильщика, а не химических средств для борьбы с эктопаразитами) влечёт за собой задачу обеспечения достаточного количества чистильщика для лососевой и тресковой марикультуры, поскольку основным препятствием в масштабном использовании его для аквакультуры является ограниченность популяции в дикой природе, уменьшающейся по мере вылова. Для этого требуется наладить их воспроизводство. Исследования морфологических особенностей молоди чистильщика — важная теоретическая основа их выращивания, профилактики заболеваний и лечения.

Основные механизмы развития пищеварительной системы схожи у личинок костистых рыб. У чистильщика на 3-й день (когда открывается рот и анус) начинает дифференцироваться пищеварительный тракт. Большинство органов пищеварительной системы имеет презумптивное строение. На 10-й день (когда полностью рассасывается желточный мешок) личинки переходят на внешнее питание. На 13-й день отмечены первые вкусовые рецепторы и зачатки глоточных зубов.

Поджелудочная железа (панкреас) фактически является гепатопанкреасом. Экзокринная часть сформирована клетками с тёмной базофильной цитоплазмой с большим числом эозинофильных гранул, которые содержат зимоген (неактивная стадия пищеварительных энзимов). Эти энзимы транспортируются в просвет кишечника посредством панкреатического дукта, который выстлан призматическими эпителиальными клетками. Эндокринная часть панкреаса (островки Лангерганса) развивается у личинок чистильщика до перехода на экзогенное питание. Наличие большого количества апоптозных клеток, тёмных, с плотным пикнотическим ядром, свидетельствует о воспалении поджелудочной железы.

Печень представлена гепатоцитами и сосудами. Плавательный пузырь состоит из трёх слоёв. Внутренний слой — слизистая оболочка — состоит из призматического и/или переходного эпителия; далее следует мышечный слой и внешний слой — соединительнотканый. Воспалительные явления, отмеченные в плавательном пузыре, могут привести к искривлению ното хорда и к гибели молоди.

Морфологические исследования актуальны для выращивания жизнестойкой молоди чистильщика, которое успешно предпринималось на многих экспериментальных базах в Ирландии, Норвегии, Великобритании. Совместное разведение чистильщика и лосося или трески спасает последних от морской вши, что повышает выход товарной продукции на 15 %.

Биологические ресурсы промысловых видов рыб и специфика их освоения в различных эстуариях Камчатского края

Коваль М. В.¹, Горин С. Л.²

¹Камчатский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («КамчатНИРО»), Петропавловск-Камчатский, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Россия

koval.m.v@kamniro.ru

Камчатский край (п-ов Камчатка и Корякия) — один из важнейших рыбопромысловых районов России. Экономика этого региона всегда была основана на рыбном промысле, ресурсной базой которого до сих пор являются природные популяции рыб. В настоящее время на Камчатке ежегодно добывается в пределах ~ 1,5–1,9 млн т рыбы и других водных биологических ресурсов, что в отдельные годы составляет 40–55 % общебассейнового вылова биоресурсов на российском Дальнем Востоке, или 30–40 % их суммарной годовой добычи в Российской Федерации [Антонов, 2011 ; Дьяков и др., 2012 ; Варкентин и др., 2016].

Сейчас важнейшими объектами промышленного рыболовства на Камчатке являются массовые морские рыбы (тресковые, сельди, терпуги, камбалы, палтусы, морские окуни, бычки и др.), а также ценные анадромные виды рыб (тихоокеанские лососи, гольцы, корюшки и некоторые др.) [Дьяков и др., 2012 ; Варкентин и др., 2016]. Так, ежегодный суммарный объём добычи морских рыб в Камчатском крае в 2010–2020 гг. колебался на ~ 1,3–1,5 млн т (70–90 % общего вылова в регионе), а анадромных рыб — от ~ 0,14 до ~ 0,50 млн т (10–30 %) [Бугаев и др., 2020].

Анадромные рыбы размножаются в пресных водах, затем скатываются в море для нагула, а после возвращаются в реки для воспроизводства. Во время таких миграций эти рыбы играют ключевую роль в структуре прибрежных, эстуарных и речных экосистем. Промысел ценных анадромных видов рыб (прежде всего лососей) на Камчатке имеет сезонный характер и происходит по большей части в тёплое время года в период их массового нерестового хода в реки. Сосредоточен этот промысел в прибрежной зоне моря, в эстуариях и в нижнем течении рек. В этот период анадромные рыбы имеют важнейшее экономическое и социальное значение для всего населения Камчатки.

Начиная с 2002 г. мы проводим комплексные исследования эстуариев Камчатки, основная цель которых заключается в оценке воздействия различных экологических факторов на воспроизводство и состояние ресурсов естественных популяций анадромных рыб этого региона. За 20-летний период исследовано более 15 водных объектов, расположенных в различных частях Камчатского края [Горин, Коваль, 2015 ; Коваль, Горин, 2016, 2020].

Как показали результаты этих исследований, воспроизводство и продуктивность популяций анадромных видов рыб на отдельных участках побережья Камчатки существенно отличаются. Это связано с физико-географическими особенностями отдельных речных систем; также это во многом зависит от условий среды обитания рыб в эстуарный и прибрежный период их жизни (прежде всего от гидролого-морфологических условий в устьевых областях рек и в прибрежной зоне моря) [Koval, Gorin, 2019 ; Коваль, Горин, 2020].

Эффективность хозяйственного освоения ресурсов анадромных рыб в Камчатском крае также во многом зависит от гидролого-морфологических условий на отдельных участках побережья и в устьях рек. Эти условия определяют расположение береговой инфраструктуры рыбохозяй-

ственного комплекса и особенности судходства в прибрежных районах. Эти же условия определяют расположение рыболовных участков, конструктивные особенности орудий лова, методы рыболовства и, как следствие, промысловую нагрузку на отдельные стада и популяции промысловых видов анадромных рыб. Зачастую это становится также причиной правовых проблем организации рыбного промысла. Например, при определении положения устьев некоторых нерестовых рек, которые, согласно действующим Правилам рыболовства, являются отправной точкой при установке границ речных и морских рыболовных участков [Горин, Коваль, 2018].

В свою очередь, рыболовная нагрузка также может быть одной из ключевых причин, определяющих биологическую структуру и общее состояние ресурсов анадромных рыб в районах их воспроизводства. В частности, на примере нерки *Oncorhynchus nerka* бассейна р. Камчатка (одного из важнейших водных биологических ресурсов Камчатского края) было показано, что первостепенным внешним фактором, который мог оказать воздействие на современное состояние ресурсов и популяционную структуру этого стада, являлся режим его промышленной эксплуатации в последние годы, а именно общее увеличение нагрузки на его нерестовую часть во время прибрежного промысла ставными неводами в Камчатском заливе. Это повлекло систематический недостаточный пропуск производителей на нерестилища в бассейн данной реки, а также привело по факту к нарушению соотношения отдельных субпопуляционных группировок в общем составе стада. В результате произошло нарушение динамики нерестового хода нерки в устье р. Камчатка. Это, в свою очередь, непосредственно повлияло на организацию, регулирование и эффективность лососевого промысла в Усть-Камчатском районе в последние годы [Коваль и др., 2020].

Влияние азотного голодания на жирнокислотный состав штаммов рода *Vischeria*

Кривова З. В.^{1,2}, Мальцев Е. И.¹, Куликовский М. С.¹

¹Институт физиологии растений имени К. А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

²Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

kosiapeya@mail.ru

В последнее время представителям класса Eustigmatophyceae посвящается всё больше исследовательских работ [Fawley et al., 2019 ; Amaral et al., 2020 ; Matos et al., 2020]. Причина повышенного интереса заключается в том, что многие эустигматофитовые водоросли показали себя биотехнологически перспективными объектами с точки зрения получения биомассы, производства липидов, пигментов и других соединений [Durmaz, Bandarra, 2017; Kryvenda et al., 2018 ; Remias et al., 2020]. Водоросли являются альтернативой сельскохозяйственным растениям для производства биодизеля благодаря наличию насыщенных жирных кислот в биомассе. Также они используются в медицине, косметологии и для производства БАДов, прикормов для сельскохозяйственных животных и аквакультур из-за способности накапливать полиненасыщенные жирные кислоты. Существует несколько факторов, влияющих на скорость накопления липидов: освещённость и температура культивирования, pH и состав питательной среды (в первую очередь концентрации макроэлементов). Азот является одним из основных макроэлементов для роста микроводорослей благодаря своему участию в синтезе белка. В условиях дефицита азота клетки микроводорослей повторно мобилизуют доступный углерод для запасания энергии в виде липидов и/или углеводов [Chen et al., 2011 ; Morales-Sánchez et al., 2020]. Азотное голодание — одна из наиболее эффективных стратегий повышения уровня липидов и изменения состава жирных кислот. При этом культивирование в безазотных условиях может сопровождаться ингибированием роста микроводорослей, поэтому данная стратегия применима к высокопродуктивным штаммам. В связи с этим исследования и поиск штаммов микроводорослей, которые богаты липидами и имеют высокие темпы роста, актуальны.

Материалом для данного исследования послужили штаммы эустигматофитовых водорослей, выделенные из почвенных проб, которые были отобраны в хвойных насаждениях. Изоляция отдельных клеток микроводорослей проводилась с помощью микропипетки под световым инвертированным микроскопом Zeiss AxioScope A1 (Германия) с очищением каждой клетки в нескольких каплях дистиллированной воды. Альгологически чистые монокультуры водорослей культивировались в жидкой среде BBM [Bischoff, Bold, 1963] с тройной концентрацией азота и BBM без добавления азота в колбах Эрленмейера (250 мл) при +25 °C и постоянном освещении 100 мкмоль фотонов·м⁻²·с⁻¹. Таксономическое положение штаммов определялось с помощью анализа морфологии с использованием микроскопа Zeiss AxioScope A1 (Германия), оснащённого иммерсионным объективом (DIC), а также методами молекулярно-филогенетических исследований. Выделение ДНК из эустигматофитовых водорослей производилось набором InstaGene Matrix (Bio-Rad, США) в соответствии с протоколом производителей. Последовательности, кодирующие баркодинговый регион V4 гена 18S рРНК (390–410 н.), были амплифицированы с использованием праймеров D512 и D978 [Zimmermann et al., 2015]. Штаммы были проанализированы после достижения стационарной фазы роста. Для получения жирнокислотных профилей использовался метод экстрагирования метиловых эфиров жирных кислот (МЭЖК) с помощью гексана. Состав МЭЖК

определяли с использованием ГХ-МС (газовая хроматография / масс-спектрометрия) на приборе Agilent 7890A GC (Agilent Technologies, Inc., США) с 60-м капиллярной колонкой DB-23 с внутренним диаметром 0,25 мм.

Было исследовано два штамма эустигматофитовых водорослей — MZ–E3 и MZ–E4. Согласно морфологическому анализу и молекулярно-генетическим данным, оба проанализированных штамма принадлежат к виду *Vischeria vischeri*. Данные жирнокислотных профилей показали, что качественные составы штаммов схожи, однако штамм MZ–E3 имеет большее разнообразие полиненасыщенных жирных кислот, чем штамм MZ–E4. Специфическими жирными кислотами были стеаридоновая (SDA, cis- Δ 6,9,12,15-18:3n-3, омега-3) и эйкозадиеновая (EDA, cis- Δ 11,14-20:2n-6, омега-6). Мажорными для исследованных штаммов оказались насыщенная пальмитиновая кислота (16:0), мононенасыщенная пальмитолеиновая (cis- Δ 9-16:1n-7) и полиненасыщенная эйкозапентаеновая (EPA, cis- Δ 5,8,11,14,17-20:5n-3, омега-3). Также отмечено, что при депривации азота качественный состав жирных кислот у каждого штамма остаётся практически постоянным, однако изменяются концентрации мажорных жирных кислот. При росте культуры на среде без азота увеличиваются концентрации пальмитиновой и пальмитолеиновой кислот, но уменьшается доля эйкозапентаеновой жирной кислоты. Также при депривации азота сильно увеличивается процент олеиновой кислоты (cis- Δ 9-18:1n-9, омега-9) — с 2,5 % до 22,9 % у штамма MZ–E3 и с 5,35 % до 18,1 % у MZ–E4. При культивировании на среде BBM с тройной концентрацией азота для обоих штаммов характерно накопление невысоких концентраций длинноцепочечных насыщенных жирных кислот. Отличительной чертой штамма MZ–E3 является наличие бегеновой кислоты (22:0) в общем спектре. Штамм MZ–E4 характеризуется небольшим процентом церотиновой (26:0) кислоты. Однако при депривации азотом эти кислоты не отмечаются. Полученные результаты подтверждают, что азотное голодание влияет на качественный и количественный состав жирных кислот исследованных штаммов *Vischeria vischeri*, а дальнейшие исследования позволят раскрыть их биотехнологический потенциал.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 20-74-10076).

Опасные болезни культивируемых черноморских рыб, вызываемые жгутиконосцами

Мальцев В. Н.

Отдел «Керченский» Азово-Черноморского филиала ФГБНУ «ВНИРО», Керчь, Россия

maltsev66@mail.ru

Перспективными объектами морской аквакультуры в Чёрном море являются кефалевые (Mugilidae) и камбалообразные (Pleuronectiformes) рыбы, которые могут выращиваться в нагульных (лагунных), прудовых, бассейновых и садковых морских хозяйствах [Шекк, Куликова, 2005 и др.]. Отечественные биотехнологии искусственного воспроизводства этих рыб позволяют планировать строительство в Крыму двух питомников мощностью до 14 млн шт. жизнестойкой молоди морских рыб (пиленгаса *Liza haematocheilus*, камбалы калкан *Scophthalmus taеoticus*, глоссы *Platichthys flesus* и др.) в год; прогнозируемые объёмы товарной продукции морских рыбоводных хозяйств Крыма могут достигать 1,5–2,0 тыс. тонн в год. В этой связи одной из важных практических задач является обеспечение эпизоотического контроля и благополучия морского рыбоводства в Черноморском регионе, для которых в России ветеринарное законодательство пока не разработано. Научные исследования в этом направлении выполнялись нами по заказу Росрыболовства; государственное задание № 076-00005-20 ПР.

Жгутиконосцы являются одной из практически значимых групп паразитов как пресноводных, так и морских рыб [Lom, Dyková, 1992 ; Bruno, Alderman, Schlotfeldt, 1999 ; Noga, 2010 и др.]. В регионах с высоким уровнем развития рыбоводства (лососеводства) болезни, вызываемые паразитическим жгутиконосцами, представляют значительную эпизоотическую угрозу, поэтому интенсивно исследуются и подлежат постоянному ихтиопатологическому контролю. У кефалевых и камбалообразных рыб в разных регионах мира известны различные паразитарные болезни, вызываемые жгутиконосцами [Paperna, Overstreet, 1981 ; Noga, Smith, Ottesen, 2010 ; Diseases of mariculture finfish..., 2013]. В Азовском и Чёрном морях перечень зарегистрированных паразитических жгутиконосцев сравнительно мал, что может быть обусловлено как общим низким фаунистическим разнообразием этих морей, так недостаточным исследованием этой группы паразитов в данном регионе.

Проанализированные нами литературные и собственные данные показали, что наибольшее практическое значение при разведении черноморских рыб имеют эктопаразитические жгутиконосцы рода *Ichthyobodo* (= *Costia*) — возбудители ихтиободоза (костиоза), динофлагелляты *Amyloodinium ocellatum* — возбудители амилодиниоза, а также экто- и эндопаразитические жгутиконосцы родов *Cryptobia* и *Trypanoplasma* — возбудители криптобиозов.

Костиозом болеют многие пресноводные и морские рыбы, в том числе кефалевые и камбалообразные; молодь в питомниках более восприимчива к этой инвазии; иногда поражается икра рыб. Болезнь регистрировали при разведении кефалей в Чёрном море [Корягина, 1990]. На жабрах молоди и взрослых пиленгасов *Ichthyobodo necator* неоднократно обнаруживался в Азовском море и в Керченском проливе [Сарабеев, 2000 ; Maltsev, 2006]. У камбалообразных *I. necator* многократно, в том числе с высокой интенсивностью, регистрировался нами на жабрах камбалы глоссы и азовского калкана в Азовском море и в Керченском проливе [Maltsev, 2007 ; Maltsev, 2008]. Этот паразит упоминался как патогенный вид при разведении камбалы калкан у турецкого черноморского побережья [Rapid diagnosis for kalkan..., 2011]. Клинические и патолого-анатомические

признаки кистиоза морских и пресноводных рыб примерно одинаковы. Показатели смертности бывают высокими у молоди культивируемых рыб (до 40–73 %); взрослые обычно не болеют; по-видимому, они приобретают иммунитет и являются резервуарами (носителями) этой инвазии.

Амилоодиниоз (вельветовая болезнь) не является специфичным для той или иной группы рыб; к нему восприимчив широкий спектр солоноватоводных, обитающих в тропических и субтропических морях рыб, в том числе кефалевые и камбалообразные. Амилоодиниозом болеют как дикие, так и культивируемые рыбы. В Средиземном и Эгейском морях наибольшие ущербы амилоодиниоз наносит морским хозяйствам, выращивающим лаврака (*Dicentrarchus labrax*), дорадо (золотистый спар) (*Sparus aurata*), сериолу (*Seriola dumerili*), зубарика (*Puntazzo puntazzo*), зубана (*Dentex dentex*) [Noga, Levy, 2006]. Сильные патологии жаберного эпителия, вызванные *Amyloodinium ocellatum*, обнаруживались у лобана при его прудовом выращивании в Корее [Park, Yu, Lee, 2006], а также у кефали на Филиппинах [Baticados, Quinitio, 1984]. У камбалообразных рыб этот паразит вызывал значительные повреждения эпителия жабр, приводящие к массовой гибели маточных стад паралихта (*Paralichthys dentatus*) [Schwarz, Smith, 1998 ; Hughes, Smith, 2003]. Болезнь может развиваться очень быстро; например, гибель может наступить в течение 12 часов после заражения. Высокая инвазированность амилоодиниумами культивируемых рыб (до 200 тропонтов на жаберной дуге) приводит к высокой их смертности (до 100 %). Летом 2019 г. впервые в Чёрном море нами зарегистрирована вспышка этого заболевания на НИБ «Заветное» (Крым) среди рыб маточного стада пиленгаса и подращиваемой молоди черноморского калкана; высокая заражённость жабр рыб амилоодиниумами ассоциировалась с её массовой гибелью.

Криптобиозы более изучены у лососевых рыб, а также известны у кефалевых и камбалообразных. Так, *Cryptobia branchialis* регистрировалась на жабрах у лобана (*Mugil cephalus*), сингиля (*Liza aurata*), остроноса (*Liza saliens*) и пиленгаса в черноморских лиманах Одесской области [Мошу, Воля, 2008]; на жабрах сингиля и пиленгаса в районе Керченского пролива изредка обнаруживались *Cryptobia* sp. [Мальцев В. Н., неопубликованные данные]. *Cryptobia (Trypanoplasma) bullocki* является кровяным паразитом летней камбалы (паралихта), вызывая у производителей анемию; может инфицировать кишечник камбал, иногда приводя к его выпадению. *C. branchialis* — патоген лаврака и дорадо при их разведении в Средиземном море. Кровяные криптобиозы часто протекают хронически; сильнее болеет подращиваемая молодь. Суточные показатели смертности рыб обычно невысокие (около 0,5 %), однако из-за того, что болезнь протекает длительное время, кумулятивные показатели смертности могут быть значительными. При остром течении кровяного криптобиоза, вызываемого *Cryptobia salmositica*, смертность рыб может достигать 100 %.

Паразитологическая ситуация в районах выращивания устриц в Чёрном море

Мальцев В. Н.

Отдел «Керченский» Азово-Черноморского филиала ФГБНУ «ВНИРО», Керчь, Россия

maltsev66@mail.ru

С 2010-х гг. в Чёрном море активно развивается промышленное выращивание тихоокеанских (гигантских, японских) устриц *Crassostrea (Magallana) gigas*, молодь которых (диплоиды или триплоиды) завозится либо из устричных питомников Европы (Франции, Испании, Ирландии и др.), либо из диких популяций Дальнего Востока (Сахалин, залив Посьета). Основными районами выращивания устриц в Чёрном море являются побережье Кавказа (от г. Анапы до г. Сочи), Южный берег Крыма (пос. Ласпи, пос. Кацивели), а также запад Крыма (озеро Донузлав; прилежащая к нему черноморская акватория). В указанных районах функционирует до 20 устричных (мидийно-устричных) хозяйств (ферм), которые, согласно официальным статистическим данным, выращивают более 1–2 тыс. тонн товарных устриц в год. В некоторых хозяйствах регистрируются случаи повышенной (сверхнормативной) смертности молоди и товарных устриц [Мальцев, 2019, 2020]. Это, а также научные данные о восприимчивости устриц к инвазионным болезням [Bower, 2010] стали основанием для оценки паразитологической ситуации в районах выращивания тихоокеанских устриц в Чёрном море. Работы выполнялись по заказу Росрыболовства; государственное задание № 076-00005-20 ПР.

В течение 2019–2020 гг. обследовано 7 морских ферм Кавказа (районы г. Анапы, пос. Джубга, пос. Дивноморское) и Крыма (оз. Донузлав, пос. Новоозерное, пос. Ласпи). В 2019 г. выполнен массовый осмотр устриц в садках; произведён прямой учёт соотношения живых, мёртвых и умирающих моллюсков количественным (экз.) и объёмным методами (доля, в %); клинически исследовано более 5000 экз. устриц. В каждом хозяйстве ежегодно в мае — июне, а также в августе для лабораторных исследований отбирали от 10 до 15 экз. моллюсков. В течение 2 лет морфофизиологически и паразитологически изучено около 200 экз. устриц в возрасте от сеголетководовиков (высота створок 18–42 мм) до двух- и трёхгодовиков (высота створок 57–116 мм). Микроскопические исследования моллюсков выполняли в отражённом и проходящем свете на увеличениях от 40× до 1000× с применением микроскопа Микмед-6, укомплектованного цифровой камерой TourCam (5 Мп), окуляр-микрометром, программой обработки микроскопических изображений TourView 3.7, а также с помощью бинокля ST-6BT или МСП-2. Применяли методы неполных паразитологических вскрытий моллюсков, рекомендованные в нормативных и научных руководствах [МУК 3.2.988-00 ; Шкорбатов, Старобогатов, 1990]. Отмечали патологии в строении створок, жабр, мантии и других органов, в том числе характерные для инвазионных болезней устриц. Обнаруженных паразитов исследовали морфологически прижизненно, также документировали их строение с помощью микрофотографирования. Прижизненный диагностический контроль вёлся в отношении тех паразитарных заболеваний, которые известны у устриц (сем. Ostreidae) в Чёрном море [Лебедовская, Белофастова, 2008 ; Гаевская, Лебедовская, 2010 и др.], а именно клоноза (возбудитель — губка *Cliona* (= *Pione*) *vastifica*), микроспоридиоза (микроспоридия *Steinhausia mytilovum*), нематодпсидоза (грегарины *Nematopsis legeri*), гексамитоза (жгутиконосцы *Hexamita nelsoni*), болезней, вызываемых инфузориями (*Ancistrum mytili*, *Peniculistoma mytili* и др.), личиночных трематодозов (трематоды *Proctoeces maculatus*, *Parvatrema duboisi* и др.), полидород-

за (полихеты *Polydora ciliata* и *Polydora websteri*). Диагноз на перкинсоз (возбудитель — *Perkinsus marinus*), гаплоспоридиоз (*Haplosporidium* (= *Minchinia*) *nelsoni*), микроцитоз (*Mikrocytos mackini*), которые считаются опасными протозойными болезнями устриц, но в Чёрном море пока не регистрировались, ставили на основании оценки патологоанатомических признаков моллюсков, а также по результатам микроскопических исследований окрашенных гематоксилин-эозином или азур-эозином по Романовскому отпечатков и мазков жабр, пищеварительной железы и гемолимфы.

В мае 2019 г. в одном из хозяйств на оз. Донузлав нами обнаружена смертность до 32,6 % предтоварных триплоидных устриц; кумулятивная (многомесячная) смертность в этом хозяйстве достигала 40–50 %. В августе 2019 г. в районе г. Анапы смертность товарных триплоидных устриц составляла 34,2 %, и, по свидетельствам фермеров, за полугодие она достигала 50–60 % их численности в садках. Установленные нами показатели смертности устриц намного превышали рекомендованные научные показатели (биотехнологические нормативы) [Инструкция по культивированию черноморской..., 2007]. Получены оригинальные данные о распространении в морских хозяйствах Крыма и Кавказа возбудителей таких паразитарных болезней устриц, как клиноз, скутикоцилиатоз, гексамитоз и полидороз. Клиноз зарегистрирован только на Кавказе у молодежи и взрослых устриц; экстенсивность инвазии была невысокой (до 10 %). Скутикоцилиатоз, вызываемый инфузориями отряда Scuticociliatida, обнаружен во всех обследованных районах выращивания устриц, а именно на Кавказе, на Южном берегу и на западе Крыма. Экстенсивность инвазии моллюсков этими инфузориями чаще составляла 10–20 %, но иногда достигала 30–50 %; интенсивность инвазии — от единичных экз. до гиперинвазии; поражены были как молодёжь, так и взрослые устрицы. Возбудители гексамитоза выявлены нами во всех обследованных районах у молодежи и взрослых устриц чаще с экстенсивностью инвазии 10–20 %. В некоторых хозяйствах, в том числе на Южном берегу Крыма, обнаружена заражённость 70 % исследованных устриц с интенсивностью до 10 экз. гексамит в поле зрения микроскопа на 400х; инвазированными были кишечник, пищеварительная железа и жабры моллюсков. Полидороз представлял наибольшую угрозу для разведения устриц в Чёрном море, поражая значительную долю культивируемых моллюсков в большинстве хозяйств Кавказа и Крыма, приводя к ухудшению их товарного вида и, по-видимому, способствуя их повышенной смертности. Кавказские хозяйства были поражены полидорозом сильнее, чем крымские. Экстенсивность инвазии полидорами обычно составляла 20–50 %, но в некоторых хозяйствах достигала 100 %. Интенсивность поражения раковин моллюсков блистерами полидор в среднем составляла 1–4 экз., но иногда достигала 8 блистеров у одного моллюска; в таком случае моллюски выглядели умирающими, имели высокую бактериальную обсеменённость тканей. Во всех исследованных пробах (районах) нами не обнаружены возбудители и клинические признаки нематодоза, личиночных трематодозов, микроспоридиоза, перкинсоза, микроцитоза, гаплоспоридиоза, что может свидетельствовать о возможном благополучии изученных хозяйств в отношении этих заболеваний. Устрицы в исследуемых хозяйствах и районах выращивания полностью соответствовали нормативным требованиям по паразитарным показателям безопасности [ТР ЕАЭС 040/2016]; в их теле не выявлены паразиты, опасные для человека. В то же время заболеваемость устриц полидорозом приводила к массовому ухудшению их товарного вида, что могло становиться основанием для недопущения в реализацию такой продукции [МУК 3.2.988-00 ; СанПин 2.3.4.050-96].

Скрининг биологически активных метаболитов, синтезируемых представителями рода *Parietochloris* (Trebouxiophyceae)

Мальцев Е. И.¹, Кривова З. В.¹, Новаковская И. В.², Мальцева С. Ю.¹, Егорова И. Н.³,
Куликовский М. С.¹

¹Институт физиологии растений имени К. А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

²Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия

³Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск, Россия

maltsev.ye@yandex.ru

Представители рода зелёных водорослей *Parietochloris*, с одной стороны, характеризуются сложной морфологией, что затрудняет их видовую идентификацию [Watanabe, Floyd, 1989 ; Watanabe et al., 1996 ; Mikhailyuk et al., 2003 ; Maltsev et al., 2018], а с другой — представляют собой растительный источник ценных метаболитов [Bigogno et al., 2002 ; Tababa et al., 2012 ; Zorin et al., 2017]. В первую очередь среди видов *Parietochloris* отмечены ценные штаммы — продуценты полиненасыщенных жирных кислот. Спрос на полиненасыщенные жирные кислоты, особенно с длинной цепью, остаётся постоянно высоким, что связано с их важностью для здоровья людей и множеством нейтрализующих и фармацевтических действий [Horrocks, Yeo, 1999]. Арахидоновая, докозагексаеновая, эйкозапентаеновая и γ-линоленовая кислоты являются важными структурными компонентами липидов клеточных мембран, предшественниками эйкозаноидов, в т. ч. биологически активных простагландинов и лейкотриенов [Qi et al., 2001]. Помимо этого, арахидоновая и эйкозапентаеновая жирные кислоты входят в состав мембранных фосфолипидов и являются предшественниками синтеза простагландинов (прекурсоров тканевых гормонов). В ряде работ показано, что *Parietochloris incisa* (= *Myrmecia incisa* и *Lobosphaera incisa*) — один из лучших продуцентов арахидоновой кислоты среди водорослей [Merzlyak et al., 2007; Solovchenko et al., 2008, 2009]. Также к перспективным продуцентам арахидоновой кислоты можно отнести штаммы *Parietochloris* sp. CCALA 1082 и CCALA 1084, для которых отмечена способность накапливать ее в диапазоне 29,5–34,2 % от общего количества жирных кислот [Řezanka et al., 2017]. Как установлено, кроме использования в качестве источника длинноцепочечных жирных кислот, возможно применение биомассы некоторых штаммов *Parietochloris* как сырья для производства биодизеля. Например, изучение состава жирных кислот *Parietochloris grandis* показало, что штамм MZ–Ch5 является потенциальным производителем олеиновой и незаменимой линолевой кислот [Maltsev et al., 2018]. С учётом биотехнологической ценности штаммов *Parietochloris* исследования, относящиеся к поиску диких штаммов водорослей, способных синтезировать ценные группы жирных кислот в больших количествах, а также комплексные физиологические и биохимические исследования их биомассы имеют высокую научную значимость и актуальны в сферах потребления человеком и использования в сельском хозяйстве и промышленности.

В скрининг биологически активных метаболитов, синтезируемых представителями рода *Parietochloris*, было включено 7 почвенных штаммов. Таксономическое положение штаммов микроводорослей определяли описанием морфологических признаков и филогенетическим анализом на основе ядерного гена 18S рДНК, участка ITS1–5.8S рДНК–ITS2 и хлоропластного гена *rbcL*. Среди исследованных штаммов были два, принадлежащих к *Parietochloris grandis* (MZ–Ch5 и SYKOA Ch-079-16), а также *Parietochloris* sp. SYKOA Ch-041-09, *Parietochloris* sp. SYKOA Ch-042-09, *Parietochloris* sp. IRKA89, *Parietochloris* sp. IRKA90 и *Lobosphaera* sp. IRKA140. Куль-

туры выращивали на питательной среде BBM [Bischoff, Bold, 1963]. Исследуемые штаммы культивировали в колбах объёмом 250 мл с 150 мл среды и 10 мл инокулята с известной концентрацией клеток. Микроводоросли выращивали с помощью орбитальных шейкеров с постоянным перемешиванием при 150 об·мин⁻¹ в течение 15 дней. Интенсивность роста отслеживали по изменению концентрации клеток. Определение физиологических и биохимических параметров осуществляли на стационарной фазе роста культур.

Анализ жирнокислотного состава исследованных штаммов зелёных водорослей во время стационарной фазы роста показал, что в составе суммарных липидов общими доминантными жирными кислотами были пальмитиновая 16:0, олеиновая 18:1n-9 и линолевая 18:2n-6. Сухая биомасса представителей *Parietochloris* включала 0,3–15,3 % пальмитиновой кислоты от общего количества жирных кислот с максимальным значением у штамма *Lobosphaera* sp. IRKA140. Содержание олеиновой кислоты у разных штаммов было в диапазоне 1,1—5,5 %, а наибольшая её концентрация отмечена у штамма *Parietochloris grandis* MZ–Ch5. Количество омега-6 линолевой кислоты находилось в пределах 6,3–27,9 % с максимумом у штамма *Parietochloris grandis* MZ–Ch5. Специфической чертой штамма *Lobosphaera* sp. IRKA140 была высокая концентрация в биомассе насыщенной стеариновой 18:0 и омега-6 ненасыщенной арахидоной 20:4n-6 кислот — 36,8 и 16,1 % соответственно. Штаммы *Parietochloris* sp. IRKA89 и *Parietochloris* sp. IRKA90 характеризовались значительной долей в общем спектре жирных кислот омега-3 α -линоленовой 18:3n-3 кислоты — 25,1 и 22,3 % соответственно. Список доминантных жирных кислот имел особый вид у штамма *Parietochloris* sp. SYKOA Ch-041-09: в нём в больших концентрациях присутствовали омега-6 гексадекадиеновая 16:2n-6 кислота (24,5 %), которой у других штаммов было менее 2,5 %, эруковая 22:1n-9 кислота (22,6 %) (менее 1 % у других штаммов) и пальмитвакценовая 16:1n-5 кислота (20,7 %) (не более 2,2 % у остальных штаммов). Возможно, данные особенности могут быть использованы в качестве хемотаксономического маркера внутри рода *Parietochloris*. Отличительной чертой штамма *Parietochloris* sp. SYKOA Ch-042-09 являлась большая доля пальмитолеиновой 16:1n-7 жирной кислоты — 24,7 %. Среди преобладающих в сухой биомассе жирных кислот одной из наиболее ценных является омега-3 полиненасыщенная эйкозапентаеновая 20:5n-3 кислота; её содержание у штаммов *Parietochloris* было в диапазоне 1,2–14,5 % с максимальным значением у штамма *Parietochloris* sp. SYKOA Ch-042-09. Среди длинноцепочечных насыщенных жирных кислот отмечены небольшие концентрации арахидиновой 20:0 и бегеновой 22:0 кислот.

Содержание омега-3 и омега-6 в общей сумме жирных кислот было в пределах 2,3–40,1 % и 9,9–40,9 % соответственно. При этом максимальное количество омега-3 жирных кислот отмечено в биомассе штамма *Parietochloris* cf. *grandis* SYKOA Ch-079-16, а омега-6 — *Parietochloris* sp. SYKOA Ch-041-09. Для обеспечения нормальной жизнедеятельности человека считается наиболее сбалансированным соотношение 1:4 омега-3 и омега-6 полиненасыщенных жирных кислот в продуктах [Simopoulos, 2002]. Именно поэтому при скрининге потенциальных биотехнологических объектов необходимо делать акцент на уменьшении концентрации омега-6 кислот с одновременным увеличением омега-3. Лишь у 4 исследованных штаммов в спектре жирных кислот преобладали именно омега-3 над омега-6. Максимальное превышение 3:1 в соотношении омега-3 и омега-6 кислот отмечено в биомассе штамма *Parietochloris* sp. IRKA89, немного меньшие соотношения — 2,9:1 и 2,1:1 — установлены для штаммов *Parietochloris* cf. *grandis* SYKOA Ch-079-16 и *Parietochloris* sp. IRKA90. Детально проанализировав состав жирных кислот представителей *Parietochloris*, можно сделать вывод: большинство исследуемых штаммов являются перспективными источниками омега-3 полиненасыщенных жирных кислот для биотехнологического использования и могут найти применение при создании подкормок в животноводстве или аквакультуре.

Исследование выполнено за счёт гранта РНФ (проект № 20-74-10076).

Применение метода микрохимического анализа отолитов для решения задач рыбохозяйственной науки

Михеев П. Б.^{1,2}, Коцюк Д. В.¹, Подорожнюк Е. В.¹, Кошелев В. Н.¹, Шеина Т. А.², Пузик А. Ю.²

¹Хабаровский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ХабаровскНИРО»), Хабаровск, Россия

²Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

pmikheev@yandex.ru

Метод микрохимического анализа кальцинированных структур рыб является одним из современных подходов для решения прикладных и фундаментальных научных задач. Основа метода — измерение элементного состава от центра к периферии кальцинированной структуры либо точечная оценка концентрации химических элементов и их изотопов в определённых участках исследуемого образца, что позволяет проводить онтогенетические реконструкции условий среды обитания рыб. Для анализа наиболее часто используются отолиты, различные элементы скелета или чешуя рыб. Точность анализа определяется неизменностью химического состава слоёв анализируемой структуры, который, как правило, пропорционален таковому окружающей водной среде, в которой рыба обитает, формируя временную «подпись» места обитания особи. Помимо химического состава воды, на химический состав тканей рыб влияют ход физиологических процессов, температура среды обитания, состав кормовой базы.

Метод позволяет установить происхождение особей из определённого района и даёт возможность проводить онтогенетические реконструкции условий их обитания, что используется не только для детерминации локальных стад и анализа миграций, но и в других направлениях. Например, метод применяется для идентификации районов, наиболее значимых для определённых стадий жизненного цикла рыб — раннего развития, нереста, зимовки и нагула, дифференциации рыб естественного происхождения от особей, выращенных в условиях аквакультуры, экотоксикологических исследований, идентификации источников загрязнения водной среды, анализа путей миграции и районов воспроизводства инвазивных видов, анализа роста, идентификации возраста рыб, палеоклиматических реконструкций.

Нами была проведена работа по анализу возможности применения микрохимического анализа отолитов для выявления химических маркеров, специфичных для молоди осенней кеты, выпускаемой с рыбоводных предприятий Приамурья, с последующей их идентификацией у производителей. Осенняя раса кеты реки Амур является важнейшим объектом промысла и ключевым объектом искусственного воспроизводства по объёмам выпуска молоди в бассейне реки. В настоящее время (с 2010 по 2019 г.) с заводов Приамурья выпускается от 36 до 109 млн шт. молоди осенней кеты. Рабочей гипотезой исследования явилось отличие химического состава краевой зоны отолитов заводской молоди от таковой мальков естественного происхождения по величине концентрации изотопа стронция ⁸⁸Sr. Гипотеза основана на влиянии химического состава корма на химический состав отолитов рыб и на том, что в условиях аквакультуры молодь кеты подрашивается с применением кормов, протеиновая основа которых состоит из сырья морского происхождения, богатого стронцием, что позволяет использовать этот элемент как маркер для молоди рыбоводного происхождения.

Мы проанализировали пробы молоди и взрослых особей амурской осенней кеты, собранные на рыбоводных заводах, нерестовых притоках Амура и путях миграции вида в пределах основного русла реки Амур. Оtolиты молоди осенней кеты искусственного происхождения характе-

ризовались достоверно большими значениями соотношения $^{88}\text{Sr}/^{43}\text{Ca}$ по сравнению с молодью естественного происхождения. Среди проанализированных взрослых рыб с Анюйского рыбзавода большинство особей характеризовались величинами маркера выше принятого нами порогового значения, то есть они могут считаться особями искусственного происхождения. Среди взрослых особей осенней кеты, отловленных на 600-м км русла реки Амур в конце сентября, доля таких рыб была ниже: только треть из числа проанализированных характеризовалась величиной маркера выше принятого нами порогового значения. Таким образом, результаты исследования могут свидетельствовать о применимости использованного нами подхода для детерминации особей искусственного происхождения в смешанной выборке амурской осенней кеты. В качестве свидетельства применимости использованного метода для заявленной цели могут выступать следующие результаты: выявленное соотношение рыб искусственного и естественного происхождения среди рыб с Анюйского рыбзавода, доля «заводских» особей среди самок и самцов осенней кеты, собранной на Анюйском ЛРЗ, возрастной состав и фенологическое смещение времени нерестовой миграции особей, классифицированных в качестве рыб искусственного происхождения. Результаты, аналогичные нашим, были получены для кеты Аляски, Камчатки, Курильских островов и о-ва Хоккайдо.

Сбор молоди, а также взрослых особей амурской кеты будет продолжен для подтверждения применимости микрохимического анализа отолитов для идентификации особей искусственного и естественного происхождения в смешанной выборке амурской осенней кеты.

Видовой состав уловов при промысле минтая в Южно-Курильской зоне

Овсянников Е. Е., Золотов А. О., Овсянникова С. Л., Бадаев О. З.

Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), Владивосток, Россия

evgeniy.ovsyannikov@tinro-center.ru

Современные методы управления рыболовством предполагают две основные цели — сохранение ресурсов и их устойчивое использование, а также минимизацию воздействия промысла целевого вида на виды прилова и экосистему. Оценка влияния промысла целевого вида на виды прилова является одним из основных и обязательных пунктов при прохождении международных экологических сертификаций.

В настоящее время промысел минтая у южных Курильских островов осуществляется двумя основными способами: разноглубинными тралами и снюрреводами. По данным судовых суточных донесений (ССД) из отраслевой системы Росрыболовства (ОСМ) в 2010–2019 гг. в Южно-Курильской зоне при специализированном траловом промысле в среднем добывали 96,0 % от годового вылова минтая, 2,6 % осваивали снюрреводами и 1,4 % — прочими орудиями лова.

Круг видов, которые потенциально могут встречаться при снюрреводном промысле минтая, можно определить по данным научно-исследовательских донных траловых съёмок, проведённых в 2010–2019 гг. В этот период в уловах было отмечено 154 вида рыб из 34 семейств, однако 76 % общей биомассы донных рыб приходилось на 16 видов, которые, очевидно, и могут составлять основу прилова при промысле минтая. Это представители семейств тресковых (2 вида), рогатковых (5 видов) и камбаловых (7 видов), а также южный однопёрый терпуг и щитоносный скат.

По данным наблюдателей на снюрреводном промысле в 2015–2017 гг. в уловах встречались 17 видов рыб из 7 семейств. Минтай составлял от 71 до 84 % уловов. Основным видом прилова была треска — от 10 до 25 % веса уловов. В незначительных количествах встречались камбалы шести видов, вылов которых составлял 2–5 %. Доля наваги не превышала 1–3 %, а прочие рыбы, такие как скаты, голубой окунь, бычки, чавыча и гладкая рыба-лягушка, встречались в уловах редко, штучно или единожды за весь период наблюдений.

Последние данные по составу уловов при ведении снюрреводного промысла были собраны в феврале — апреле 2020 г. сотрудниками ТИНРО при осуществлении мониторинга промысла биоресурсов на острове Шикотан на станции «Океаническая». В уловах доминировал минтай, составляя 74 % от массы уловов. Навага находилась на втором месте по вылову — 12 %. Немного уступала ей треска, на которую приходилось 10 % уловов. Практически во всех уловах снюрреводов была отмечена северная двухлинейная камбала, хотя общий вылов её составлял всего 2,5 %. Уловы бычков были менее 1 %, а остальных видов — менее 0,1 % от массы уловов.

Траловый промысел минтая в Южно-Курильской зоне охватывает гораздо большую акваторию, чем снюрреводный. Помимо результатов научно-исследовательских пелагических траловых съёмок, по которым можно оценить видовое разнообразие и соотношение видов в Южно-Курильской зоне, были проанализированы материалы, полученные по результатам контрольного лова на крупнотоннажных судах в 1999–2001 гг. В их уловах было отмечено 43 вида рыб из 19 семейств и три вида кальмаров. Наиболее распространёнными видами прилова являлись тихоокеанская треска и малорот Стеллера, а из головоногих моллюсков — командорский кальмар.

В конце 1990-х и начале 2000-х гг. промысел минтая разноглубинными тралами вёлся преимущественно зимой на преднерестовых скоплениях в Кунаширском проливе. С ростом промыслового запаса в начале 2010-х гг. одной из основных акваторий промысла стали тихоокеанские воды Малой Курильской гряды, где в нагульный период добывается до 50 % от годового вылова минтая.

Видовой состав прилова при промысле минтая в районе Малой Курильской гряды в разные сезоны заметно различается, что связано с тем, что в зимне-весенний период район находится под влиянием стока холодных вод из Охотского моря и течения Ойясио, а в летне-осенний — течения Соя. Зимой в прилове традиционно доминировали представители семейств тресковых, камбаловых и рогатковых, а из прочих промысловых видов встречались зубастая корюшка, сельдь и лососи. В летне-осенний период видовой состав меняется. В основном это связано с образованием скоплений лемонемы, сезонным подходом командорского кальмара, миграциями лососей и их хищников — сельдевой акулы и большеголового кинжалозуба, а также рыб субтропического комплекса, например японского морского леща. Несмотря на эти изменения, более 97 % уловов по массе при промысле разноглубинными тралами во все сезоны здесь составлял минтай.

Таким образом, по разным данным, основными видами прилова при промысле минтая в Южно-Курильской зоне являются треска, камбалы и бычки. Промысел минтая как разноглубинными тралами, так и снюрреводами является специализированным, так как доля минтая в уловах этих орудий добычи составляет от 71 до 99 %, что значительно превышает величину, определённую Правилами рыболовства.

Тяжёлые металлы в раковинах и мягких тканях культивируемых мидий *Mytilus galloprovincialis*

Поспелова Н. В.¹, Приймак А. С.¹, Поспелов С. С.², Штрунц А. С.², Посторонюк К. М.²

¹ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

²Учащийся ГБОУ ДО Центр дополнительного образования «Малая академия наук», Севастополь, Россия

nvpospelova@mail.ru

Аквакультура мидий является важным источником органических ресурсов, а также способом биотического самоочищения морской среды от загрязняющих веществ. Морские фермы чаще всего устанавливаются в районах с наиболее высокой продуктивностью вод, которые в то же время являются зонами повышенного антропогенного воздействия. В прибрежной зоне мидийные хозяйства используются не только для воспроизводства сырьевых ресурсов, но и для поддержания приемлемого санитарного режима акваторий. Марихозяйства способны создавать значительные плотности живого вещества в ограниченной акватории. Фильтруя большие объёмы воды, мидии изымают из взвеси различные вещества, в том числе загрязнители, к которым относятся тяжёлые металлы.

Анализ содержания металлов в мягких тканях двусторчатых моллюсков довольно активно используется в биомониторинговых исследованиях. Данных по накоплению металлов в раковинах гораздо меньше, и ограниченное количество исследований одновременно касалось концентраций металлов в обеих тканях, особенно для моллюсков разных размерных групп.

В данной работе представлено распределение Fe, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Zn, Pb, Hg и As между мягкими тканями и раковинами разноразмерных мидий *Mytilus galloprovincialis*, культивируемых в прибрежье Севастополя. Пробы моллюсков отобраны с мидийно-устричной фермы, расположенной на внешнем рейде Севастопольской бухты в феврале, апреле и июне 2020 г. Периоды были выбраны в соответствии с физиологическим циклом моллюсков (февраль — период активного гаметогенеза; апрель — весенний нерестовый период; июнь — посленерестовый период покоя). Размеры раковины моллюсков варьировали от 16 до 90 мм. Определены масс-размерные характеристики мидий. Всего отобрано 120 проб моллюсков. Аналитическое определение концентраций металлов в пробах осуществляли в НОЦКП «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на масс-спектрометре PlasmaQuant MS Elite (Analytik Jena AG, Германия).

Для всех определённых элементов в мягких тканях и раковинах моллюсков наблюдались значительные различия (коэффициент вариации от 18 до 101 %). Концентрации металлов в мягких тканях уменьшались в последовательности: Zn~Cu ≫ As > Mn > Cd~Pb > Ni~Co > Hg, в раковинах — Co~Cu > Mn > Zn > As~Ni > Pb~Cd > Hg. Отмечено увеличение концентраций всех металлов, кроме Mn, в мягких тканях в июне. Концентрация марганца была максимальной в апреле. Средние концентрации меди в мягких тканях мидий превышали ПДК для пищевых продуктов в феврале в 1,7 раза в размерной группе 30–40 мм, в июне — в 3,6 и 4,3 раза в размерных группах 40–50 и 30–40 мм соответственно. Отмечено некоторое превышение ПДК (в 1,1–2,2 раза) по содержанию кадмия в мягких тканях мидий в феврале и июне для размерных групп 30–40 и 40–50 мм, а также значительное превышение ПДК (в 1,2–18 раз) по содержанию мышьяка во все периоды для всех размерных групп моллюсков. Известно, что морские организмы в большей степени аккумулируют мышьяк, чем пресноводные и наземные. Также из литературных источников

известно, что основную долю мышьяка в тканях гидробионтов составляют органические малотоксичные его формы, тогда как опасными для человека являются неорганические соединения мышьяка.

Распределение общего количества металлов в тканях и раковинах показало, что доля всех металлов, кроме кобальта, выше в мягких тканях. Содержание кобальта в мягких тканях составляло от 10 до 30 % от его суммарного содержания в моллюсках. Никель и медь в февраль и апреле равномерно распределялись между мягкими тканями и раковинами. Также было рассчитано содержание металлов на целый организм мидии. Показано, что в биоаккумуляции Hg, Co и Ni мидиями доминирующую роль играют раковины, где сосредоточено от 60 до 90 % металлов. Практически поровну между биомассой раковин и мягких тканей распределён Mn, тогда как преимущественно с мягкими тканями связаны Cu, Zn, Cd, Pb и As.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Севастополя в рамках научного проекта № 20-44-925001, а также в рамках темы НИР государственного задания ФИЦ ИнБЮМ (№ гос. регистрации 121030300149-0).

Современное состояние водных биологических ресурсов Средней Оби (в пределах Томской области)

Ростовцев А. А., Абрамов А. Л., Интересова Е. А.

Новосибирский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства
и океанографии («ЗапСибНИРО»), Новосибирск, Россия

interesovaea@yandex.ru

В настоящее время в водных объектах Томской области промыслом осваивают 14 видов рыб. Из них 9 — аборигенные туводные виды: обыкновенная щука *Esox lucius*, язь *Leuciscus idus*, елец *Leuciscus leuciscus*, плотва *Rutilus rutilus*, серебряный карась *Carassius gibelio*, золотой карась *Carassius carassius*, речной окунь *Perca fluviatilis*, налим *Lota lota* и стерлядь *Acipenser ruthenus*; 3 — аборигенные полупроходные виды: нельма *Stenodus leucichthys*, пелядь *Coregonus peled* и муксун *Coregonus muksun*; 2 — чужеродные виды рыб, акклиматизированные в XX в.: лещ *Abramis brama* и судак *Sander lucioperca*. В последние годы в небольшом количестве в уловах отмечают обыкновенного ерша *Gymnocephalus cernuus*, уклейку *Alburnus alburnus* и ротана *Perccottus glenii*. Потенциально промысловыми, но не входящими в промысловую статистику, являются ещё 3 вида рыб: сибирский осетр *Acipenser baerii* (с 1998 г. занесён в Красную книгу РФ; легальный промысел его прекращён), линь *Tinca tinca* и сазан *Cyprinus carpio* (малочисленны).

Основной объём вылова в водных объектах Томской области всегда обеспечивали аборигенные туводные виды рыб. Общая доля осетровых и сиговых видов редко превышала 10 %. В настоящее время объёмы добычи ценных видов рыб особенно малы: с 2017 г. в регионе введён запрет на промышленный вылов муксуна и нельмы, реализация ОДУ рекомендована только в целях аквакультуры и научно-исследовательского лова, в результате их суммарный вылов в 2018–2020 гг. составил в среднем лишь 0,32 т в год. Объём добычи пеляди в среднем за последние три года — 58,6 т, а стерляди — 5,9 т. С 1970-х гг. в уловах стало нарастать значение чужеродных видов — леща и судака, в настоящее время обеспечивающих около 20 % общего объёма добычи рыбы Томской области.

В целом в многолетнем аспекте объёмы добычи водных биологических ресурсов в Томской области имеют тенденцию к снижению. Так, в довоенные годы вылов рыбы колебался на уровне около 5 тыс. т в год, во время войны достигал 12,5 тыс. т, в послевоенный период и до 1961 г. составлял около 7 тыс. т. С середины 1960-х гг. объёмы добычи рыбы в Томской области начали постепенно снижаться, и в 1980-х гг. они составляли чуть более 3 тыс. т. Вылов во второй половине 1990-х гг., по официальным данным, упал до 1,7–2,0 тыс. т и продолжал снижаться до середины 2000-х гг. (в 2005 г., по данным рыбопромысловой статистики, было выловлено всего 380 т). С 2006 г. отмечается рост уловов, в последние три года составляющий в среднем 3,3 тыс. т.

На состояние запасов водных биологических ресурсов в бассейне Средней Оби существенное негативное влияние оказывают загрязнение, добыча нерудных строительных материалов в русле реки и ННН-промысел. Однако наиболее радикальное воздействие обусловлено низким уровнем весеннего половодья в результате зарегулирования стока р. Обь, поскольку высота подъёма уровня воды и продолжительность заливания поймы определяют условия размножения, нагула и в итоге — урожайность ежегодно появляющихся поколений аборигенных весенненерестующих фитфильных видов рыб (в первую очередь щуки, язя, плотвы), составляющих основу рыбных запасов региона. После зарегулирования в 1959 г. стока р. Обь в результате строительства Новосибир-

ской ГЭС расход воды в мае и июне, во время массового размножения рыб, уменьшился на 29 %, поскольку в данный период идёт аккумуляция притока воды в водохранилище. Вследствие этого благоприятными для формирования запасов весеннерестующих фитофильных видов рыб являются только годы с повышенной водностью весеннего паводка. В средние по водности годы площади нерестилищ и нагульных угодий сократились на 50 %. В маловодные годы пойма часто заливаётся на недостаточный для прохождения эмбрионального периода срок, в результате икра гибнет на обсохших нерестилищах. В отдельные годы отмечается столь низкий уровень весеннего половодья, что вода совсем не выходит на пойму. Продолжительность затопления поймы после зарегулирования Оби стала также претерпевать значительные межгодовые колебания.

Для минимизации последствий снижения водности и поддержания ресурсного потенциала рыболовства в регионе необходимо проведение мероприятий по рыбохозяйственной мелиорации поймы, призванной обеспечить необходимый уровень воды для раннего онтогенеза рыб в местах нереста и беспрепятственный скат молоди с нерестилищ. Первые работы в этом направлении были проведены во второй половине 1950-х гг. С начала 1970-х гг. работы по мелиорации поймы Средней Оби проводились Томскрыбпромом регулярно. В ходе исследований эффективности мероприятий по рыбохозяйственной мелиорации, выполненных сотрудниками СибрыбНИИпроекта, было показано, что в маловодные годы 1 га мелиорированной поймы может обеспечивать промысловый возврат в 0,22 т товарной рыбы. Для планирования мелиоративных работ было проведено масштабное обследование поймы р. Обь в пределах Томской области и подобрано 19 участков общей площадью 2450 га.

В настоящее время, когда рациональное природопользование признано одним из приоритетных направлений развития науки в Российской Федерации, необходимо поднять вопрос о целесообразности возобновления мероприятий по мелиорации поймы в бассейне Средней Оби. Рыбохозяйственная мелиорация пойменных систем на основе имеющегося опыта подобных работ, выполненная в соответствии с рекомендациями специалистов рыбного хозяйства, позволит снизить негативные последствия зарегулирования весеннего стока р. Обь в результате строительства Новосибирской ГЭС и создать условия для эффективного естественного воспроизводства весеннерестующих фитофильных видов рыб, обеспечивающих основные объёмы рыбородычи в регионе.

Применение комплексного рыбозащитного устройства электрического воздействия (КРУЭВ) для сохранения биологических ресурсов пресноводных и морских экосистем

Салиенко С. Н.^{1,2}, Михеев П. А.³

¹ФГБНУ «Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации», Энгельс, Россия

²ООО «ОСАННА», Энгельс, Россия

³Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Россия

osannass@mail.ru

В современных условиях хозяйствования вопросы сохранения биоресурсов, в том числе обеспечения безопасности и воспроизводства рыб путём оборудования водозаборов экономичными и эффективными рыбозащитными устройствами (РЗУ), являются крайне актуальными.

Существует большое многообразие классификаций принципов, способов, групп, конструкций сооружений и устройств по защите рыб от попадания в гидротехнические сооружения и (или) устройства забора воды [Харчев, 1940 ; Нусенбаум, 1967 ; Киселев-Цецхладзе, Муравенко, Санадзе, 1979 ; Павлов, Пахоруков, 1983 ; Малеванчик, Никоноров, 1984 ; Рипинский, 1991 ; Яковлев, 1997 ; Михеев, 2000 ; Иванов, 2005 ; Fish Protection Technologies and Downstream Fishways, 2005 ; Fish Protection at Water Diversions, 2006 ; Петрашкевич, 2007 ; Павлов, Скоробогатов, 2014 ; и мн. др.].

Комплексное рыбозащитное устройство электрического воздействия (КРУЭВ, разработчик ООО «Осанна») базируется на сочетании работы электрического поля, создаваемого системой электронной программируемой (СЭПРО КРУЭВ), с различными типами экранов:

- водонепроницаемый экран (горизонтальная, вертикальная, наклонная стенка, перекрытие), омываемый транзитным потоком, который должен быть сформирован вдоль всей поверхности экрана и обеспечивать непрерывное перемещение молоди рыб вдоль экрана;
- жалюзийный, двухконтурный экраны, омываемые транзитным потоком водного объекта, который должен быть сформирован вдоль всей поверхности экрана и обеспечивать непрерывное перемещение молоди рыб вдоль экрана;
- сетчатые, перфорированные, щелевые, фильтрующие экраны, жалюзийные, двухконтурный экраны с потокообразователем.

Работа СЭПРО КРУЭВ базируется на эффекте создания слабого анодного поля и сильного катодного поля с перемещением максимума катодного потенциала вдоль системы электродов. Форма импульсов прямоугольная. Всё пространство на внешней границе системы электродов перекрывается воздействием «бегущего» поля с выраженным сильным катодным потенциалом, то есть отпугивающим эффектом, ориентирующим рыб от водозабора и предотвращающим их попадание в водозаборное сооружение, и слабым анодным потенциалом, не оказывающим на рыб привлекающего действия.

Комплексные рыбозащитные устройства электрического воздействия (КРУЭВ) рекомендованы к применению СП 101.13330.2012 (с Изменением № 1), установлены и успешно эксплуатируются, обеспечивая фактическую эффективность защиты рыб ≥ 70 % на целом ряде водозаборов РФ различного назначения.

Ведение рыбохозяйственной деятельности в Дальневосточном бассейне на основе регионального спутникового мониторинга

**Самко Е. В., Новиков Ю. В., Никитин А. А., Муктепавел Л. С., Цыпышева И. Л.,
Капштер А. В.**

Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), Владивосток, Россия

evgeniy.samko@tinro-center.ru

В настоящее время в мировой практике океанологических исследований региональный спутниковый мониторинг занимает прочные позиции как инструмент не только наблюдений, но и исследований океана и атмосферы, и в особенности динамики природных процессов и объектов. Сегодня применение космических технологий становится основным практическим и научным методом исследования Земли и водной поверхности и является важным фактором при организации рыбохозяйственной деятельности. Широта охвата — характерная черта спутниковых методов исследования Земли, что позволяет получать результат за сравнительно короткий интервал времени; появление космических аппаратов, осуществляющих съёмку поверхности Земли на регулярной основе, даёт возможность как проведения оперативной съёмки, так и накопления обширных архивов данных дистанционного зондирования Земли из космоса.

В настоящее время в качестве фактической информации используются материалы съёмок усовершенствованных американских и российских спутников в различных диапазонах электромагнитного спектра. Как основная информация о гидрологических условиях в исследуемых районах нами используются ИК-изображения, которые дают наиболее подробное представление о распределении температуры поверхности океана и динамических образованиях в поверхностном слое океана. Применение для этих целей цифровых ИК и альтиметрических данных позволяет давать более обоснованные рекомендации по распределению промысловых объектов в рассматриваемой акватории. Для исследования ледяного покрова морей используются многоспектральные изображения. Постоянный мониторинг основных вихревых образований, течений и ледяного покрова дальневосточных морей позволяет вовремя обратить внимание и предсказать ожидаемые последствия от изменения гидрологической ситуации в рассматриваемых районах Дальневосточного бассейна.

Высокое пространственное разрешение используемой спутниковой информации позволяет оперативно на регулярной основе отслеживать и выявлять крупно- и мелкомасштабные изменения океанологических условий морей Дальневосточного бассейна. С учётом всё уменьшающегося количества экспедиционных исследований данные спутниковых наблюдений приобретают всё бóльшую актуальность и являются зачастую единственной информацией о среде обитания промысловых объектов. Именно поэтому мониторинг океанологических условий по данным космических наблюдений является необходимой основой для составления прогноза сырьевой базы Дальневосточного бассейна, где фоновые разработки — важный компонент прогноза функционирования экосистем, и путинных прогнозов.

Одним из приоритетных направлений нашей работы является исследование влияния условий среды на марикультуру и миграции nekтона, а также на формирование им промысловых скоплений, иными словами, оказание помощи рыбохозяйственной деятельности в Дальневосточном бассейне на основе регионального спутникового мониторинга.

Например, стабильность поселения ламинарии в прибрежье Японского моря зависит от состояния Приморского течения. Ослабление или усиление струй Приморского течения отражается на формировании жизненного цикла водоросли. Так, спутниковые карты показали, что в 2000 г. нагон тёплых вод к берегам северного Приморья в осенний период вызвал массовое разрушение не только маточных слоевищ, но и первогодних растений водоросли. И наоборот: в ряд лет, в частности в 2019 г., наблюдалось усиление струи Приморского течения, что отразилось на увеличении весовых и морфометрических параметров растений.

В путину 2019 г. районы промысла кальмара были в мористой зоне Японского моря. Основная причина слабых подходов кальмара на нагул в прибрежные районы Приморья связана с неблагоприятной динамикой поверхностных течений. Летом и осенью было интенсивным Приморское течение, а адвекция субтропических вод к прибрежью была слабой. Районы промысла кальмара были связаны с потоками субтропических вод, антициклоническими вихрями, грибовидными течениями в их вершинах, а также в зоне взаимодействия вихревых структур.

В Южно-Курильском районе, в зависимости от положения южнокурильского антициклона и типа океанологических условий, в начале 2000-х гг. были выделены повторяющиеся характерные группы лет, описаны их гидрологические особенности, для каждой группы представлены месячные схемы распределения промысла сайры и рассчитана его эффективность. Полученные результаты были использованы при составлении путинных и месячных промысловых прогнозов. Исследования, проведённые на промысловых судах в 2014–2016 гг., подтвердили правильность полученных закономерностей.

Распределение промысловых скоплений сардины и скумбрии хотя и имеет свои особенности, но в большей степени близко к распределению косяков сайры. Основные промысловые скопления сардины и скумбрии приурочены к фронтам северной и восточной границы южнокурильского антициклонического вихря, северному Субарктическому фронту и фронтам системы Ойясио. Значительное различие в положении промысловых участков и в ходе промысла наблюдаются в холодные и тёплые годы. Полученные закономерности распределения пелагических рыб используются нами при оперативном обеспечении промысла сайры, сардины и скумбрии в летне-осенний период в Южно-Курильском районе.

Говоря о спутниковом мониторинге, нельзя не упомянуть о мониторинге ледовых условий. Знание ледовой обстановки и тенденций её развития позволяет, наряду с повышением безопасности мореплавания, выделять районы и сроки, благоприятные для ведения промысла в зимнее время; определять условия нереста важных промысловых рыб; определять условия воспроизводства морского зверя.

Влияние слабых импульсных магнитных полей на выживаемость и цитофизиологическое состояние молоди муксуна *Coregonus muksun* (Pallas) в условиях интоксикации

Селюков А. Г., Селюкова С. А., Шуман Л. А., Мирзабаев Д. С.

Тюменский государственный университет, Институт биологии, Тюмень, Россия

ags-bios@yandex.ru

В условиях многофакторного загрязнения водоёмов Обь-Иртышского бассейна, приоритетными техногенными загрязнителями в которых являются нефтепродукты и тяжёлые металлы, снижается их биопродуктивность, ухудшаются места нагула и нереста рыб.

Для повышения численности ценных видов рыб в естественных водоёмах рядом рыбозаводов (Собский, ЯНАО; Югорский, ХМАО и др.) проводятся компенсационные мероприятия — выпуск в природную среду подрощенной молоди муксуна и чира для восстановления естественных популяций. Однако такие особи, достигшие половозрелости в загрязнённых водоёмах, отягощены различными патологиями, снижающими их репродуктивные возможности. Молодь в загрязнённой среде продолжает накапливать токсиканты, что проявится на более поздних этапах онтогенеза и в конечном итоге может привести к вырождению вида. Возможной альтернативой традиционным подходам могут быть мероприятия, повышающие неспецифическую резистентность подращиваемой молоди, позволяя адаптироваться к изменяющимся условиям среды.

Были проведены исследования по оценке влияния нефтепродуктов (фенол) и тяжелых металлов (сульфат кадмия) на зародышей (*I серия*) и молодь (*II серия*) муксуна, полученных от производителей обского стада в ноябре 2020 г. Повышение токсикорезистентности подопытных особей в экстремальных условиях среды инициировали слабыми импульсными магнитными полями (далее — СИМП), генерируемыми аппаратным комплексом «Т-102П» [Солодилов, 2000].

I серия. Обработанных СИМП зародышей (опытная партия) и необработанных эмбрионов (контроль) муксуна разместили в чашках Петри по 20 особей в трёхкратной повторности в следующих вариантах: контроль, 1, 5 и 10 ПДК водного раствора сульфата кадмия; 1, 5 и 10 ПДК раствора фенола (*токсическая фаза*). Каждые 2–3 суток при температуре среды +1,2...+1,4 °С проводили смену растворов. Через 10 суток все варианты были переведены в чистую воду (*атоксическая фаза*). В течение токсической фазы гибели зародышей ни в одном варианте не выявляли. Однако в ходе дальнейшего развития в водной среде и после вылупления отмечен незначительный отход молоди. В конце эксперимента, в возрасте 35 суток, выживаемость в растворе сульфата кадмия 1 ПДК в обеих партиях составила 95 % ± 2,8 %; при 5 ПДК — 95 % ± 2,8 % в контроле и 100 % — у обработанной СИМП; при 10 ПДК — по 95 % ± 2,8 % в контроле и опыте. В растворе фенола концентрацией 1 ПДК выживаемость в контроле составила 98,3 % ± 1,6 %, в опыте — 100 %; при 5 ПДК в контроле — 86,7 % ± 13,3 %, в опыте — 100 %; при 10 ПДК — по 96,7 % ± 3,3 % в обеих партиях.

II серия. После вылупления была проведена дополнительная обработка молоди СИМП, и затем контрольных и подопытных особей в 36-суточном возрасте ввели в эксперимент. Мальков в трёхкратной повторности рассадили в 150-мм стаканы: контроль, 5 и 10 ПДК водного раствора сульфата кадмия; 5 и 10 ПДК раствора фенола. В течение 15 суток при повышении температуры от +7 до +10 °С была проведена 7-кратная смена соответствующих растворов, молодь кормили науплиусами артемии, отмечали динамику отхода. После завершения токсической фазы экспери-

мента её перевели в чистую воду на 5 суток, затем, в возрасте 56 суток, были проведены фиксация и морфометрия. Установлено, что выживаемость контрольной молодежи в растворе сульфата кадмия (5 ПДК) в среднем составила $26,7 \% \pm 8,8 \%$, подопытной — $53,3 \% \pm 12,0 \%$; при 10 ПДК контрольная — $10,0 \% \pm 5,7 \%$, обработанная СИМП — $13,3 \% \pm 8,8 \%$. В растворах фенола выживаемость выше: при 5 ПДК контрольной партии — $70,0 \% \pm 11,5 \%$, опытной — $83,3 \% \pm 6,6 \%$. При повышении концентрации фенола до 10 ПДК выживаемость молодежи контрольной группы составила $63,3 \% \pm 21,8 \%$, подопытной — $80,0 \% \pm 10,0 \%$.

Таким образом, интоксикация муксуна в эмбриональный период не оказывала значимого влияния на последующее его развитие. Наоборот: подвергнутая экстремальному воздействию, молодежь этого вида отличалась повышенной гибелью (в наибольшей степени — контрольная). В отличие от воздействия органического токсиканта (фенола), отчётливо выявляется более летальное дозозависимое воздействие соли тяжёлого металла (кадмия).

Проводятся гистологические исследования формирующейся репродуктивной системы у контрольных и подопытных рыб для оценки их цитофизиологического состояния в экстремальных условиях, поскольку только при её нормальном развитии может быть достигнута цель компенсационных мероприятий в повышении численности ценных видов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Ямало-Ненецкого автономного округа в рамках научного проекта № 19-44-890009.

Экспериментальные исследования воздействия системы электронной программируемой комплексного рыбозащитного устройства электрического воздействия (СЭПРО КРУЭВ) на пресноводных и морских гидробионтов

**Столбунов И. А.¹, Извеков Е. И.¹, Заботкина Е. А.¹, Вербицкий В. Б.¹, Быкова С. Н.¹,
Салиенко С. Н.^{2,3}, Киринов М. П.⁴, Подрезова П. С.⁴**

¹Институт биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина РАН, Борок, Россия

²ФГБНУ «Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации», Энгельс, Россия

³ООО «ОСАННА», Энгельс, Россия

⁴ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

sia@ibiw.ru

Электрорыбозаградители различных систем уже давно успешно конкурируют с механическими и гидравлическими заграждениями. Особое значение для установления степени биологической безопасности систем рыбозащиты имеет анализ возможных последствий, связанных с нарушениями воспроизводительной системы рыб и последующего эмбрионального и постэмбрионального развития потомства. Воздействие импульсов напряжения рыбозащитных устройств может быть применено как физический метод борьбы с биообрастаниями. Имеются лишь единичные работы в этом направлении, выполненные непосредственно в связи с работой электрозаградителей.

Цель проведённых и продолжающихся в настоящее время исследований заключается в оценке воздействия системы электронной программируемой комплексного рыбозащитного устройства электрического воздействия (далее — СЭПРО КРУЭВ) на молодёжь и взрослых рыб массовых пресноводных и морских видов, а также гидробионтов-обрастателей в пресной и морской среде.

Экспериментально-полевые работы осуществлены на базе Института биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина РАН в период с 2017 по 2021 г., а также на базе Института биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН в весенне-осенний период 2019 и 2021 гг.

Работы выполнены (и продолжаются) по следующим направлениям:

- монтаж экспериментальной установки, системы электродов и системы электронной программируемой (СЭПРО) электрорыбозаградителя (КРУЭВ);
- эксперимент по оценке поведения и распределения личинок, мальков и взрослых пресноводных и морских рыб в зоне воздействия СЭПРО КРУЭВ с использованием видеорегирующей аппаратуры при разных скоростях течения воды, различной температуре воды, уровнях освещённости и режимах воздействия СЭПРО КРУЭВ (напряжения, частоты следования электрических импульсов);
- оценка выживаемости молоди пресноводных и морских рыб в электрическом поле СЭПРО КРУЭВ при разных режимах воздействия;
- гистологическое исследование гонад пресноводных и морских рыб после воздействия электрического поля СЭПРО КРУЭВ;
- оценка воздействия электрических полей системы СЭПРО КРУЭВ на гидробионтов-обрастателей в морской среде;

- анализ численности и размера моллюсков р. *Dreissena* и микрообрастаний на экспериментальных и контрольных стержнях, а также на контрольных пластинах в зоне и вне зоны действия электрического поля СЭПРО КРУЭВ в пресноводных условиях;
- оценка проективного покрытия моллюсками-обрастателями, а также микрообрастаний в зоне и вне зоны воздействия электрического поля СЭПРО КРУЭВ.

Анализ накопления ^{90}Sr и ^{137}Cs высшей водной растительностью при радиоактивном загрязнении водоёмов (Уральский регион)

Тряпицына Г. А.^{1,2}, Левина С. Г.³, Тряпицына С. В.^{1,3}, Дюсенова Р. Д.², Перетыкин А. А.¹

¹ФГБУН Уральский научно-практический центр радиационной медицины ФМБА России, Челябинск, Россия

²Челябинский государственный университет, кафедра радиационной биологии, Челябинск, Россия

³Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет, естественно-технологический факультет, Челябинск, Россия

svt174@list.ru

В 1940-х гг. на Южном Урале (Челябинская область, Россия) для переработки делящихся материалов и производства оружейного плутония и в рамках Государственной оборонной программы «Урановый проект» [Круглов, 1994] было создано Производственное объединение (ПО) «Маяк» (Минатом России). ПО «Маяк» было причиной радиационных инцидентов и аварий, приведших к загрязнению окружающей среды части территорий в Уральском регионе.

В 1949–1956 гг. в реку Течу было сброшено 76 млн м³ сточных вод, суммарная активность которых составила около $3,1 \times 10^6$ Ки (115 ПБк) [Аклеев и др., 2020]. В результате крупномасштабному радиоактивному загрязнению подверглись все компоненты (абиотические и биотические) реки Течи, в том числе пойменных почв. С 1956 по 1965 г. верховья реки Течи были перекрыты каскадом плотин, которые позволили локализовать большую часть депонированных в верховьях реки радиоактивных веществ и предотвратить дальнейшее поступление радионуклидов в открытую гидрографическую систему Теча — Исеть — Тобол — Иртыш — Обь [Глаголенко и др., 2007]. В результате по настоящее время эксплуатируется сложная гидрографическая система водоёмов — Теченский каскад водоёмов (далее — ТКВ) В-3, В-4, В-10, В-11, являющихся хранилищами низкоактивных жидких радиоактивных отходов (далее — ЖРО).

Термохимический взрыв ёмкости хранилища ЖРО, расположенной на промышленной площадке ПО «Маяк», произошёл 29.09.1957. Часть продуктов взрыва была выброшена в атмосферу на высоту до 1000 м и образовала радиоактивное облако, которое прошло над Челябинской, Свердловской и Тюменской областями. Суммарная β -активность в формировании загрязнённой территории составила около 2×10^6 Ки (74 ПБк). Так сформировался Восточно-Уральский радиоактивный след (далее — ВУРС), общая протяжённость которого составила около 300 км в длину и 5–10 км в ширину [Аклеев и др., 2020].

Загрязнение территорий характеризовалось наличием короткоживущих и долгоживущих радионуклидов — ^{137}Cs и $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$. С 1951 г. Уральским научно-практическим центром радиационной медицины (УНПЦ РМ ФМБА России, ранее — ФИБ-4 Института биофизики Минздрава СССР) начаты мониторинг радиоактивно загрязнённых территорий и медицинские обследования проживающего населения.

К настоящему времени прошло более 60 лет от начала радиоактивного загрязнения, и основными дозообразующими радионуклидами являются ^{137}Cs и ^{90}Sr , период полураспада которых составляет около 30 лет.

Радиоактивное загрязнение окружающей среды привело и к загрязнению значительного количества водных экосистем. Одним из важных компонентов водных экосистем являются макрофиты [Матвеев и др., 2007]. Высшая водная растительность (далее — ВВР) во многом определяет

структуру биотического сообщества водоёма, играет значительную энергетическую роль в функционировании водных экосистем, в самоочищении радиационно загрязнённых водоёмов.

В данной работе приведены результаты исследования ВВР в некоторых водоёмах в отдалённые периоды радиоактивного загрязнения. Был изучен видовой состав ВВР, определены специфичность концентрирования и коэффициенты накопления (далее — КН) ^{90}Sr и ^{137}Cs ВВР в водоёме В-10 ТКВ и в трёх озёрах ВУРС. Выполнен анализ накопления ^{90}Sr и ^{137}Cs в летние периоды в высших водных растениях, представляющих, согласно классификации В. Г. Папченко [1985], 4 экологические группы: воздушно-водные растения, свободно плавающие растения, укореняющиеся погружённые растения, укореняющиеся погружённые с плавающими листьями растения.

В водоёме-хранилище ЖРО В-10 ТКВ ПО «Маяк» содержание ^{90}Sr , согласно Нормам радиационной безопасности [НРБ-99/2009, 2009], в воде более чем в 600 раз превышает уровень вмешательства, а ^{137}Cs — в 2–3 раза [Пряхин и др., 2011]. Исследованные 7 видов ВВР трёх экологических групп обладают аккумулярующей способностью относительно ^{90}Sr и ^{137}Cs . Основным показателем аккумулярующей способности ВВР является КН радионуклидов. КН показывает соотношение концентрации радионуклида в растении и в воде. При этом более активными с наибольшими значениями КН ^{90}Sr и ^{137}Cs являются рдест гребенчатый (*Potamogeton pectinatus* L.) и горец земноводный (*Polygonum amphibium* L.), относящиеся к группе погружённых и группе погружённых с плавающими листьями растений соответственно. При этом у данных растений КН выше для ^{137}Cs , чем для ^{90}Sr .

На ВУРС определены уровень содержания радионуклидов в воде озёр Урускль (ближняя зона ВУРС, 20 км от точки взрыва 1957 г.), а также Большой Игиш и Малый Игиш (центральная зона ВУРС, 60 км от точки взрыва 1957 г.) [Левина, 2009]. Изучен видовой состав ВВР (в исследованных водоёмах зарегистрированы 23 вида растений, относящихся к 18 родам и 14 семействам). Из общего перечня растений, обнаруженных в исследованных водоёмах, были выделены 13 видов, распределённых на 4 экологические группы. У этих растений определены специфичность концентрирования ^{90}Sr и ^{137}Cs , а также коэффициенты накопления. Выявлено, что ВВР, относящиеся к различным экологическим группам, обладают разной способностью концентрировать радионуклиды. КН в различных озёрах варьируют как для разных видов растений, так и для разных радионуклидов.

Анализ полученных результатов позволил выявить специфику накопления радионуклидов различными видами ВВР: накопление радионуклидов растениями носит видоспецифичный характер, зависящий в первую очередь от отношения к той или иной экологической группе. При изучении каждого водоёма следует определять видовой состав ВВР и выявлять наиболее подходящие виды для использования их в радиоэкологических исследованиях.

Результаты приведённых исследований показывают, что выявленные виды высших водных растений можно использовать для оценки накопления для радиоэкологических исследований водоёмов, при проведении радиоэкологического мониторинга радиационно загрязнённых водоёмов, для разработки мероприятий по защите окружающей среды и здоровья населения, а также при разработке подходов к использованию загрязнённых водоёмов в хозяйственной деятельности Уральского региона.

Морфологические и функциональные особенности зелёных микроводорослей рода *Coelastrella*

Челебиева Э. С., Данцюк Н. В., Чубчикова И. Н., Дробецкая И. В., Минюк Г. С.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

elina.chelebieva@gmail.com

Род *Coelastrella* Chodat, 1922 (Sphaeropleales, Chlorophyta) впервые был описан швейцарским ботаником Робером Шода в 1922 г. и первоначально включал 4 вида. В настоящее время, по результатам молекулярно-генетической и электронно-микроскопической ревизии семейства Scenedesmales, род насчитывает 18 видов, отличающихся специфичным, чётко выраженным морфологическим признаком — присутствием на поверхности клеточной стенки гладких меридиональных ребер (4–12, 20), сходящихся на полюсах. Наличие небольших утолщений на полюсах и возрастная изменчивость формы клеток (от лимоновидной до сфероидной и шаровидной) также считаются релевантными таксономическими признаками видов этого рода. К характерным, но не видоспецифичным морфоструктурным особенностям *Coelastrella* spp. относятся: одноядерность; пластинчатый париетальный хлоропласт; единственный пиреноид, ассоциированный с хлоропластом, который окружён двумя крахмальными обертками; многослойная клеточная стенка с внутренним целлюлозным и наружным триламилярным слоями; отсутствие полового размножения и жгутиковых стадий в клеточном цикле; размножение автоспорами (по 4–16 в автоспорангии). Более мелкие, чем вегетативные клетки, автоспоры содержат многочисленные вакуоли, крахмальные зёрна и липидные капли, окрашенные каротиноидами. После выхода из спорангиев они нередко остаются некоторое время сгруппированными во временные ценобии.

Существенное возрастание интереса к представителям этого рода, наметившееся в последние 10–15 лет, связано прежде всего с выявлением и оценкой их биотехнологического потенциала, а именно способности к коммерчески значимому накоплению сразу двух востребованных рынком продуктов: антиоксидантных каротиноидов астаксантина и кантаксантина, а также нейтральных липидов, пригодных по жирнокислотному составу для производства биодизеля, отвечающего всем международным техническим стандартам. Эффективным инструментом выявления новых претендентов на роль промышленно перспективных объектов является лабораторный скрининг видов и штаммов каротиногенных микроводорослей методом двухстадийной культуры. Это убедительно показано как в ряде наших собственных исследований по данной тематике, так и в многочисленных исследованиях зарубежных коллег.

Цель данной работы состояла в сравнительном анализе морфометрических и физиолого-биохимических характеристик трёх вариантов рода *Coelastrella* из рабочей коллекции каротиногенных микроводорослей ФИЦ ИнБЮМ при выращивании по разработанной в ИнБЮМ схеме двухстадийного культивирования продуцентов астаксантина. Все три объекта исследования были получены по обмену — из коллекций Киевского национального университета имени Т. Г. Шевченко (*Coelastrella* sp., штамм IBSS-109 = ACKU 144-02), Института физиологии растений РАН (*Coelastrella rubescens* (Vinatzer) Kaufnerová et Eliás, штамм IBSS-12 = IPPAS H-350) и Иранского университета наук и технологий (Iran University of Science and Technology) (штамм *Coelastrella* sp. IBSS-112, выделенный из планктонной пробы Каспийского моря).

Основные задачи исследования:

- молекулярно-генетическая верификация таксономического статуса штаммов по нуклеотидной последовательности фрагментов ядерного гена 18S рДНК;
- анализ изображений поверхности клеточных стенок штаммов, полученных методом сканирующей электронной микроскопии;
- определение характера динамики ключевых морфофизиологических характеристик штаммов на различных этапах двухстадийного культивирования, а именно численности, формы и объёмов клеток; удельной и средней скорости роста культур; содержания хлорофиллов и суммарных каротиноидов в культурах и клетках; продуктивности штаммов по сухому веществу и пигментам; содержания и состава вторичных каротиноидов в конечной биомассе.

Молекулярно-генетический и электронно-микроскопический анализ вариантов подтвердил таксономический статус штаммов IBSS-12 и IBSS-109, указанный при их передаче из коллекций АСКУ и IPPAS. Иранский штамм IBSS-112 отличается от двух других отсутствием специфичных для оболочки *Coelastrella* spp. меридиальных рёбер и наличием на поверхности клеток шипов и бородавок, характерных для представителей рода *Desmodesmus*. Для более точной идентификации этого штамма необходимо провести анализ с использованием дополнительных филогенетических маркеров ITS и *rbcL*.

Анализ динамики морфофизиологических характеристик исследуемых штаммов выявил заметные различия между ними по размерной структуре клеточных популяций, скорости роста, характеру реакции на стресс-воздействие и содержанию суммарных каротиноидов в конечной биомассе. Так, по максимальной скорости роста (на «зелёной» стадии культивирования) подтверждённые штаммы *Coelastrella* (IBSS-109 = АСКУ 144-02 и IBSS-12 = IPPAS Н-350) различались более чем в два раза ($\mu_{\text{макс}}$ 1,24 и 0,54 сут⁻¹ соответственно), а по средней удельной скорости роста — незначительно ($\mu_{\text{ср}}$ 0,22 и 0,25 сут⁻¹ соответственно).

Аналогичные различия между этими штаммами были зарегистрированы по средней продуктивности культур по клеткам ($8,85 \cdot 10^5$ и $1,20 \cdot 10^6$ кл. · мл⁻¹ · сут⁻¹ соответственно) и по сухой биомассе (194,40 и 150,09 мг · л⁻¹ · сут⁻¹ соответственно). Самой высокой средней скоростью роста «зелёных» культур отличался штамм IBSS-112 (предположительно *Desmodesmus* sp.), опережавший по этому признаку штаммы *Coelastrella* в 1,3–1,4 раза, а по продуктивности (в клетках) — в 2,2–2,9 раза. Однако стресс-реакция на индукцию вторичного каротиногенеза (путём резкого положительного градиента освещённости в сочетании с дефицитом элементов питания) у этого штамма была самой сильной. Она выражалась в помутнении культуральной среды, прекращении деления клеток и их массовом отмирании, а также в отсутствии визуальных признаков вторичного каротиногенеза. Штаммы IBSS-12 и IBSS-109, напротив, сохраняли способность к делению на протяжении всей «красной» стадии и активно накапливали в клетках сухое вещество и вторичные каротиноиды (главным образом, эфиры астаксантина, кантаксантин и эхиненон). К концу эксперимента содержание суммарных каротиноидов в сухой биомассе у штаммов IBSS-109 и IBSS-12 составило 0,23 и 0,35 % соответственно, а у штамма IBSS-112 — только 0,076 %.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Исследование механизмов управления продукционными процессами в биотехнологических комплексах с целью разработки научных основ получения биологически активных веществ и технических продуктов морского генезиса» (№ гос. регистрации 121030300149-0).

Оценка готовности к покатной миграции дальневосточных лососей с длительным пресноводным периодом жизни (на примере чавычи *Oncorhynchus tshawytscha* и кижуча *O. kisutch*)

Шульгина Е. В.

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Россия
fleur-23@mail.ru

Готовность молоди тихоокеанских лососей с длительным пресноводным периодом жизни к покатной миграции сразу после выпуска с лососевых рыбоводных заводов (далее — ЛРЗ) является одной из основных характеристик, определяющих их промысловые возвраты. Выпуск пестряток, не готовых к миграции в море, биологически и экономически не обоснован, так как задержка молоди в пресных водах увеличивает её смертность, в том числе в результате конкуренции с дикими рыбами. Выпуск с заводов смолтов чавычи и кижуча говорит об оптимальной биотехнике искусственного воспроизводства молоди на ЛРЗ.

Среди применяемых методов определения готовности молоди лососевых рыб к скату в море к наиболее используемым относятся такие, как оценка динамики гематологических показателей, активности Na^+/K^+ -АТФазы и тиреодных гормонов у молоди в пресной воде и после перевода в морскую воду. Самым простым методом считается «солёностный тест» [Clarke, Blackburne, 1977], который наиболее пригоден для использования в рыбоводной практике.

Работы по оценке физиологической готовности молоди тихоокеанских лососей с длительным пресноводным периодом жизни к морской среде обитания проводились несколько лет на базе Малкинского (чавыча) и Вилуйского ЛРЗ (кижуч) на Камчатке. Существующая биотехника заводского выращивания предусматривает на Малкинском заводе выпуск сеголеток чавычи средней массой тела 7 г, на Вилуйском заводе — годовиков кижуча массой 10 г.

Физиологическое состояние и готовность перехода молоди в морскую воду исследовали по следующим критериям:

- выживаемость в морской воде солёностью 40 ‰ в течение 24 часов («солёностный тест»);
- динамика осмолярности цельной крови после перевода молоди в морскую воду солёностью 30 ‰ (72-часовая экспозиция);
- динамика концентрации глюкозы и гемоглобина в крови, а также величины гематокрита после перевода молоди в морскую воду при солёности 30, 35 и 40 ‰ (72-часовая экспозиция);
- потеря массы тела молоди после пересадки в морскую воду разной солёности в сравнении с контролем.

Все эксперименты проводились по одной методологической схеме с использованием одних и тех же приборов. Гемоглобин измеряли гемиглобинцианидным методом с помощью «МиниГЕМ 540»; концентрацию глюкозы в крови — с помощью глюкометра SmartScan. Величину гематокрита рассчитывали после центрифугирования крови в капилляре по соотношению объёмов красной крови и плазмы (в %). Для измерения осмолярности жидкостей тела использовали осмометр (Wescor Vapro), работающий по принципу определения давления пара гигрометрическим методом.

Для подготовки воды использовалась искусственная сбалансированная морская соль, до начала экспериментов ёмкости с водой выдерживались в течение 1 суток, с аэрацией. Рыб с нарушенным чешуйным покровом выбраковывали вследствие их пониженной солеустойчивости. Контролем служили такие же эксперименты, но в пресной воде.

Достоверность различий между группами сравнения определяли по критерию Стьюдента для нормальных распределений (t) и по непараметрическому критерию Манна — Уитни (U) — для сравнения независимых выборок.

В результате работ с заводской молодью было установлено, что выживаемость молоди чавычи массой от 2,01 до 11,35 г в воде солёностью 40 ‰ составляет в течение 24 часов 83–100 %. Выживаемость заводской молоди кижуча массой > 10 г составляла в этих же экспериментах 80 %, тогда как молодь кижуча массой < 10 г погибала в течение суток (критерием готовности молоди к переходу в морскую воду является выживаемость более чем 50 % особей; выживаемость в контроле молоди чавычи и кижуча составляла 100 %).

Тем не менее, несмотря на способность выживать в течение суток в воде солёностью 40 ‰, молодь чавычи массой менее 5 г не является «истинным» смолтом и не готова к переходу в полносолёную морскую воду по динамике водного баланса (потеря массы тела) и по изменению осмолярности крови при переводе в морскую воду. Так, если потеря массы тела в морской воде солёностью 40 ‰ в течение суток у «крупных» особей (масса тела > 7 г) составила всего 7,6 % от первоначальной массы (достоверно не отличается от потери массы в контрольном эксперименте в пресной воде), то у «мелких» особей (средняя масса 3,56 г) потеря достигала 18,5 %. Кроме того, молодь чавычи массой менее 5 г в некоторых экспериментах не выдерживала длительной (72 часа) экспозиции в морской воде солёностью 35 ‰ (хотя выдерживала в течение суток солёность 40 ‰). Осмолярность плазмы крови после перевода молоди в морскую воду солёностью 30 ‰ резко возрастала в первые часы после пересадки у всех исследуемых размерных групп, но затем у смолтов возвращалась к исходному пресноводному уровню через 24 часа, а у особей с незавершённым процессом смолтификации оставалась на высоком уровне.

Схожая картина наблюдалась у годовиков кижуча массой более 10 г; так, выдерживая «солёностный тест», молодь теряла массу тела при переводе в солёную воду: при солёности 40 ‰ — 11,3 %, при 30 ‰ — 10,6 % от начальной массы (в контроле в пресной воде потери составили всего 3,0 %). Изменение осмолярности крови при пересадке кижуча в морскую воду солёностью 30 ‰ показало, что, несмотря на резкое увеличение осмолярности плазмы крови через 12 часов после начала эксперимента, затем наблюдалось постепенное снижение осмолярности до 360 мосм·л⁻¹, но не до уровня «истинных» смолтов, для которых показаны восстановление осмолярности крови до исходного уровня через 24 часа и стабилизация показателя на уровне не выше 340 мосм·л⁻¹ [Clarke, Blackbourn, 1977 ; Смирнов, Кляшторин, 1989 ; Кляшторин, Смирнов, 1990]. Но всё-таки у кижуча массой более 10 г наблюдается поддержание состояния внутренней среды организма в морской среде, чего не зарегистрировано у кижуча массой менее 10 г, у которого в течение трёхсуточного эксперимента в морской воде солёностью 30 ‰ наблюдался только рост осмолярности крови. Также интересно отметить, что молодь кижуча естественного происхождения средней массой 10,4 г является «истинным» смолтом, поскольку после пересадки в морскую воду солёностью 40 ‰ осмолярность крови у него увеличивается всего на 6,1 %, что в 2 раза меньше, чем у заводского кижуча, и не превышает 340 мосм·л⁻¹.

Результаты работы по динамике таких показателей крови, как концентрация глюкозы и гемоглобина, а также уровень гематокрита, показали, что они не характеризуют уровень смолтификации, так как реагируют на многие факторы (физиологическое состояние и размер рыбы, стресс, температура и т. д.).

В условиях ЛРЗ для оценки степени смолтификации молоди чавычи и кижуча оптимально использовать суточный «солёностный тест» (40 ‰) на выживаемость; также можно оценить потерю массы тела у молоди. В случае хорошей выживаемости молоди нужно подтвердить готовность к покатной миграции по динамике осмолярности крови при пересадке в морскую воду солёностью 30 ‰. Важно не нарушать чешуйный покров во время проведения экспериментов.

Мониторинг процессов соматического роста черноморского шпрота *Sprattus sprattus* (Pisces: Clupeidae) в нагульные периоды

Щербань С. А.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

shcherbansa@yandex.ru

Шпрот *Sprattus sprattus* (Linnaeus, 1758) является массовым промысловым видом среди мелких пелагических рыб Чёрного моря. Он устойчиво занимает второе место после хамсы по объёмам вылова в последние 2–3 десятилетия. Нагульный период длится с середины апреля по сентябрь включительно. В этот период темпы его роста и накопления резервов, в частности белков, зависят от обеспеченности пищей и от её состава. В период нагула, наряду с накоплением жировых запасов, увеличивается масса шпрота, характеризующаяся определённой динамикой. Динамика и интенсивность тканевого роста в нагульные периоды у черноморского шпрота ранее не изучались.

У крымского побережья вид представлен четырьмя поколениями — сеголетками, двух-, трёх- и четырёхлетками. Доля последних крайне мала — 0,3 %. Доминирующее положение в популяции занимают одно- и двухлетки (58–64,5 %), доля сеголеток существенно ниже (24,5 %) [Зуев, Бондарев, 2013 ; Зуев и др., 2016]. Известно о существовании в западной части Чёрного моря самостоятельной популяции шпрота, которая по своим структурно-функциональным показателям отличается от крымской популяции [Зуев, 2013]. По многолетним данным показано, что основу численности размерного ряда южнобережной популяции составляют особи длиной 6,0–7,2 см (84 %), при этом средняя длина шпрота — 6,8 см.

Цель исследования заключалась в оценке особенностей соматического роста разных размерно-возрастных групп черноморского шпрота (сеголетки, двух- и трёхлетки) в нагульные периоды 2016–2018 гг. на основе физиолого-биохимических показателей. Применяли два основных параметра — величину содержания суммарных РНК и индекс роста РНК/ДНК, а также расчётный индекс РНК/сырая масса. Из физиологических показателей учитывались общая сырая и сухая масса особей каждой из групп.

Рыб для исследований отбирали из траловых уловов промысловых судов у западного побережья Крыма (мыс Лукулл) в период с апреля по август 2016–2018 гг. Анализ проводили на трёх наиболее многочисленных размерно-возрастных группах рыб. В наших исследованиях популяция шпрота была представлена сеголетками (длина 45–55 мм), двухлетками (длина 55–60 мм) и трёхлетками (70–80 мм). Один раз в месяц из уловов отбирали по 20 экз. каждой размерной группы, измеряли стандартную длину всех особей с точностью до 0,3 см. В качестве соматической ткани выбраны белые мышцы, которые у шпрота составляют в среднем от 70 до 80 % массы его тела. Анализируемых проб — 450 особей, количество определений — 900.

Диапазон величин сум. РНК за весь весенне-летний нагульный период 2016 г. изменялся у сеголеток от 1,03 до 1,29 мг·мг⁻¹, у двухлеток — от 0,91 до 1,16 мг·мг⁻¹, у трёхлеток — от 0,96 до 1,22 мг·мг⁻¹, с максимумами во всех группах в июне. Нагул 2018 г. характеризовался стабильными величинами показателя, близкими к значениям 2016 г. на всем его протяжении. Для нагульного периода 2017 г. характерны более низкие величины сум. РНК: у сеголеток — в диапазоне 0,82–1,06 мг·мг⁻¹, у двухлеток — 0,68–1,14 мг·мг⁻¹, у трёхлеток — 0,70–1,06 мг·мг⁻¹, с макси-

мумом в апреле — мае и с иной динамикой, свидетельствующей о падении уровня белкового синтеза к летним месяцам. Сезонный ход изменений величины содержания суммарных фракций РНК сходен во всех размерных группах, особенно выражен он в период 2017 г.

На протяжении нагульных периодов 2016 и 2018 гг. динамика индекса РНК/ДНК идентична, с минимальными величинами в июле (исключение — двухлетки в 2017 г.) и июне — июле у одно-леток и двухлеток в 2017 г.

Начало нагульных периодов (апрель — май) характеризовалось близкими значениями сум. РНК в мышцах всех групп (без статистических различий у сеголеток и трёхлеток). Более заметные различия получены по значениям РНК/ДНК: у трёхлеток в мае 2016 г. они выше в 1,9 раза, чем в 2017 г.

Величины общей сырой массы особей и их динамика у исследуемых групп в целом имели тенденцию к увеличению в течение нагула, наиболее выраженную у двухлеток в нагульные периоды 2016 и 2018 гг. Факт увеличения масс, скорее всего, объясняется накоплением, наряду с белком, и липидных фракций в мышцах, половых железах и других органах. Наименьшие приросты отмечены у сеголеток в нагулы 2017 и 2018 гг.

Мониторинговая оценка динамики параметров роста в периоды нагулов 2016 и 2017 гг. показала, что к его пику (конец июня — июль) темп тканевого роста несколько замедляется: отмечено синхронное снижение содержания сум. РНК в 1,2–1,4 раза (кроме сеголеток в нагул 2017 г.), индексов РНК/ДНК — в 1,2–2,6 раза (кроме двухлеток и трёхлеток в 2017 г.), а также индекса РНК / сырая масса в середине нагула. По динамике ростовых показателей в 2018 г. такой тенденции не отмечено.

Соматические приросты у шпрота в нагул 2017 г. снижались значительными темпами уже с июня и сохранялись на стабильно низком уровне до августа. В июле 2017 г. у сеголеток и двухлеток отмечалось также снижение общей сырой массы тела в 1,2–1,25 раза. Показатели содержания сум. РНК и индекса РНК/ДНК снижались. В это время шпрот активно накапливает и жировую составляющую, и максимумы в сезоны 2016 и 2017 гг. вполне могли приходиться именно на этот месяц. Пики жирности в середине нагула шпрота отмечали и ранее [Минюк и др., 1997 ; Shulman et al., 2005]. В целом при наличии относительно стабильной доли копепод (около 30 %) в структуре кормового зоопланктона в летнее время 2016–2018 гг. основная доля в эти годы принадлежала разным группам зоопланктона.

С середины августа (конец нагула) меняется пищевая база шпрота. В 2017 г. у двух- и трёхлеток отмечено увеличение ростовых показателей: содержание сум. РНК в мышцах увеличилось в августе по сравнению с июлем в среднем в 1,4 раза, а величина индекса РНК/ДНК — в 2,1 и 2 раза. Значительно выросли значения общих сырых масс особей. Всё это свидетельствовало о более высоком уровне тканевого роста в конце нагульного периода 2017 г. по сравнению с летними месяцами. В конце нагулов 2016 и 2018 гг. такой тенденции не отмечалось. При этом уровень соматического роста в начале и конце нагульных периодов в эти годы был приблизительно одинаковым.

Основные выводы. 1. На основании данных о величинах сум. РНК, ростовых индексов РНК/ДНК и РНК / сырая масса показано, что интенсивность тканевого соматического роста в нагульные периоды 2016–2018 гг. различалась. 2. Анализ каждого из трёх нагульных периодов показал, что динамика соматического роста у исследуемых групп (сеголетки, двух- и трёхлетки) в течение одного нагульного периода идентична. 3. Уровень тканевого соматического роста в весенние месяцы нагула у всех групп шпрота был приблизительно одинаковым и оценивался как высокий.

Features of *Artemia* Cultivation in Lakes With Different Salinity

Litvinenko L. I. and Zenkovich P. A.

State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, Tyumen, Russia

litvinenko_li@mail.ru

The development of technologies for growing *Artemia* in hyperhaline reservoirs is an important task to optimize the use of natural reserves of this valuable type of bioresources. In the literature, there is information about the cultivation of *Artemia* in salt ponds located mainly in tropical and subtropical zones [Anh et al., 2010 ; Van Stappen et al., 2019 ; Camara, 2020 ; etc.]. Russia has a lot of salt reservoirs (more than 100 with a total area of about 2000 km²) located along the southern border from the Crimea to the Altai in natural zones of forest-steppe, steppe, and semi-desert. The Russian climate specifics does not allow the use of technologies developed for tropical countries. Year-round monitoring of *Artemia* populations [Boyko et al., 2012 ; Litvinenko et al., 2013, 2015, 2016] contributed to the identification of features in the development of *Artemia*: the discontinuity of the life cycle of brine shrimps in winter, a powerful first generation from hatched cysts, and a low number of subsequent ones. These data were used later in the development of technology for *Artemia* growing in natural reservoirs with local populations [Kutsanov, Litvinenko, 2017 ; Litvinenko et al., 2020]. The technology provides for the incubation of cysts near a natural reservoir and the release of nauplii directly into the brine of lakes. Under standard conditions, the incubation time of cysts used as live feed is 24 hours. This is due to the need to completely separate the shells of the cysts from the nauplii. When inoculating cysts in a salty pond, it is possible to reduce the incubation time, which will significantly decrease the cost of this procedure. This research was developed to study the possibility of *Artemia* cysts and nauplii introducing into reservoirs with different salinity and to determine the optimal incubation time of cysts.

The studies were carried out under laboratory conditions. Dry cysts from Ebeity Lake (Omsk region), No. 1, and Maloe Yarovoe Lake (Altai), No. 2, and brine of natural lakes with salinity of 101, 125, 225, and 333 ‰ were used. Incubation of cysts was carried out under standard conditions: in conical vessels with aeration, illumination, in a solution of salts (40 g·L⁻¹ NaCl + 2 g·L⁻¹ NaHCO₃), the density of cysts – 3 g·L⁻¹, temperature +25...+30 °C. Before incubation, 0.6 mL·L⁻¹ of 3 % hydrogen peroxide was added to the solution as a cyst activator. In parallel, dry cysts were placed in the vessels with lakes brine. After every 1–2 hours of incubation, samples of cysts were taken and placed in vessels with lakes brine. In addition, fresh water (in a dilution of 1:1 and 1:2) was added to the vessels with lakes brine 125, 225, and 333 ‰, and cysts were placed. Observations were conducted for 5–30 days. The number of cysts and nauplii was calculated using a stereoscopic microscope MBS-10. In total, 5 cycles of experiments were conducted. The influence of temperature, salinity of the incubation solution and brine, the quality of cysts from different populations were analyzed based on the results of this study.

The most informative indicators for incubation of cysts and nauplii hatching are the time of appearance of the first nauplii, 10 % and 90 % of the maximum number of nauplii (T_0 , T_{10} , and T_{90} , respectively), as well as the synchronicity of hatching ($T_s = T_{90} - T_{10}$). The T_0 and T_{10} values were minimal in all experiments with cysts No. 2 (12–14 h and 11–15 h, respectively) and maximal (16–20 h and 17–21 h) in experiments with cysts No. 1. The T_{90} index (corresponding to the optimal time of completion of incubation of cysts used as a live feed) for cysts No. 1 was in the range of 20–25 h; for cysts No. 2, it was in the range of 16–23 h. The synchronicity of cysts hatching was within 1–8 h. The results showed that cysts from different sources vary in the quality of hatching. Cysts from Maloe Yarovoe Lake (No. 2) had the best hatching rates.

The indicators of the hatching time were negatively correlated with the water temperature: r was -0.59 (T_0); -0.52 (T_{10}); -0.80 (T_{90}); and -0.41 (T_s).

A comparison of the results of hatching at two different salinities of the incubation solution (5 and $40 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$), conducted in experiment 1, showed that at a lower salinity, the time of appearance of the first nauplii was reduced by 3 h, while T_{90} was the same in both variants (23 h), and T_s increased by 2 times at a salinity of $5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$. In addition, significant foaming was observed at low salinity of the solution. All of the above points to the undesirability of using low salinity for incubation of cysts.

In experiment 2, dry and wet (placed in fresh water for 2 hours before incubation) cysts were used for incubation. As a result, all the time indicators of nauplius hatching from wet cysts decreased: T_0 – from 17 to 15 h, T_{10} – from 18 to 16 h, T_{90} – from 23 to 18 h, and T_s – from 5 to 2 h, which indicates an acceleration of the hatching process when using such cysts.

In experiment 3, dry cysts were directly placed in the lake brine with a salinity of 101, 125, 225, and 333 ‰. Observations during the month showed that only in brine with a salinity of 101 ‰ on the 7th day there were single live nauplii.

In experiment 4, with fresh water dilution of lake brine with a salinity of 125, 225, and 333 ‰ (imitation of rain moisture), *Artemia* nauplii were observed after 10 days (with a salinity of 63 ‰ (125/2) and 75 ‰ (225/3). When the brine was diluted with a maximum salinity of 111 ‰ (333/3), the water layer was divided into the upper ($\frac{1}{3}$ of the volume of the vessel) with live nauplii and the lower empty layer ($\frac{2}{3}$ of the volume); at the bottom, there were dead nauplii.

The data obtained indicate that it is necessary to incubate the cysts before inoculation, even if the brine salinity is about 100 ‰.

The possibility of continued hatching of nauplii in lake brine was investigated in experiment 5. To do this, samples of cysts were taken from the incubation unit every 1–2 hours and placed in vessels with lake brine. Analysis of the data on the 5th day of observations showed that at a relatively low brine salinity (101 ‰), the incubation time sufficient for good hatching is 10–12 h for cysts No. 1, and 6–8 h for cysts No. 2. At a brine salinity of 125 ‰, the incubation time for cysts No. 1 is 18 h, for cysts No. 2 – 15–16 h. At brine salinity of 225 ‰, incubation time of cysts No. 1 is 22 h, and No. 2 – 17–18 h. At brine salinity of 333 ‰, incubation should not be carried out, since nauplii in brine with such salinity died within a day.

On the basis of multiple regression analysis, the dependencies of incubation duration on temperature and salinity were determined for cysts of different quality:

$$T_{90} = -0.38 \times t + 0.01 \times \sum u + 28 \text{ (for cysts No. 2);}$$

$$T_{90} = -0.38 \times t + 0.01 \times \sum u + 31 \text{ (for cysts No. 1).}$$

where T_{90} is incubation duration, h;

t is temperature of incubation solution, °C;

$\sum u$ is brine salinity, ‰.

Conclusions:

1. Dry cysts do not hatch in the lake brine without pre-incubation.
2. For cultivation of *Artemia*, it is necessary to exclude reservoirs with high salinity.
3. The use of wet cysts for incubation accelerates the hatching process.
4. The rate of nauplii hatching depends on the temperature, salinity, and cysts quality.
5. In the brine of lakes, the hatching of nauplii continues with a reduction in the incubation time.
6. The optimal incubation time of cysts (considering the continues hatching in brine) at salinity 101 ‰ is 8–12 h, at 125 ‰ – 16–18 h, and at 225 ‰ – 18–22 h for cysts of different quality.

Black Sea Turbot Sperm Motility Depending on the Dilution of Seawater

Baiandina Iu. S.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

sepulturka@mail.ru

Black Sea turbot (*Scophthalmus maximus* L.) is valuable commercial fish, a promising subject for mariculture, and one of the important components of the Black Sea ecosystem. Semen quality assessment is important for understanding the status of the spawning population of this species.

Black Sea turbot is a typical broadcast spawner with external fertilization. In marine fish with external fertilization the osmolality of semen is significantly lower than the osmolality of seawater. The initiation of sperm motility is possible with a slight dilution of semen with seawater [Cosson, 2019].

The success of fertilization is the most reliable characteristic of the spermatozoa quality (provided there are high-quality female gametes). It is influenced by many abiotic and biotic factors. The sperm fertilizing ability depends on the volume, sperm concentration, and the composition of the seminal fluid (the content of ions, lipids, and proteins), as well as the characteristics of spermatozoa motility: the speed and duration of movement [Cosson, 2008 ; Gallego, 2018].

The most appropriate methods for determining the viability of sperm cells are functional tests that determine the characteristics of sperm movement: the percentage of motile sperm, speed and duration of activity. The ratio and methods of sperm dilution, the different solutions in which activation takes place, and even the method of application on a glass slide can influence the spermatozoa speeds and the motility duration [Fauvel, 2010 ; Cosson, 2020].

This work aimed to determine the effect of the sperm dilution on the main characteristics of motility, namely on the speed, the proportion of motile sperm, and the retention of activity during the time after activation.

Individual sperm characteristics were studied from samples obtained from three turbot males from a natural population. To study the characteristics of sperm motility, 0.1 mL of sperm was diluted in a ratio of 1:10 and 1:100 with seawater. In the experiment, video recording of sperm movement was carried out in fresh sperm smears in triplicate (dilution was carried out in separate containers for each replicate) taken from the plate both immediately after dilution and after 5, 10, 15, 20 min.

The average speed VCL of sperm immediately after activation with seawater when diluted in a ratio of 1:10 was $(85 \pm 20) \mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, the maximum $123 \mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, and the average percentage of motile sperm in all samples was 80 %; for sperm diluted in a ratio of 1:100, $(46 \pm 16) \mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, maximum $97 \mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, and the average percentage of motile spermatozoa in all samples was 28 %. After 20 minutes for 1:10 VCL was $(61 \pm 20) \mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, maximum speed $90 \mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, and percentage 66 %; for 1:100 VCL was $(36 \pm 10) \mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, maximum $38 \mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, and 27 %.

We found that in turbot the sperm motility characteristics are the best when diluting semen with seawater in a ratio of 1:10; also, sperm move longer at high speeds, and the proportion of motile sperm is higher. It can be assumed that the best fertilization rate will occur at a 1:10 dilution.

This study was financially supported by the Research Program of the Russian Academy of Sciences grant agreements No. 121030300149-0 and 121030100028-0 at the IBSS RAS.

Устойчивое развитие прибрежных зон

Уровень эвтрофирования прибрежных вод и пространственное распределение выбросов фитобентоса на побережье в калининградской зоне Балтийского моря

Александров С. В.^{1,2}, Горбунова Ю. А.²

¹Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»), Калининград, Россия

²Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

hydrobio@mail.ru

Эвтрофирование и увеличение обилия водорослей (до уровня цветения вод) — важнейшие современные проблемы Балтийского моря. Юго-восточная часть моря, включая калининградский сектор, относится к районам с высоким уровнем неблагоприятного воздействия за счёт поступления биогенных и загрязняющих веществ со стоком крупных рек (Висла, Неман) и из городских агломераций России, Литвы и Польши. Наиболее сильное воздействие эвтрофирования прослеживается в прибрежной зоне до глубины 20 м, что объясняется её мелководностью, поступлением биогенных элементов с побережья и с речным стоком и периодическим весенним и летним цветением водорослей. В российской акватории Балтийского моря такое воздействие отмечается вдоль Самбийского полуострова, Куршской и Вислинской кос, где, по многолетним данным, наблюдается эвтрофный статус и более низкое качество вод, по сравнению с мористой акваторией Балтийского моря. Концентрации хлорофилла *a* в воде как показателя обилия фитопланктона и эвтрофирования вод в калининградском секторе Балтийского моря превышают целевое значение ($< 2,19 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ для лета в Гданьском бассейне), предусмотренное Планом действия по Балтийскому морю для достижения «хорошего экологического статуса» [Eutrophication, 2013]. В прибрежной зоне концентрации хлорофилла *a* могут быть в 2–5 раз выше целевого значения, в том числе по данным 2019–2020 гг.

Первичные продуценты морской экосистемы — фитопланктон и фитобентос — одними из первых реагируют на изменение трофности вод, и их качественные и количественные характеристики являются чувствительными индикаторами. Массовое развитие оппортунистических видов фитобентоса указывает на эвтрофирование прибрежных вод. Значительные объёмы выбросов фитобентоса приурочены к ареалам произрастания и могут быть использованы для оценки их обилия и состава. Водоросли, выброшенные на берег, становятся источником загрязнения и снижения рекреационного потенциала. Эта проблема присутствует на юго-восточном побережье Балтийского моря, где периодически большие количества водорослей выбрасываются на локальных участках побережья Калининградской области.

Наблюдения за состоянием прибрежной зоны в Калининградской области, включая качественную и количественную характеристику выбросов фитобентоса, проводились с марта 2019 г. по август 2020 г. Наблюдения включали ежедневный мониторинг выбросов при помощи веб-камер на 2 модельных участках, сезонные выезды с интервалом 2–3 месяца на 6 стандартных точках наблюдений, съёмки практически всего морского побережья Калининградской области после штормов (июль 2019 г., март и август 2020 г.). Выполнен количественный учёт выбросов фитобентоса с определением видового состава, сырого и воздушно-сухого веса. Одновременно в прибрежной акватории калининградской зоны в юго-восточной части Балтийского моря с апреля по октябрь 2019 и 2020 гг. выполнялись исследования гидрохимических показателей и обилия фитопланктона (по концентрации хлорофилла *a* в воде) для характеристики условий среды и эвтрофирования

вод, влияющих на развитие фитобентоса. Определение хлорофилла выполнялось спектрофотометрическим методом в поверхностном и придонном слое, согласно ГОСТ 17.1.04.02-90.

Для Балтийского моря, включая юго-восточную часть, характерна значительная сезонная динамика состава и обилия фитопланктона и фитобентоса. Фитопланктон характеризуется летним максимумом с доминированием синезелёных водорослей, диатомовых и динофитовых водорослей. В составе фитобентоса в калининградском секторе произрастают 13 видов из отделов красных, бурых и зелёных водорослей и 1 вид морских трав (*Zostera marina*), которые встречаются в выбросах на побережье. Сезонность их развития и обилие в прибрежной акватории обуславливают периодичность и масштаб их выбросов в прибрежной зоне. С октября по март в выбросах доминировал вид красных водорослей *Furcellaria lumbricalis*. В летний период на подавляющем большинстве точек наблюдений выбросы были составлены более чем на 70 % комплексом эврибионтных нитчатых видов водорослей из родов *Cladophora*, *Ulva* и *Polysiphonia*.

Наибольшее количество выбросов фитобентоса в 2019–2020 гг. наблюдалось на северном побережье Самбийского полуострова, в отличие от западного побережья, Куршской и Вислинской кос. Прибрежная акватория вдоль Самбийского полуострова характеризуется эвтрофированием вод, в том числе повышенной концентрацией хлорофилла *a* в воде, из-за поступления биогенных веществ с прибрежных активно используемых районов (здесь в том числе расположены федеральные курорты Светлогорск-Отрадное, Зеленоградск) и характера береговой линии. В частности, в 2020 г. концентрация хлорофилла *a* здесь в среднем составляла 3,8–4,6 мг·м⁻³, а в летний период достигала 6–10 мг·м⁻³, что характерно для эвтрофных вод (> 4 мг·м⁻³), согласно классификации трофического статуса вод Балтийского моря. Районы наибольшего эвтрофирования прибрежной акватории пространственно соответствовали максимальным выбросам фитобентоса (2,3–14,2 кг·м⁻² воздушно-сухого веса), в том числе на активно используемых в рекреационном плане участках (Филинская бухта, пос. Куликово, Отрадное). Скопления фитобентоса имели локальный характер и были в основном приурочены к естественным (мысы) и искусственным (молы, слипы, буны) выступам береговой линии, которые характерны для северного побережья Самбийского полуострова. На западном побережье Самбийского полуострова, Куршской и Вислинской косах, выбросы макроводорослей в большинстве своём не превышали 0,4 кг·м⁻², а концентрация хлорофилла *a* в прибрежных водах составляла < 3 мг·м⁻³, что соответствует мезотрофному статусу. Плотность населения и антропогенная нагрузка в этих прибрежных районах многократно ниже; в частности, Куршская коса относится к национальному парку.

Таким образом, наибольшие массы выбросов фитобентоса наблюдались на северном побережье Самбийского полуострова и в летний период были представлены в большой степени оппортунистическими видами. К этому же району прибрежных вод приурочены наиболее продуктивные прибрежные акватории (по концентрации хлорофилла *a* в планктоне приближающиеся к эвтрофному уровню). Летний прогрев воды и обеспеченность биогенами обуславливают летний максимум фитопланктона и наращивание биомассы фитобентоса за счёт однолетних, теплолюбивых видов. Пространственное совпадение районов максимальных выбросов фитобентоса (в общих чертах отражающих развитие фитобентоса в прибрежной акватории) и повышенных концентраций хлорофилла *a* в воде (как показателя продуктивности фитопланктона) свидетельствует о сходном отклике сообществ микро- и макроводорослей на природные условия и эвтрофирование вод. Это может обусловить снижение рекреационного потенциала Калининградского региона при антропогенной нагрузке и климатических изменениях из-за ухудшения качества воды при цветении фитопланктона и загрязнении побережья выбросами фитобентоса.

Исследования выбросов фитобентоса выполнены в рамках госзадания ИО РАН (тема № 0128-2021-0012) и проекта #R090 CONTRA Interreg Baltic Sea Region Programme.

Проблемы заносимости Волго-Каспийского морского судоходного канала: история и современность

Бухарицин П. И., Котеньков С. А.

Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

piter@bukharitsin.com

Волго-Каспийский морской судоходный канал (далее — ВКМСК) является главным водным путём, соединяющим порт Астрахань с открытым Каспийским морем. С началом мореплавания на Каспии и по настоящее время прохождение судов по трассе ВКМСК выливается в экономические потери для судовладельцев в связи с падением уровня Каспийского моря, его обмелением и заносимостью.

Судоходный путь от Астрахани по Волго-Каспию до конца XVI в. проходил по рекам Кутуму и Болде. В XVII в. вследствие обмеления их устьев он сместился на запад, и суда стали следовать протокой Иванчугом. Сто лет спустя выход на взморье осуществлялся уже по Старой Волге, и только с 1818 г. движение кораблей стало осуществляться по правому волжскому рукаву Бахтемиру.

Трудности встречали мореплавателей ещё на подступах к Каспию. Переход от Астрахани к открытому морю и обратно из-за многочисленных мелей и противных ветров порой занимал несколько дней. Первые факты мы находим в источниках XV в., где упоминается, как судно тверского купца Афанасия Никитина «стало в устье Волги на мели», а венецианский посол Амброджо Контарини из-за сильного течения и ветра две недели добирался от устья Волги до Астрахани.

Крупные морские суда вообще не могли проникнуть в Волгу, особенно в летнее меженное время. Купец Фёдор Котов в начале XVII в. описывал, что приходящие из Персии товары перегружались с глубоко сидевших в воде морских судов — бус на плоскодонные речные суда — сандалы — «у Четырёх Бугров» (того самого острова, где при Петре I была устроена морская гавань).

Когда главный судоходный канал по Бахтемировскому рукаву стал заноситься в отдельных местах и возникла опасность для судоходства, в 1823 г. начались изыскания и проектирование, а в 1858 г. началось строительство нового канала по Камызякскому направлению. Но пятилетние работы по дноуглублению данной трассы были прекращены в 1863 г. вследствие того, что после каждого половодья заносились углублённые участки этого канала. Плоды труда строителей канала заросли камышовыми крепями, и о нём забыли. Каменные насыпи валов канала местные жители стали именовать «дорогой к морю», якобы построенной при Екатерине II или при Петре I. А просматриваемая из космоса трасса канала даже была принята за древние геоглифы, наделав в Интернете много шума, который с трудом удалось развеять местным учёным-океанологам.

С 1874 г. проводятся изыскательские, опытные, дноуглубительные работы по приведению Бахтемировского фарватера (будущего ВКМСК) в судоходное состояние. В 1970–1980-х гг. указанные работы носили регулярный характер, что положительно влияло на увеличение грузопотока по каналу. Современный Волго-Каспийский канал протяжённостью 188 км, глубиной 4,5 м и шириной 100 м рассчитан на двухстороннее плавание судов с осадкой в грузу 4,2 м.

В 1990-е гг. подъём уровня Каспийского моря привёл к изменению гидрологического режима в канале, увеличению отложения наносов в его баровой части, а объём дноуглубительных работ на канале по сравнению с предыдущим десятилетием сократился почти в 40 раз, что привело к резкому сокращению грузоперевозок.

В ноябре 2020 г. российское правительство утвердило создание портовой особой экономической зоны в районе с. Оля. Согласно стратегии социально-экономического развития Астраханской области до 2030 г., одной из главных задач является повышение пропускной способности ВКМСК, с обязательным решением проблемы обмеления канала. На заседании по морской деятельности губернатор Астраханской области Игорь Бабушкин отметил, что в 2021 г. будет вынута 3,9 млн м³ грунта. Однако, по мнению многих учёных и судовладельцев, для достижения эффекта необходимо увеличение минимум до 6 млн м³. Только за 2011–2014 гг. на ВКМСК зафиксировано 26 посадок судов на мель; последний случай произошёл 10 марта 2021 г. с теплоходом, следовавшим из Ирана.

Новый проект астраханских учёных (Бухарицин П. И., Русанов Н. В., Беззубиков Л. Г.) позволяет минимизировать возвратную заносимость канала и избежать дополнительных затрат при транспортировке грунта, добытого земснарядом, и сбрасывания грунта вблизи от производства дноуглубительных работ. По разработанной учёными схеме, указанный грунт будет приниматься специальными судами, удаляться на береговые свалки (карты намыва) для дальнейшего его использования в хозяйственных целях.

Работы по увеличению пропускной способности ВКМСК, загрузка портов Оля и Астрахань укрепят позиции России на Каспии, позволив реализовать в полной мере проект «Международный транспортный коридор "Север — Юг"».

Многолетние изменения состояния сообществ многоклеточного бентоса бухты Круглая (Крым)

Гусева Е. В., Алёмов С. В., Витер Т. В.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

alyomov_sv@imbr-ras.ru

Бухта Круглая (г. Севастополь) имеет протяжённость 1,4 км, максимальную ширину 0,9 км; глубина при входе в бухту составляет 17 м, хотя основная часть мелкая (от 5 до 8 м), что приводит к быстрому прогреву воды в тёплое время года. За последние четверть века берега бухты активно застраивались рекреационными объектами, увеличилась застройка прилегающих территорий, что привело к возрастанию антропогенного пресса на экосистему бухты.

В данном сообщении приведены характеристики макрозообентоса и мейобентоса бухты, полученные в ходе санитарно-биологической съёмки в 2018 г. на 4 станциях, и рассмотрены их изменения за период с 1994 г.

В 2018 г. обнаружено 52 вида макрозообентоса (19 видов Polychaeta, 10 Bivalvia, 8 Gastropoda, 6 Crustacea, а также хитоны, нематоды, ланцетник, олигохеты и мшанки). На всех станциях отмечалось сообщество *Chamelea gallina* (Linnaeus, 1758). Общая численность изменялась в пределах от 966 до 7444 экз.·м⁻², биомасса — от 5,31 до 178,23 г·м⁻². Максимальные значения численности зарегистрированы на станции, где наблюдалось большое количество мелких полихет *Protodorvillea kefersteini* (McIntosh, 1869), наибольшая биомасса — на ст. 33. По численности и по биомассе на большинстве участков доминировали двустворчатые моллюски. Ретроспективно численность макрозообентоса за прошедшие четверть века изменялась незначительно, в пределах 1224–5578 экз.·м⁻²; только в 2000 г. она достигала практически 16 тыс. экз.·м⁻² за счёт массовости мелких полихет *Exogone naidina* (Örsted, 1845) и *Protodorvillea kefersteini*. Таксономическое разнообразие за этот же период было максимальным в 2006 г. (по 60 видов); минимум (32 вида) отмечен в 1997 г. За весь период зарегистрировано 139 видов и надвидовых таксонов. Объективно за это время в бухте увеличилась доля мелких макроорганизмов, что свидетельствует об усилении органического загрязнения акватории.

В мейобентосном сообществе бухты Круглая в 2018 г. на отдельных станциях обнаружено от 6 до 11 крупных таксонов. Численность организмов варьировала от 76 до 135,7 тыс. экз.·м⁻². Доли основных групп постоянного компонента мейобентоса (эвмейобентос) — нематод и гарпактикоид — в основной части бухты составляют от 20,6 до 33,9 % и 1,4 до 32,7 % соответственно, доля временного компонента (псевдомейобентос) — от 22,4 до 64,4 % (с доминированием полихет). Сравнение показателей с данными прошлых лет показывает, что максимального количественного развития мейобентос достигал в 2003 г., когда в донных осадках всей бухты обнаруживали организмы почти в полмиллиона экземпляров на единицу площади — от 441,8 до 473,8 тыс. экз.·м⁻²; минимальные показатели отмечены в 2000 г. Таксономическое разнообразие в XXI в. стало значительно выше, чем было в XX в. Так, если ранее обнаруживали по 2–4 крупных таксона (от отрядов до типов), то в последние годы — по 10–12.

Судя по сочетанию определяемых параметров, можно заключить, что экологическое состояние донных осадков бухты Круглая за последние годы ухудшается, что проявляется в компенсаторном развитии мейобентосного населения и увеличении числа мелких макрозообентосных видов; такой механизм характерен для мелководных акваторий, каковой является бухта Круглая.

Интегрирующая платформа для сбора и анализа данных природоохранного мониторинга

**Марченко М. А.^{1,2}, Гусяков В. К.¹, Маринин И. В.¹, Пененко В. В.^{1,2}, Пененко А. В.^{1,2},
Родионов А. С.^{1,2,3}, Токтошов Г. Ы.¹**

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия

²Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Новосибирск, Россия

³Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Новосибирск, Россия

marchenko@sscc.ru

Предлагается концепция создания интегрирующей платформы (далее — ИП) для сбора и анализа данных природоохранного мониторинга с опорой на разработки отечественных научно-образовательных организаций и высокотехнологичных компаний. Описываются программно-аппаратные компоненты такой платформы, существующие в Институте вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (ИВМиМГ).

Мировая практика экологического мониторинга состоит в создании сетей мониторинга экологической ситуации с использованием недорогих сенсоров на основе технологии интернета вещей (IoT) и с применением методов искусственного интеллекта. Объекты мониторинга и прогнозирования такого рода сетей — слой атмосферы над землёй, морем и прибрежными зонами, водная среда (море и прибрежные зоны, реки и озёра, водохранилища).

Состав ИП:

- сеть датчиков и приборов экологического мониторинга с точной привязкой к местности благодаря ГИС-системе;
- программный комплекс по усвоению данных мониторинга и прогнозированию на основе методов искусственного интеллекта;
- суперкомпьютерный центр (СКЦ) для сбора и анализа данных.

Применение ИП:

- сбор экологической информации;
- прогнозирование и моделирование ситуаций, необходимые для принятия решений;
- оценка рисков негативного воздействия опасных природных и техногенных воздействий на экосистему, инфраструктуру и население.

В ИВМиМГ разработаны численные методы и программы природоохранного моделирования и прогнозирования [Пененко, 2021 ; и ранее]. В частности, созданы методы идентификации источников загрязнений на основе операторов чувствительности по данным измерений. Их целью является восполнение недостатка информации об изучаемых процессах на основе совместного использования математических моделей и данных наблюдений. Разработаны специализированные экспериментальные версии для применения: в системах мониторинга и прогноза качества (загрязнения) атмосферы городов и промышленных районов; в системах обработки экспериментальных данных для изучения процессов развития живых систем.

В ИВМиМГ разработаны методы оптимального размещения элементов сети природоохранного мониторинга с оценкой надёжности такой сети и её пропускной способности [Родионов, Токтошов, 2020].

Одной из компонент ИП является специализированная ГИС-оболочка для визуализации и моделирования геопространственных данных ITRIS (Integrated Tsunami Research and Information System), разработанная в ИВМиМГ [Маринин, 2021 ; и ранее]. Система ITRIS применялась для моделирования распространения волн цунами в море и на водохранилищах, для оценки цунамириска [Гусяков, 2020] (см. http://tsun.sccc.ru/IMP_wld_proj.htm).

В ИВМиМГ функционирует центр коллективного пользования «Сибирский суперкомпьютерный центр СО РАН», деятельность которого характеризуют следующие показатели:

- суммарная производительность вычислительных кластеров — 200 Терафлопс;
- более 200 пользователей из 24 организаций;
- в год пользователями выполняется более 100 НИР на общую сумму более 700 млн рублей.

К этапам разработки и внедрения ИП относятся:

- создание приборной сети мониторинга;
- разработка на её основе информационно-экспертной системы мониторинга и прогнозирования экологической ситуации;
- подготовка и запуск программы подготовки научных и инженерных кадров;
- создание возможности для расширения функциональных возможностей ИП для новых объектов мониторинга и прогнозирования.

На основе разработанной ИП может быть создан ситуационный центр по экологическому мониторингу и природоохранному прогнозированию в регионе. В кооперации институтов Сибирского отделения РАН с научно-образовательными организациями Севастополя возможно разместить пилотный вариант ИП в Крыму и создать возможность для её внедрения в других регионах страны.

Особенности распределения Ва и Мп в почвах геохимических ландшафтов Черноморского побережья России

Матасова И. Ю.

Новороссийский учебный и научно-исследовательский морской биологический центр (филиал)
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», Новороссийск, Россия

biozentr@yandex.ru

Основой для изучения особенностей распространения бария и марганца в почвах ландшафтов Черноморского побережья России стали результаты комплексного изучения юга России, включающие ландшафтно-геохимическое картографирование территории, полевые работы, лабораторные исследования, камеральную обработку и интерпретацию полученных результатов [Дьяченко, Матасова, 2019].

При проведении полевых работ на территории Черноморского побережья России в соответствии с масштабом исследований (1:500000) были заложены полевые маршруты по сети 5–7 × 5–10 км. На участках с частой сменой ландшафтно-геохимических условий сеть наблюдений сгущалась. На протяжении маршрутов и на точках наблюдения проводилось описание основных ландшафтно-геохимических особенностей, которые учитываются при выделении ландшафтов на различных классификационных уровнях. Также на каждой точке опробования брался образец почвы из верхнего почвенного горизонта (отобрано более 500 образцов почв); по возможности на каждой точке опробования брались образцы горных пород (около 200). В пределах основных геохимических ландшафтов Черноморского побережья России детально опробовались все почвенные горизонты, для этого в пределах ландшафтов были пройдены шурфы.

Обработка проб и подготовка их к анализу проводились по стандартной методике. После подготовки проб проводились аналитические работы, включающие следующие виды анализов: эмиссионный спектральный анализ почв и горных пород (число элементоопределений составило более 20000) и химический анализ почвенных проб.

Пробы, отобранные в одинаковых ландшафтах, объединялись в отдельные выборки. Затем выборки подверглись стандартной статистической обработке, которая проводилась с учётом особенностей ландшафтно-геохимического строения территории Черноморского побережья России. В результате были выявлены особенности распространения химических элементов в горных породах и почвах ландшафтов региона — среднее (фоновое) содержание, колебание среднего, среднеквадратическое отклонение, дисперсия, минимально аномальные концентрации.

Для выявления региональных особенностей распределения элементов использовались значения фоновых концентраций для почв Северо-Западного Кавказа [Дьяченко, Матасова, 2012].

Выявление геохимических аномалий и аномальных участков проводилось в соответствии с принятой методикой.

В гумусовом горизонте почв ландшафтов региона средние (фоновые) концентрации бария колеблются в пределах от $60,0 \cdot 10^{-3}$ до $108,3 \cdot 10^{-3}$ %. Кларк элемента для почв — $(72,0 \pm 0,03) \cdot 10^{-3}$ %.

На изучаемой территории России среди исследованных биогенных ландшафтов преобладают ландшафты с концентрацией Ва на уровне регионального кларка (57,1 %), среди техногенных — с концентрацией элемента на уровне регионального кларка (70 %). Максимальное содержание Ва отмечено в гумусовом горизонте почв техногенного полеводческого ландшафта с однолетними культурами, сформировавшегося над карбонатно-терригенными породами неогенового

возраста; минимальное — в верхнем почвенном горизонте ландшафта виноградников, развитого в среднегорной области над терригенными породами неогенового возраста. Участки с повышенным содержанием металла (выше кларка в 1,2 и более раз) выделены в районе Большого Сочи и центральной части участка исследований (биогенные ландшафты), а также в районе от г. Анапы до г. Новороссийска (техногенные ландшафты).

В биогенных ландшафтах наиболее обогащёнными Ва являются горизонты А и С (от $48 \cdot 10^{-3}$ до $55 \cdot 10^{-3}$ %). В пределах техногенных ландшафтов наибольшая концентрация металла наблюдается в верхнем гумусовом горизонте ($60 \cdot 10^{-3}$ %), с глубиной концентрация металла в почвенных горизонтах уменьшается (до $30 \cdot 10^{-3}$ % в горизонте С).

На исследуемой территории выделена всего одна зона с аномально высокими (в 2,1–2,4 раза выше фона) концентрациями Ва в почвах; расположена она в юго-восточной части района работ.

В почвах ландшафтов Черноморского побережья России содержание Mn изменяется в широком диапазоне от $68,0 \cdot 10^{-3}$ до $201,4 \cdot 10^{-3}$ % при кларке для почв $(100 \pm 0,06) \cdot 10^{-3}$ %. При этом наиболее низкие концентрации металла (от $68,0 \cdot 10^{-3}$ до $103,0 \cdot 10^{-3}$ %) отмечаются в почвах полеводческих ландшафтов, сформировавшихся в равнинной зоне побережья на Таманском полуострове, а самая низкая концентрация металла зарегистрирована в почвах полеводческого мелioriруемого трансупераквального ландшафта с терригенными аллювиальными породами четвертичного возраста. В почвах биогенных ландшафтов концентрация Mn составляет от $107,5 \cdot 10^{-3}$ до $201,4 \cdot 10^{-3}$ %. Максимальная концентрация металла отмечена в почвах трансупераквального ландшафта лиственных лесов с карбонатно-терригенными породами палеогенового-мелового возраста. В целом на территории Черноморского побережья России среди исследованных биогенных ландшафтов преобладают ландшафты с концентрацией элемента выше регионального кларка (64,3 %), среди техногенных — с концентрацией элемента ниже уровня регионального кларка (50 %) или на уровне кларка (50 %).

Антропогенные процессы, связанные с выращиванием сельскохозяйственных культур на территории Черноморского побережья России, приводят к выносу элемента из почв (вероятнее всего, с сельскохозяйственной продукцией). В почвах 80 % исследованных техногенных полеводческих ландшафтов концентрация Mn в 1,2–1,5 раза ниже кларка; в почвах же подавляющего числа биогенных ландшафтов (93 %) концентрация элемента превышает кларк в 1,4 и более раз. Составленная карта фоновых содержаний Mn в гумусовом горизонте почв ландшафтов показала постепенное уменьшение содержания элемента в почвах ландшафтов региона с юго-востока к северо-западу.

По профилю почв биогенных и техногенных ландшафтов Mn распределён следующим образом: концентрация металла постепенно увеличивается от горизонта С (от $33,0 \cdot 10^{-3}$ до $39,0 \cdot 10^{-3}$ %) к горизонту А (от $75 \cdot 10^{-3}$ до $120 \cdot 10^{-3}$ %).

Аномалии марганца на территории Черноморского побережья России выделены в его юго-восточной части. При этом одна из аномалий, расположенная в высокогорной части побережья, пространственно совпадает с рудопроявлениями Hg, Zn–Pb, Cu. Концентрация элемента в пределах аномалий в 1,8–6,4 раза выше фона.

Изучение особенностей распространения бария и марганца в горных породах Черноморского побережья России показало следующее: содержания элементов в гумусовом горизонте почв биогенных ландшафтов колеблются в более широком диапазоне величин, чем в горных породах, что может свидетельствовать о процессах аккумуляции элементов в почвах биогенных ландшафтов.

Коррекция данных флуоресценции, регистрируемой погружными датчиками, на основе контактных измерений

**Моисеева Н. А.¹, Чурилова Т. Я.¹, Скороход Е. Ю.¹, Ефимова Т. В.¹, Землянская Е. А.¹,
Артемов В. В.²**

¹ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

²Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

moiseeva@ibss-ras.ru

В природных водоёмах проводят измерения профиля флуоресценции (F), используя погружные датчики, укрепленные на гидрологическом комплексе (STD), который измеряет глубину, температуру и солёность. Помимо гидрологических комплексов, для определения F используют дрейфующие буи, которые позволяют проводить измерения вертикальных профилей гидрофизических/гидрохимических параметров, в том числе флуоресценции хлорофилла а, в автономном режиме. Величина интенсивности флуоресценции, регистрируемая погружным зондом, под действием солнечного света снижается из-за возникаемого тушения флуоресценции (фотохимического и нефотохимического) как адаптационного механизма защиты клетки от переизбытка энергии. В результате воздействия света часть реакционных центров фотосистемы 2 (далее — РЦ ФС 2) находятся в закрытом состоянии и не способны поглощать свет. Именно поэтому для использования данных, измеренных профилирующими зондами и дрейфующими буями, необходимо проводить коррекцию на долю неактивных РЦ ФС 2. Цель данной работы заключается в установлении связи влияния солнечного света (ФАР) на долю открытых РЦ ФС 2, необходимой для коррекции профиля интенсивности флуоресценции, регистрируемого погружными датчиками в светлое время суток.

Для анализа взяты данные, полученные в 79-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в водах Атлантического сектора Антарктики. Установлена экспоненциальная зависимость, между долей открытых РЦ ФС 2 и интенсивностью ФАР на поверхности моря и проникающей на глубину. На основе этой зависимости разработан алгоритм коррекции тушения флуоресценции хлорофилла а в верхнем перемешанном слое акватории. Использование алгоритма позволяет восстанавливать профиль «реальной» флуоресценции ($F_{\text{реал}}$) хлорофилла а.

В результате коррекции тушения флуоресценции получено, что $F_{\text{реал}}$ превышает измеренную F в пределах всего ВКС. Наибольшие различия между $F_{\text{реал}}$ и F получены в поверхностном слое ($\approx 40\text{--}50\%$). Таким образом, использование разработанного авторами алгоритма привело к увеличению флуоресценции в поверхностном слое в $\sim 1,4\text{--}1,5$ раза. Корректность вносимого изменения зависит от точности оценки световых условий.

Работа выполнена по теме государственного задания № 121040100327-3, а также по теме «Комплексные исследования современного состояния экосистемы Атлантического сектора Антарктики» (№ гос. регистрации АААА-А19-119100290162-0) и при поддержке госзадания № 0128-2019-0008. Анализ оптических данных произведён при поддержке гранта РФФИ № 19-55-45024 ИНД_а.

Сорбционно-биологический способ очистки и восстановления нефтезагрязнённых прибрежных территорий арктических морей

Мязин В. А.

Институт проблем промышленной экологии Севера — обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук», Апатиты, Россия

v.myazin@ksc.ru

В последние годы Арктический регион становится центром пересечения национальных интересов арктических государств, что ведёт к выстраиванию новой системы глобальной и региональной безопасности. Сосредоточенные в Арктике запасы природных ресурсов, в первую очередь углеводородов континентального шельфа, обуславливают конкуренцию за их освоение и эксплуатацию, включая контроль над шельфовой зоной арктических морей.

Месторождения углеводородов на шельфе Баренцева и Карского морей являются стратегическим резервом нефтегазового комплекса Российской Федерации на долгосрочную перспективу. В то же время Арктика — область с чрезвычайно ценным биоразнообразием, а рост и расширение инфраструктуры, промышленной деятельности и эксплуатации ресурсов могут нанести непоправимый ущерб уязвимым экосистемам этого региона. Развитие Северного морского пути является ещё одним фактором риска нефтяного загрязнения прибрежных территорий арктических морей.

Все механические, термические и химические методы, используемые в настоящее время для очистки прибрежной зоны от загрязнения нефтью, являются дорогостоящими и не всегда эффективными. Для восстановления прибрежных экосистем после очистки от нефти может потребоваться длительное время. Именно поэтому наиболее перспективный метод восстановления загрязнённых нефтью прибрежных территорий, причём как с экономической, так и с экологической точки зрения, — это биотехнологический подход, который основан на естественных процессах, происходящих в окружающей среде.

Для оценки эффективности методов биоремедиации был проведён ряд лабораторных исследований.

В качестве субстратов были взяты прибрежная почва и песок с побережья Печенгского залива (Баренцево море). Как загрязняющее вещество использовали водонефтяную эмульсию, приготовленную из нефти трёх типов: лёгкой, средней и тяжёлой. Соотношение нефть : вода — 1 : 10. Перед приготовлением водонефтяной эмульсии из нефти удаляли летучие компоненты путем её нагрева до температуры +200 °С в течение 2 ч. После такой обработки нефть по своим характеристикам соответствовала нефти, находящейся на поверхности воды в течение 2 месяцев. Для приготовления водонефтяной эмульсии использовали морскую воду с солёностью 22 ‰.

Водонефтяную эмульсию разных типов нефтей вносили в субстраты (почва и песок) и тщательно перемешивали. Загрязнённые субстраты раскладывали в контейнеры в равном количестве. Исходное содержание углеводородов после загрязнения составляло от 2831 до 4677 мг·кг⁻¹ для разных типов нефти в песке и от 2159 до 4981 мг·кг⁻¹ в почве.

В загрязнённые субстраты вносили сорбенты (торф, гранулированный активированный уголь (далее — ГАУ) и термоактивированный вермикулит) совместно с минеральными удобрениями и ассоциацией углеводородокисляющих микроорганизмов, в основе которой — штаммы, выделенные из загрязнённых и фоновых участков побережья Баренцева моря. Сорбенты использовали

в следующих количествах (% от массы субстрата): торф — 5; ГАУ — 1; вермикулит — 0,5. Количество минеральных удобрений — из расчёта соотношения С : N : P : K в грунте — 70 : 1 : 0,5 : 1. Микробный препарат (плотность суспензии $\times 10^7$ кл·мл⁻¹) — в количестве 2 мл на 100 г.

Исследования проводили при постоянной температуре +10 °С. Почву и песок в контейнерах периодически увлажняли и 2 раза в месяц перемешивали.

Результаты исследования показали, что использование сорбентов при проведении биоремедиации позволяет за три месяца увеличить скорость очистки песка на 34–47 % для лёгкой, на 26–28 % — для средней, на 16–27 % — для тяжёлой нефти. Биодegradация в вариантах с лёгкой нефтью в первые два месяца протекает более интенсивно, чем с более тяжёлыми типами нефти, чего ранее не отмечалось без использования сорбентов. Наиболее эффективным оказалось внесение ГАУ. В этих вариантах также зарегистрировано максимальное значение активности дегидрогеназы. Через три месяца произошло изменение соотношения углеводов и высокомолекулярных компонентов нефти неуглеводородной природы: отмечена тенденция к увеличению доли высокомолекулярных соединений и уменьшению доли нефтяных углеводов.

По результатам проведённого исследования, эффективность сорбционно-биологической очистки прибрежной почвы отмечена только при загрязнении эмульсией лёгкой нефти; значение составило 31–42 %. Максимальный эффект зарегистрирован при внесении в загрязнённую почву ГАУ. В случае попадания на прибрежную почву эмульсий средней и тяжёлой нефти внесение сорбентов не оказало значимого влияния на содержание углеводов. Увеличение активности почвенной дегидрогеназы во всех вариантах сразу после загрязнения свидетельствует о наличии мощного пула микроорганизмов, способных использовать углеводороды для своего роста. В данных условиях экономически и экологически эффективным приёмом очистки будет биостимуляция, основанная на внесении на загрязнённый прибрежный участок минеральных удобрений. Использование сорбентов может быть оправданно для предотвращения миграции и вымывания углеводов и продуктов их трансформации на сопредельные незагрязнённые участки.

В целом применение сорбентов оказало положительное влияние на эффективность биоремедиации: увеличилась степень очистки прибрежных субстратов и активность почвенной дегидрогеназы, что свидетельствует о процессах биологической трансформации углеводов. Достоверной разницы между использованными сорбентами не выявлено, поэтому допускается применение каждого из них в зависимости от доступности и экономической целесообразности.

Оценка эффективности ассоциаций углеводородокисляющих микроорганизмов показала, что наиболее эффективно осуществляют деструкцию нефти препараты, содержащие как бактерии, так и микроскопические грибы.

Методы биоремедиации (сорбционно-биологические и биостимуляция) могут применяться как альтернатива традиционным методам очистки при содержании углеводов в грунте не более 20000 мг·кг⁻¹, что позволит избежать дополнительного негативного воздействия на загрязнённый участок, а также использоваться на этапе доочистки и восстановления территории после сбора нефтепродуктов при высоких исходных концентрациях углеводов в грунте. Завершающим этапом восстановления загрязнённой прибрежной территории станет посев устойчивых растений — фиторемедиация.

Работа выполнена при финансовой поддержке международного проекта «Биоремедиация арктического побережья» (КО 1001) в рамках программы приграничного сотрудничества «Коларктик 2014–2020», а также в рамках темы НИР по госзаданию АААА-А18-118021490070-5.

Углеводороды в донных отложениях городских озёр г. Мурманска

Мязин В. А.

Институт проблем промышленной экологии Севера — обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук», Апатиты, Россия

v.myazin@ksc.ru

Водоёмы, расположенные в черте города, всегда подвержены сильному негативному воздействию со стороны человека. Находясь в естественных понижениях местности, они принимают в себя загрязнённые стоки с прилегающих территорий. Зачастую в них осуществляются постоянные или регулярные сбросы с предприятий, а по берегам возникают стихийные мусорные свалки.

В Арктической зоне негативные воздействия на водные экосистемы имеют более выраженные последствия. Сложные природно-климатические условия способствуют высокой уязвимости и значительно снижают скорость естественного восстановления экосистем, особенно в случае постоянного воздействия техногенеза.

Одним из распространённых видов загрязнения водных объектов является загрязнение нефтью и нефтепродуктами. Нефтяные углеводороды (далее — НУ) относятся к числу загрязняющих веществ, склонных к накоплению в донных отложениях (далее — ДО) благодаря высокой сорбционной способности входящих в их состав компонентов, особенностям фракционирования при попадании в водный объект, биохимической устойчивости и аккумуляции.

Проведённые ранее исследования показали, что наибольшие концентрации НУ характерны для ДО озёр, находящихся в городской черте или в районе влияния промышленных предприятий. В ДО таких водоёмов может накапливаться до $10000 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$ НУ. При этом изучению озёр урбанизированных территорий Арктической зоны на сегодняшний день уделено недостаточно внимания. В то же время среди шести самых крупных городов мира, расположенных за Северным полярным кругом, пять находятся на территории Российской Федерации, в частности на территории Мурманской области, где наряду с высоким уровнем урбанизации отмечается высокая концентрация промышленно развитых территорий.

Пробы ДО были отобраны ковшом Ван Вина из поверхностного слоя отложений 0–10 см в семи озёрах, расположенных в г. Мурманске: Северном ($69^{\circ}01'58.0''\text{N}$, $33^{\circ}07'04.0''\text{E}$), Семёновском ($68^{\circ}59'28.8''\text{N}$, $33^{\circ}05'24.5''\text{E}$), Среднем ($68^{\circ}58'51.7''\text{N}$, $33^{\circ}07'13.8''\text{E}$), Окуновом ($68^{\circ}57'00.8''\text{N}$, $33^{\circ}07'37.0''\text{E}$), Южном ($68^{\circ}53'03.2''\text{N}$, $33^{\circ}04'31.2''\text{E}$), Ледовом ($68^{\circ}55'58.0''\text{N}$, $33^{\circ}06'18.9''\text{E}$) и Треугольном ($68^{\circ}58'05.1''\text{N}$, $33^{\circ}00'10.5''\text{E}$).

Содержание НУ в пробах ДО варьировало от 936 до $17151 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$. Максимальное содержание НУ отмечено в озёрах Ледовое и Северное. Эти озёра расположены рядом с оживлёнными автомагистралями и испытывают большую антропогенную нагрузку. В отложениях озера Окуновое содержание НУ было минимальным и не превышало $963 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$. Это озеро расположено на некотором расстоянии от потенциальных источников загрязнения и испытывает меньшую антропогенную нагрузку.

Для оценки степени загрязнения ДО озёр г. Мурманска необходимо сопоставить полученные данные с нормативными величинами ПДК или фоновым содержанием НУ в исследуемом регионе.

Нормативы содержания НУ в донных отложениях для Мурманской области на сегодняшний день не разработаны. Однако данные нормативы существуют для отдельных регионов РФ.

Так, опираясь на Постановление Правительства Ханты-Мансийского автономного округа — Югры № 441-п от 10.11.2004 «Об утверждении регионального норматива “Предельно допустимый уровень содержания нефти и нефтепродуктов в донных отложениях поверхностных водных объектов на территории Ханты-Мансийского автономного округа — Югры”», обследованные озёра г. Мурманска можно отнести к водным объектам с резким угнетением донной экосистемы, так как содержание НУ в отложениях превышает $500 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$.

Согласно новому Постановлению Правительства Ханты-Мансийского округа — Югры, № 432-п от 23.11.2018 «О нормативе “Допустимое остаточное содержание нефти и нефтепродуктов в донных отложениях после проведения восстановительных работ на водных объектах Ханты-Мансийского автономного округа — Югры”», которое вступает в силу в 2022 г., допустимое содержание НУ в минеральных ДО составляет $200 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$, в органогенных отложениях — $4000 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$, в смешанных отложениях — $560 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$. Руководствуясь данным документом, можно заключить, что содержание НУ в верхних слоях ДО озёр г. Мурманска превышает установленные нормативы в 2–6 раз.

Согласно региональному нормативу «Нормы и критерии оценки загрязнённости донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга» от 22.07.1996, выделяется 4 класса загрязнённости ДО: слабозагрязнённые ($180\text{--}1000 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$), умеренно загрязнённые ($1000\text{--}3000 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$), сильно загрязнённые ($3000\text{--}5000 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$) и опасно загрязнённые (более $5000 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$). Водные объекты, где содержание НУ в ДО менее $180 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$, относят к чистым. После пересчёта полученных значений (с учётом содержания органического вещества и глинистой фракции в ДО) озёра г. Мурманска можно отнести к слабозагрязнённым (озёра Северное, Среднее, Окунево, Южное и Треугольное), умеренно загрязнённым (оз. Семёновское) и опасно загрязнённым (оз. Ледовое).

При отсутствии установленного норматива уровень загрязнения ДО можно оценить по фоновым показателям содержания нефтепродуктов. Известно, что поверхностный слой ДО характеризует современную нагрузку на озеро, а более глубокие слои (обычно глубже 20–25 см) отражают природные фоновые концентрации [Даувальтер, 2012]. Полученные данные о распределении НУ по глубине ДО позволяют сделать предварительный вывод о фоновом содержании органических соединений, идентифицируемых как НУ, в ДО озёр г. Мурманска — до $760 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$. Столь высокие фоновые концентрации могут быть обусловлены наличием в ДО большого количества слабоминерализованного органического вещества автохтонного и аллохтонного происхождения. Зачастую подобные органические соединения при валовом определении углеводов методом ИК-спектрометрии идентифицируются как «нефтепродукты».

Установлено, что по содержанию углеводов в ДО оз. Ледовое можно отнести к опасно загрязнённому, а остальные исследованные озёра — к слабозагрязнённым. В то же время необходимо отметить, что нормативы содержания НУ в ДО, разработанные для других регионов, дают неоднозначную оценку содержания НУ в ДО озёр г. Мурманска. Наиболее корректным может быть применение регионального норматива «Нормы и критерии оценки загрязнённости донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга», в котором учитывается содержание в ДО органического вещества. Также не совсем корректно использовать для оценки степени загрязнённости фоновые содержания НУ в ДО озёр других регионов. Для более точного определения фоновых концентраций НУ необходимо провести исследования озёр Мурманской области, находящихся на значительном удалении от населённых пунктов и не испытывающих антропогенного воздействия, и установить долю «природных» и «антропогенных» углеводов в осадках.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 19-77-10007 «Экологическая оценка и прогноз устойчивого функционирования водных экосистем урбанизированных территорий в Арктической зоне».

Экологическая реабилитация водно-болотных экосистем в рамках функционирования карбонового полигона в Калининградской области

Напреенко М. Г.^{1,2}, Самерханова А. К.³, Анциферова О. А.⁴, Напреенко-Дорохова Т. В.^{1,2}

¹Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

²Балтийский федеральный университет имени И. Канта, Калининград, Россия

³Природный парк «Виштынецкий», Россия

⁴Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

maxnpr@gmail.com

В целях реализации национального плана по адаптации к изменениям климата в 2021 г. в 7 регионах Российской Федерации запущен пилотный проект по созданию карбоновых полигонов — территорий для разработки и испытаний технологий контроля углеродного баланса различных природных и антропогенно изменённых ландшафтов. Одним из регионов, где осуществляется данный проект, стала Калининградская область.

На территории области был определён ряд участков, перспективных для исследования потоков климатически активных газов и являющихся репрезентативными для региона с географической точки зрения. Сюда вошли несколько природных комплексов, включающих различные типы экосистем: лесные, болотные, сельхозугодья, отдельные морские и лагунные участки.

Для реализации самых первых шагов программы карбонового полигона, связанных с измерением потоков парниковых газов и тестированием технологий секвестрации (связывания и захоронения) углерода, были отобраны две площадки — морская (метановая аномалия на дне Балтийского моря у берегов Калининградской области) и сухопутная (осушенный торфяник «Виттгирренский» в центральной части области, использовавшийся под торфодобычу).

В качестве одной из самых распространённых технологий углеродной секвестрации в последние два десятилетия в ряде стран хорошо зарекомендовали себя технологии вторичного заболачивания, которые при правильном управлении позволяют осуществлять экологическую реабилитацию болотных экосистем и возвращать им утраченные экологические функции.

Опыт подобной работы позволил наметить несколько направлений развития деятельности по сохранению водно-болотных и лесных экосистем в рамках создаваемого в регионе карбонового полигона.

1. Проекты экологической реабилитации нарушенных болотных экосистем. Главная идея состоит в восстановлении водного режима уже трансформированной болотной экосистемы для создания условий естественного развития растительности и торфообразовательного процесса.

Реализация этой идеи позволяет решать как природоохранные задачи, так и чисто практические, в первую очередь минимизировать опасность торфяных пожаров. Впоследствии на восстановленных торфяниках возможно развитие и других видов хозяйственной деятельности (выращивание ягод и биомассы, экотуризм).

Примером является пилотный проект «PEATRUS — Восстановление торфяных болот в России в целях предотвращения пожаров и смягчения изменений климата», реализуемый на двух заброшенных торфоместорождениях, «Виттгирренском» и «Вишнёвом», и финансируемый из международных и общероссийских программ. В перспективе его развитие должно стать предметом

деятельности региональных властей и предпринимательского сообщества в Калининградской области.

2. Проекты по управлению торфяниками для развития болотного растениеводства в целях удержания биогенов призваны развивать новую форму земледелия — болотное растениеводство — в районах, где сельское или лесное хозяйство ограничено из-за высоких издержек на осушительную мелиорацию. Проекты направлены на восстановление нарушенных болот и на вовлечение естественных водно-болотных угодий в управляемое природопользование на участках формирования речного стока.

Главный экологический смысл этих проектов заключается в обеспечении функционирования естественных водно-болотных экосистем, имеющих большую способность фиксации и удержания основных биогенов — азота и фосфора, вызывающих эвтрофикацию. Болотное растениеводство позволяет удалять биогенные вещества, вовлечённые в фитомассу болотных растений, в ходе её укоса и использования, чем определяется значительный практический вклад в сокращение биогенных нагрузок на речные системы. В случае грамотного управления проект позволяет сохранить и даже приумножить биоразнообразие болотных экосистем.

Это направление представлено в Калининградской области международным проектом «DESIRE — Развитие устойчивого управления торфяниками путём их восстановления и выращивания биомассы для удержания питательных веществ и осуществления других экосистемных услуг в водосборном бассейне реки Неман».

Функционирование карбоновых полигонов, таким образом, открывает возможности как для выполнения исследовательских и прикладных задач, так и для внедрения новых форм сохранения водно- и лесо-болотных комплексов с участием различных заинтересованных сторон.

Публикация подготовлена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках пилотного проекта по созданию полигонов для разработки и испытаний технологий контроля углеродного баланса (Приказ Минобрнауки России от 5 февраля 2021 г. № 74).

Сканеры цвета океана как инструмент оценки состояния экосистем прибрежных вод

Скороход Е. Ю., Чурилова Т. Я., Моисеева Н. А., Ефимова Т. В., Землянская Е. А.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

elenaskorokhod@ibss-ras.ru

Прибрежные воды в значительной степени подвержены антропогенному воздействию. Большая часть загрязнителей в океан попадает вместе с береговым стоком (поверхностным стоком и сточными водами). В малых количествах биогенные элементы, обогащая воду, положительно влияют на развитие фитопланктона, а большие концентрации приводят к негативным изменениям в экосистеме. В основу многих моделей заложена концентрация хлорофилла как основного фотосинтетически активного пигмента.

Получать в реальном времени значения концентрации хлорофилла и других ключевых показателей продуктивности вод на больших площадях можно с помощью дистанционного зондирования Земли из космоса. Спутниковые сканеры цвета фиксируют разницу между падающим и восходящим излучением на разных длинах волн, называемую коэффициентом спектральной яркости.

Пигменты фитопланктона, окрашенное растворённое органическое вещество, неживая взвесь и чистая вода являются основными оптически активными компонентами среды, обуславливающими форму спектра восходящего сигнала. В основу большинства стандартных алгоритмов расчёта оптически активных компонентов по спутниковому сигналу заложены биооптические характеристики океанических вод (case-1), содержащих в себе малое относительно фитопланктона количество окрашенного растворённого органического вещества. Однако вклад оптически активных компонентов в общее поглощение света меняется не только пространственно, но и на протяжении всего годового цикла развития фитопланктона.

Для возможности использования данных дистанционного зондирования Земли из космоса необходимо убедиться в их точности. Для этого было выполнено сравнение продуктов Level-2 действующих сканеров цвета MODIS (на ИСЗ Terra с 2000 г. и Aqua с 2002 г.) и VIIRS (на Suomi-NPP с 2012 г.) с результатами натурных измерений. Оказалось, что стандартные алгоритмы NASA неприменимы для прибрежных вод Чёрного моря [Скороход, 2021].

В связи с этим были проанализированы данные с действующего сканера цвета OLCI (на ИСЗ Sentinel-3A с 2016 г. и Sentinel-3B с 2018 г.), обладающего не только лучшим пространственным разрешением (полное пространственное разрешение ~ 0,3 км против ~ 1 км у MODIS и VIIRS), но и специально разработанным нейросетью алгоритмом NN для комплексных вод (case-2).

Исследование показало, что, вопреки ожиданиям, специально разработанный для комплексных вод алгоритм NN дал результаты хуже, чем стандартный алгоритм OC4 (для вод case-1). На протяжении всего года значения спутниковых продуктов оказались преимущественно ниже *in situ* и не отображали сезонный ход.

Использование данных дистанционного зондирования Земли из космоса действительно открывает широкие возможности для научных исследований, составления прогнозов и оценки состояния прибрежных экосистем, однако для этого необходимо развитие региональных алгоритмов, основанных на биооптических характеристиках конкретных акваторий.

Исследования проведены в рамках выполнения темы госзадания ФИЦ ИнБЮМ № 121040100327-3 и гранта РФФИ № 18-45-920070.

Коса Долгая — уникальный природный объект Азовского моря: итоги экспедиции Русского географического общества 2021 г.

Степаньян О. В., Матишов Г. Г.

Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук, Ростов-на-Дону,
Россия

olegstepanian@gmail.com

Коса Долгая — памятник природы для сохранения уникальных форм рельефа и связанных с ним природных ландшафтов и охраны редких видов растений, ключевая орнитологическая территория для сохранения местообитаний разнообразных видов птиц в период гнездования, линьки, на зимовке или отдыхе во время миграций (в том числе малой крачки, кулика-сороки, морского зуйка, черноголового хохотуна, черноголовой чайки, шилоклювки). Это один из основных рекреационных ресурсов Ейского района и Краснодарского края. В летний период в это замечательное место устремляются тысячи отдыхающих со всей нашей страны и ближнего зарубежья. Мелководное и хорошо прогреваемое море позволяет начинать купальный сезон раньше, чем на черноморском побережье, а сильные ветра и отличные волны сделали это место любимым для активного отдыха.

В июне — июле 2021 г. под эгидой Русского географического общества проведена комплексная экспедиция Южного научного центра РАН. В состав экспедиции входили географы, литологи, гидрологи, палеонтологи, почвоведы, ГИС-специалисты. Цель полевых исследований — изучение механизмов и факторов образования и трансформации кос Азовского моря и разработка средств и подходов для создания прогнозов дальнейшего развития его прибрежной зоны в связи с изменением уровня режима и климата (на примере косы Долгой). Полевые исследования выполнялись с использованием современных методик и оборудования на основе комплексного подхода с привлечением специалистов по различным направлениям. В соответствии с поставленной целью в ходе проведения экспедиционных исследований решались следующие задачи:

- с помощью БПЛА проводилась аэрофотосъёмка районов косы Долгой, для последующего составления ортофотопланов и цифровых моделей рельефа;
- осуществлялась закладка контрольных геодезических точек для фиксации мест бурения скважин, привязки ортофотопланов и измерения морфометрических параметров береговых валов, формирующих аккумулятивное тело косы;
- проводилось измерение полей течений с помощью буйковой станции Aanderaa RCM 9LW;
- с целью изучения геологического строения на различных участках косы Долгой проведены буровые работы с отбором керна;
- на мелководных участках акватории Азовского моря, граничащих с косой Долгой, с поверхностного горизонта дна проведён отбор проб донных отложений и донных организмов;
- проведён отбор раковинного материала по вертикали вскрытых геологических разрезов для определения абсолютного возраста береговых валов радиоуглеродным методом;
- проведено биостратиграфическое (малакологическое) изучение обнажений, сложенных песчано-ракушечными отложениями, на площади косы Долгой и её островной части.

Комплексные экспедиционные исследования были проведены на площади косы Долгой с прилегающими участками акватории Азовского моря; наземная часть экспедиции — от коренного уступа косы Долгой (район озера Лебединого) до её дистального окончания; морская часть экспедиции — участки морской акватории, граничащие с западным и восточным берегами косы Долгой, а также её островная часть.

Геологические исследования. На различных участках косы было пробурено 6 скважин с отбором керн. Всего в ходе проведения буровых работ было пройдено 119,7 пог. м. Максимальная глубина пробуренной скважины составила 23 м, а минимальная — 15,5 м.

Исследование отложений островов косы Долгая. Выполнено описание морфологического строения островов, примыкающих к косе Долгая. Отложения шурфа, заложенного на острове, сформированы преимущественно из створок раковин моллюсков, ракушечного детрита и ракушечного песка при небольшом количестве аллювиальных песков в нижней части профиля. Микрорельеф острова отличается значительной динамикой и формированием грядовых цепочек и валов, простирающихся параллельно береговой линии. Предположительно, важнейшую роль играют волновое воздействие и перемещение наносов, а также отчасти эоловый фактор перемещения материала.

Изучение микрорельефа прибрежной зоны. Построены профили рельефа, которые позволили уточнить расположение ранее выявленных береговых валов, а также обнаружить новые валы, не выявленные в ходе визуального осмотра местности.

Палеонтологические исследования. Были обследованы геологические разрезы на протяжении около 5 км вдоль западного побережья Ейского полуострова южнее станицы Должанской (со стороны Азовского моря). Обнажённость разрезов полная, что говорит о постоянной и достаточно равномерной береговой абразии. В обнажениях вскрываются субэральные отложения лёссово-почвенной серии, включая несколько погребённых почв, которые предварительно можно интерпретировать как мезинский педокомплекс (начало позднего неоплейстоцена) и каменный педокомплекс (конец среднего неоплейстоцена). Можно предположить, что низы террасы, к которой примыкает коса Долгая, датируются второй половиной неоплейстоцена (около 240–200 тыс. л. н.). В ходе предварительного осмотра слоёв остатков *in situ* ископаемых организмов не было обнаружено. На осыпи была найдена нижняя челюсть суслика *Spermophilus* sp., которые в настоящее время в районе Ейского полуострова не обитают. Можно предположить, что остатки грызуна происходят из кротовин, отмеченных в слое валдайского лёсса (ниже современной почвы).

Исследование малакофауны раковинных отложений тела и островов косы Долгой. Практически во всех колонках наибольшее количество раковин присутствовало на глубине до 2,5–3 м в песчано-ракушечных отложениях. Малакофауна в этом интервале глубин преимущественно представлена створками *Cerastoderma* разного размера и степени сохранности. Обычными были крупные обломки *Mytilus galloprovincialis*, створки *Chamelea gallina*, раковины *Tritia*, реже в пробах присутствовали раковины *Bittium*, единично встречались *Hydrobia* и *Theodoxus*, а также призмочные обломки створок Pholadidae. В более глубоких горизонтах моллюски были приурочены к серым илам, а на глубине 20 м и более — к пескам. Исследование островов косы Долгой позволило выявить различия в их строении и структуре. Надводная часть первого от косы острова сложена преимущественно целыми створками раковин, имеет рыхлую сыпучую структуру, легко деформируется в результате волновой активности. Фоновым видом моллюска, створки которого покрывают всю поверхность острова, является *Cerastoderma*, часто встречаются *Mya arenaria* и крупные обломки *Mytilus galloprovincialis*, в зоне прибоя на берегу встречаются целые раковины

этих моллюсков со скреплёнными лигаментом створками. Равномерно по всей площади острова, но в небольшом количестве распределены створки *Chamelea gallina* и *Gastrana fragilis*. *Tritia reticulata* разной степени сохранности является обычным видом. Со стороны Азовского моря часто встречается *Solen vagina*. Створки *Gastrana fragilis* редки. В выбросах была обнаружена раковина пресноводного моллюска *Viviparus viviparus*.

Гидрологические исследования. Проведена гидрологическая съёмка прибрежной части косы Долгой. Выполнено 10 океанографических станций со стороны Таганрогского залива и Азовского моря. Максимальные скорости течений, в соответствии с полем ветра, наблюдались с западной стороны косы и достигали $22\text{--}24\text{ см}\cdot\text{с}^{-1}$. В центральной и северной частях западного берега косы скорости течений понижались до $6\text{--}10\text{ см}\cdot\text{с}^{-1}$. Наименьшая солёность составила 13,2 ПЕС (практических единиц солёности) на станции у коренной части восточного берега. Для средней части восточного берега характерны значения 13,5–13,6 ПЕС. У оконечности, с восточной стороны зафиксированы максимальные значения солёности, превышающие 14 ПЕС.

Выявлено, что количество, размеры и форма аккумулятивных островов косы меняются ежегодно. В 2020 г. зафиксированы GPS-координаты оконечностей двух крупных островов, ближайший к косе имел длину 3,6 км, второй — 1,7 км. В 2021 г. наблюдалась цепь из более мелких островов. Первый имел длину около 0,5 км, второй и третий — около 1,5 км. Первый длинный остров сложен рыхлой ракушкой. В поперечном сечении выделяются до 5 береговых валов. На южной оконечности острова заметны около 10 боковых валов. Второй длинный остров отличает твёрдая поверхность, представляющая собой ракушку, сцементированную птичьим гуано. Твёрдое покрытие и обилие птичьих гнёзд позволяют предположить, что остров меньше размывается и меняет форму в период сильных штормов. С северной оконечности наиболее удалённого острова заметны небольшие повышения суши над водой на расстоянии порядка 2 км в северо-восточном направлении. Съёмки полей течений на протяжении двух лет при разном направлении ветра позволяют сделать вывод о существовании у западного (азовоморского) берега косы постоянного вдольберегового переноса как при западном, так и при восточном ветрах. Если в первом случае такое течение имеет чисто дрейфовую природу, то во втором это компенсационное течение. Такое течение способствует переносу донных осадков с Еленинской и Железинской банок, а также продуктов абразии западного коренного берега. В условиях слабого ($4\text{--}6\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$) восточного ветра характерно преобладание в 2–3 раза скоростей течений с западной стороны относительно восточной. Острова косы ежегодно сильно меняются, при этом дальние, находящиеся на расстоянии около 10 км от дистали косы, имеют более стабильные размеры, расположение и форму.

Орнитологические наблюдения заключались в изучение видового разнообразия, определении наличия/отсутствия редких и охраняемых видов птиц. Проведено картирование выявленных и находящихся на территории и в прилегающих акваториях птиц и их гнёзд. В ходе орнитологических исследований выявлено 60 видов птиц из 13 отрядов: аистообразные, гусеобразные, соколообразные, курообразные, ржанкообразные, голубеобразные, кукушкообразные, совообразные, стрижеобразные, ракшеобразные, удообразные, дятлообразные и воробьинообразные. Орнитокомплекс в летний период представлен в основном гнездящимися видами. При этом доминирующие виды наземных биотопов (кольчатая горлица, домовый воробей, грач и обыкновенный скворец) приурочены к антропогенному ландшафту и встречались в населённых пунктах. Массовые лимнофильные виды (большой баклан, пёстроносая крачка и хохотунья) приурочены к островам и морскому побережью.

Археологические исследования. В ходе визуального осмотра на островной части косы Долгой (координаты точки местонахождения: 46°43'49.14" с. ш. 37°38'24.66" в. д.) в песчано-ракушечных отложениях были обнаружены артефакты, относящиеся к различным археологическим эпохам (II в. до н. э., XIII–XIV вв. н. э.). Археологическая находка, датируемая II в. до н. э., представляет собой верхнюю профильную часть греческой родосской амфоры с клеймом. Находки, относящиеся к XIII–XIV вв., представлены фрагментами гончарных сосудов и амфор. Найденные артефакты, датируемые II в. до н. э., вероятно, происходят из разрушенного береговой абразией раннесарматского кургана (курганная группа Должанская 1). Фрагменты гончарных сосудов и амфор XIII–XIV вв. могут относиться к разрушенным слоям поселений Должанское I или Должанское II. Курганы курганных групп Должанская 1–3 датируются II–I вв. до н. э. и были оставлены носителями раннесарматской археологической культуры — кочевниками, обитавшими зимой поблизости от морского побережья.

Антропогенное воздействие на косу. Отмечены значительные скопления машин и отдыхающих на косе в период проведения экспедиции. На погонный километр приходится до 50 машин и 300 отдыхающих. Превалируют «дикие» отдыхающие одного дня. Большое скопление отдыхающих, в том числе «дикарей», провоцирует образование мусорных очагов в прибрежной зоне. Значительная часть мусора (до 80 %) представлена пластиковыми отходами (пакеты, одноразовая посуда, бутылки, флаконы и т. д.). Отметим, что некоторые птицы (большой баклан и хохотунья) активно используют пластиковый мусор при строительстве гнезд. Это несёт потенциальную угрозу кладкам (перегрев яиц) и птенцам (проглатывание пластиковых частиц при питании), что, несомненно, наряду с фактором беспокойства от отдыхающих, негативно отражается на состоянии популяции этих и других видов птиц, в том числе занесённых в Красную книгу РФ и региональные книги. Были обнаружены и старые свалки мусора, 1950–1960 гг.; они в настоящее время интенсивно разрушаются из-за береговой абразии, а их содержимое попадает в береговую зону.

Участники экспедиции выражают благодарность Пограничному управлению ФСБ России по Краснодарскому краю, МЧС России по Краснодарскому краю, руководству станции Должанской (Ейский район Краснодарского края) за поддержку и помощь при проведении работ.

Экспедиция проходила в рамках проекта Русского географического общества «Берега и косы Азовского моря: прошлое, настоящее и будущее (продолжение Комплексной азовской экспедиции 2019 г.)» № 07/2020-И (№ гос. регистрации АААА-А20-120121490054-7, руководитель — академик Г. Г. Матишов).

Методологические основы для дешифрования данных дистанционного зондирования на основе спектральных биооптических моделей с целью оперативной оценки состояния водных экосистем на основе индикаторов качества и продуктивности вод

Чурилова Т. Я., Ефимова Т. В., Моисеева Н. А., Скороход Е. Ю.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

tanya.churilova@ibss-ras.ru

Для своевременного принятия необходимых мер по сохранению экологических ресурсов водоёмов в условиях возрастающего антропогенного воздействия и изменения климата необходима организация слежения за состоянием водных экосистем в режиме реального времени, что возможно только на основе дистанционных методов мониторинга, с использованием региональных алгоритмов для дешифровки спутниковых данных.

Эмпирически установленные закономерности пространственно-временной изменчивости спектральных биооптических показателей вод, фотосинтетических характеристик фитопланктона и развитые на их основе региональные спектральные модели оценки концентрации хлорофилла *a*, растворённого органического, взвешенного вещества, проникающего в водную толщу спектрального квантового излучения и первичной продукции представляют необходимый научный базис для создания технологии экологического мониторинга и системы оперативного контроля качества среды и продуктивности водных экосистем методами дистанционного зондирования и контактных измерений.

Оперативный экологический мониторинг является экономически эффективным, так как позволяет избежать или минимизировать возможные риски для человека и окружающей среды, а следовательно, предотвратить экономические потери.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Изучение пространственно-временной организации водных и сухопутных экосистем с целью развития системы оперативного мониторинга на основе данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий» (№ 121040100327-3) и при финансовой поддержке гранта РФФИ «Развитие системы оперативного контроля экологического состояния прибрежных вод в районе Севастополя на основе данных дистанционного зондирования Земли из космоса: адаптация региональных алгоритмов оценки показателей продуктивности по спутниковым данным» (№ 18-45-920070).

Влияние дноуглубительных работ на бентосные сообщества в Лужской губе Финского залива

Шацкий А. В., Зуев Ю. А., Суслопарова О. Н.

Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» имени Л. С. Берга), Санкт-Петербург, Россия
shatsky72@yandex.ru

Лужская губа в частности и Финский залив в целом являются важными рыбохозяйственными водными объектами.

Гидротехнические работы по возведению портовых сооружений осуществляются с 1998 г. С 2004 г. активно строятся причалы в юго-восточной части Лужской губы, что сопровождается дноуглубительными работами.

Цель исследования — определить степень влияния дноуглубительных работ в Лужской губе на организмы зообентоса и оценить восстановление донных биоценозов после прекращения гидротехнических работ.

Пробы бентоса отбирались в юго-восточной части Лужской губы в разные периоды воздействия: 1 — до начала дноуглубительных работ (май 2004 г.); 2 — в период производства дноуглубительных работ (май — август 2014, 2015 гг.); 3 — после окончания работ (июнь 2017 г.).

В мае 2004 г., до начала дноуглубительных работ, макрозообентос был представлен олигохетами, личинками хирономид, ракообразными (*Saduria entomon* и *Pontoporeia affinis*), моллюсками (*Limecola balthica* и *Dreissena polymorpha*) и полихетами. Среди хирономид доминировали личинки рода *Chironomus*. Всего было отмечено 50 таксонов. Наибольшим числом видов (15) характеризовалась группа олигохет.

В период проведения гидротехнических работ средние величины обилия более чем на порядок снизились по сравнению с наблюдаемыми здесь фоновыми показателями (до начала производства работ). Так, усреднённые значения биомассы изменялись от 18,82 г·м⁻² (в 2004 г.) до 0,78 г·м⁻² (2013 г.) и 3,73 г·м⁻² (2015 г.). Влияние проводимых работ на качественный состав зообентоса выражалось в ощутимом снижении обилия ряда таксономических групп (ракообразные и личинки комаров-хирономид). Наиболее устойчивыми к повышению мутности воды оказались полихеты *Marenzelleria* sp.: эта группа организмов не только стабильно отмечалась во все периоды исследования, но и демонстрировала ощутимый рост количественных показателей. Сравнение количественных характеристик донных сообществ рассматриваемой акватории в последующие 2 года после окончания работ (2016–2017) указывает на процесс восстановления донной фауны: средние значения биомассы макрозообентоса к этому периоду достигли 33,71 г·м⁻².

Анализ данных показал, что численность и биомасса зообентоса в 2014–2015 гг. в районе строительства были многократно ниже, чем в 2004 г., когда дноуглубительные работы ещё не проводились.

Снижение обилия макрозообентоса в районе строительства порта не сопровождалось значительным обеднением видового состава. Продолжительные гидротехнические работы привели только к ухудшению количественного состава кормовой базы рыб-бентофагов.

После прекращения гидротехнических работ в рассматриваемой акватории Лужской губы обилие макрозообентоса в целом восстановилось до естественных высоких значений. На большинстве станций негативное воздействие носило временный, обратимый характер, и спустя год после окончания работ его последствия практически не наблюдались.

Historical Development of Marine Sciences in Romania

Bologa A. Ş.

Academy of Romanian Scientists / Constanţa Branch, Constanţa, Romania

bologa1813@yahoo.ro

Almost a century and a quarter passed since the first Romanian active participation in a major historical oceanographic research cruise: on board “Belgica”, in the Antarctic waters (1897). The following development of marine sciences in Romania is due to several scientists, *e. g.* Emil Racovitza, Ioan Borcea, Grigore Antipa, and others, and to their institutional establishments, such as the Marine Zoological Station at Agigea–Constanţa (1926), the Bio-oceanographic Institute in Constanţa (1932), the National Museum of Natural History in Bucharest (1934), and others. Various other professors, researchers, and museographers contributed over time with their valuable achievements and results to the progress of this broad scientific field of investigations. Witness stands also Romania's affiliation to many regional and international scientific organizations and bodies, like the International Commission for the Scientific Exploration of the Mediterranean Sea (since 1925), UNESCO (since 1955), the International Ocean Institute (since 1996), *etc.* Romanian leading marine research and development institutes, namely the National Institute for Marine Research and Development “Grigore Antipa” in Constanţa and the National Institute for Marine Geology and Geoecology in Bucharest–Constanţa, as well as new created marine environment devoted NGOs, contributed to a variety of Research-Development-Innovation programmes and projects at national, regional, and international level in the last decades.

**Метан, его генезис и участие
в биологических
и геологических процессах**

Средообразующая роль метановых сипов в аноксической зоне Чёрного моря

Артёмов Ю. Г.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

yu.g.artemov@gmail.com

Начало работ по метановой теме в Институте биологии южных морей имени А. О. Ковалевского связано с открытием феномена метановых газовыделений в сероводородной зоне Чёрного моря в 1989 г. коллективом авторов под руководством Г. Г. Поликарпова и В. Н. Егорова. Дальнейшими исследованиями был установлен значительный масштаб распространения этого явления в районах с различными геоморфологическими характеристиками: в палеорусле рек Дунай, Днепр — Каланчак, Дон — Кубань, конусе выноса закавказских рек, западном и северо-западном континентальном склоне Чёрного моря с прилегающим шельфом. Подавляющее количество обследованных метановых сипов относят к холодным, т. е. к сипам, имеющим биогенное происхождение [Егоров, 2011]. Свыше 98 % газовыделений располагались выше фазовой границы стабильности метановых гидратов (725 м для Чёрного моря), что свидетельствует о барьерном эффекте газогидратов в донных осадках. В глубоководной части Чёрного моря струйные газовыделения встречаются в районах активного развития грязевого вулканизма и диапиризма на глубинах, достигающих 2000–2100 м.

Как известно, природный метан образуется в основном в результате биологического распада биомассы, который происходит строго в анаэробных условиях и зависит от наличия лабильного органического материала, а также температуры. Ещё сравнительно недавно при рассмотрении бюджета метана в Чёрном море основным механизмом поступления метана в водный столб считались диагенетические процессы в донных отложениях [Reeburgh, 1991]. Однако после открытия явление метановых струйных газовыделений в аноксической зоне Чёрного моря вопросы, связанные с бюджетом метана в Чёрном море, вновь попали в фокус внимания исследователей различных научных направлений: биогеохимии, экологии, климатологии, биотехнологии и др.

Выполненные ранее исследования процессов метаногенеза и метаноокисления в донных осадках и водном столбе аноксической зоны Чёрного моря позволили двум группам исследователей [Ivanov, 2002 ; Kessler, 2006] предложить биогеохимические оценки составляющих бюджета метана в Чёрном море. Соответственно, значимость фактора метановых струйных газовыделений в Чёрном море оценивалась косвенно, по дисбалансу между учтёнными источниками и потребителями метана; предполагаемый суммарный вклад струйных газовыделений из холодных (биогенных) сипов, грязевых вулканов, а также дестабилизированных газгидратов составляет $2,3\text{--}5,65 \text{ Tg}\cdot\text{год}^{-1}$.

На основе многолетних исследований в ФИЦ ИнБЮМ был выполнен прямой подсчёт скорости и объёма поступления струйного метана в аноксическую толщу вод Чёрного моря в десяти уже исследованных и перспективных районах активных метанопроявлений от трёх типов существующих в Чёрном море метановых струйных газовыделений, а именно: 1) метановых сипов на аноксических глубинах до 725 м; 2) индуцированных вертикальным тепловым потоком газовыделений в зоне стабильности газогидратов; 3) грязевых вулканов. Установлено, что среди рассмотренных источников поступления струйного метана наибольший вклад в воды Чёрного моря вносят метановые сипы первого типа; вклад других источников на порядки меньше. При этом полученная оценка

общей эмиссии струйного метана в масштабах всего Чёрного моря ($0,9 \text{ Тг} \cdot \text{год}^{-1}$) меньше по крайней мере в 2,5 раз, чем соответствующие оценки, определённые биогеохимическими методами. Более того, не менее 2,8 % выделившегося из морского дна на аноксических глубинах струйного (пузырькового) метана может пересекать границу между аэробными и анаэробными водами и даже достигать поверхности моря, выбрасывая свободный метан непосредственно в атмосферу.

Выполненные исследования показывают, что имеющиеся представления о бюджете метана в Чёрном море требуют уточнения. Можно предположить, что флюидный поток метана из литосферы в гидросферу выше, чем представлялось ранее. Кроме того, пока не получена оценка значимости фактора спонтанных выбросов струйного метана с высотой факелов до 900 м в северо-восточном секторе впадины Сорокина. Особая сложность изучения этого фактора состоит в том, что участки выхода газа не имеют характерных батиметрических особенностей, таких, например, как грязевые вулканы.

Работа подготовлена по теме государственного задания ФИЦ ИНБЮМ «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ 121031500515-8).

Оценка потоков пузырьковых газовыделений в бухте Ласпи (Крым) по данным пассивной акустики

Будников А. А.¹, Мурашова А. И.², Малахова Т. В.², Иванова И. Н.¹

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

²ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

aa.budnikov@physics.msu.ru

Исследования подводных метановых высачиваний (сипов) представляют большой интерес с точки зрения оценки объёмов поступления метана в водную среду и атмосферу. Для оценки газовых потоков используются собирающие пузырьковый газ и флюиды ловушки, визуальное наблюдение, подводная видеосъёмка, эхолокация и пассивная акустика, анализирующая «звучание» пузырьковой струи. Отдельный интерес представляет исследование изменчивости интенсивности газовой выделений, начиная от многолетних трендов, сезонной изменчивости и заканчивая суточными пульсациями.

Для продолжительного мониторинга пузырьковых газовой выделений наиболее подходящим представляется пассивный акустический метод, как наименее ресурсоёмкий. Установленное в непосредственной близости от точки выхода пузырькового газа оборудование, регистрирующее акустические сигналы, позволяет получить записи, на которых возможно различить аудиосигналы от отдельных пузырьков газа, выходящих из дна в водную толщу. Как известно, частота таких сигналов обратно пропорциональна размеру пузырька [Minnaert, 1933]. Тем не менее точность расчётов природных пузырьковых газовых потоков с использованием пассивного акустического метода требует отдельного анализа. В частности, на генерируемый пузырьком аудиосигнал может оказывать влияние состав осадочного материала, составляющего морское дно, в месте высачивания, а в мелководных районах анализ записи существенно усложняется из-за присутствия большого количества посторонних шумов.

Применимость пассивного акустического метода к расчёту газовых потоков была опробована в мелководной зоне бухты Ласпи (Крым), где непрерывные метановые высачивания наблюдаются с 2004 г. Дно бухты в месте газовой выделений преимущественно песчаное с вкраплениями скальных образований, глубина составляет около 3 м. Наблюдаемые газовой выделения делятся на два типа — пульсирующие (из песка) и постоянно выделяющиеся пузырьки (из скальных выходов или в пограничной области между скальным выходом и песком), при этом в описанном режиме постоянно действует около 20 точек выхода газа.

Для расчёта потоков были использованы записи акустических сигналов от выделяющихся пузырьков, полученные летом 2019 и 2020 гг. В 2019 г. авторами было получено несколько 17-минутных акустических записей, синхронизированных с подводной видеосъёмкой процесса газовой выделений. Объёмы выделяющегося газа были рассчитаны двумя методами: визуально (по подводной видеозаписи) и пассивным акустическим методом. При этом суточный поток газа из одной точки выхода был оценён в примерном диапазоне 23–48,5 л·сут⁻¹.

В 2020 г. вблизи одного из источников были получены две акустические записи (длительность каждой — 45 минут). Интервал между записями составил 20 минут. Анализ записей показал значительные вариации потока, при этом изменялись как объём и количество выделяющихся пузырьков, так и характер их высачивания. В течение первой записи преобладали более крупные одиночные пузырьки, а в течение второй — более мелкие, выделяющиеся кластерами. Рассчи-

танный суммарный объём газа, выделившегося в течение первых 45 минут регистрации, составил 0,29 л, для вторых — 1,97 л. По порядку величин полученные значения совпадают со значениями 2019 г. и с другими оценками газовых потоков [Малахова, 2015 ; Будников, 2019].

Согласно данным 2020 г., регистрируемый поток пузырькового газа в течение часа изменился в 7 раз (от 9,3 до 63 л·сут⁻¹), что при расчёте суммарного потока имеет существенное значение. Также было отмечено, что в случае газовыделений из песчаной поверхности наблюдались ситуации, когда акустический сигнал от визуально различного пузырька газа не отличался на полученных аудиограммах. Данный факт тоже необходимо учитывать при расчёте объёмов газовых потоков с использованием пассивной акустики.

Всё вышеизложенное в целом говорит о необходимости проведения более длительных наблюдений за метановыми сипами для более точной оценки газовых потоков и анализа причин, влияющих на изменчивость характера и объёма пузырьковых газовыделений.

Разгрузка углеводородных газов вдоль разлома Гидратный озера Байкал

Видищева О. Н.¹, Соловьева М. А.², Ахманов Г. Г.¹, Хлыстов О. М.³

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

²ООО «Деко-геофизика», Москва, Россия

³Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

vid6877@yandex.ru

Разлом Гидратный расположен в центральной котловине оз. Байкал. Он протягивается с юго-запада на северо-восток на 60 км. Вдоль этого разлома было обнаружено большое количество мест разгрузки углеводородных газов, с многими из которых ассоциированы скопления газовых гидратов [Khlystov et al., 2018]. Все активные в настоящее время структуры расположены в северо-восточном сегменте разлома Гидратный. Это структуры выхода газа, отчётливо выраженные в рельефе дна, — структура МГУ, грязевые вулканы Новосибирск и Ухан. В юго-западном сегменте выраженные структуры разгрузки флюидов и придонных скоплений газовых гидратов не обнаружены, а сам разлом в рельефе дна практически не проявляется. В результате исследований проб газа, отобранных в ходе экспедиции Class@Baikal-2019, было выявлено, что по разлому Гидратный происходит миграция флюидов из глубоких горизонтов осадочного выполнения оз. Байкал [Видищева и др., 2021]. Наибольшая концентрация метана и утяжелённый изотопный состав углерода метана зафиксированы в газах, отобранных в центральном и северо-восточном сегментах разлома. Здесь же обнаружено большое количество компонентов C_{2+} , а также присутствовали приповерхностные скопления газовых гидратов. Юго-западный сегмент разлома характеризовался наименьшей концентрацией метана в осадках, который имел легкий изотопный состав углерода; также в составе газа отсутствовали компоненты C_{2+} .

Подобное различие связано с особенностями неотектонической активности и современной седиментации, которые определяют особенности разгрузки вдоль разлома Гидратный. Высокие концентрации газов и тяжёлый изотопный состав углерода метана проявлены в поверхностных осадках, в местах, где разлом выходит на поверхность дна озера. В таких местах газ мигрирует к поверхности, главным образом благодаря механизму фильтрации. В участках, перекрытых толщей современных осадков, концентрации метана низкие, а изотопный состав свидетельствует о микробиальном происхождении газа. В этих участках газ из глубинных источников мигрирует преимущественно с помощью диффузии, рассеиваясь в верхней толще осадков.

Таким образом, вдоль разлома Гидратный происходит миграция газов из глубинных источников. Молекулярные и изотопные исследования подтвердили присутствие термогенного газа. Зоны фокусированной разгрузки газов на поверхность дна распространены непосредственно над основным сместителем разломной зоны. Концентрации метана на опущенном блоке выше, что обусловлено большим количеством второстепенных разломов. Уменьшение концентрации метана в отложениях в юго-западном направлении связано с мощными накоплениями выноса р. Селенга.

Метан в газонасыщенных (голоценовых) илах восточной части Финского залива

Григорьев А. Г., Жамойда В. А., Буданов Л. М., Неевин И. А.

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт имени А. П. Карпинского» (ФГБУ «ВСЕГЕИ»), Санкт-Петербург, Россия

andrey_grigiryev@vsegei.ru

Как показали проведённые в течение ряда лет исследования, распределение метана и его гомологов в донных осадках восточной части Финского залива крайне неоднородно и характеризуется значительной дисперсией. Основной причиной неоднородности в распределении метана является различие геологического строения территории. Наиболее высокие концентрации метана в донных осадках приурочены к областям распространения толщ голоценовых илов, достигающих в разрезе мощности 8 м. С уменьшением мощности илов содержание метана в осадках заметно снижается.

В придонной воде повышенные концентрации метана также связаны с полями распространения газонасыщенных илов. При этом отмечается отрицательная корреляция между содержанием метана и его гомологов в поверхностном слое донных осадков и в придонной воде.

Изотопный состав метана ($\delta^{13}\text{C}$) в донных отложениях всех изученных станций, как в приповерхностной части разреза, так и на глубинах до 4 м, находится в интервале значений от $-63,5$ до $-84,5$, что, согласно литературным данным [Прасолов, 1990 ; Хефс, 1983], позволяет говорить о его низкотемпературном, малоглубинном «биогеогенном» генезисе.

В геологическом разрезе отмечается заметная дифференциация содержания метана по глубине опробования. Вниз по разрезу голоценовых илов, как правило, содержание метана увеличивается. При этом отношение концентрации метана в забое скважины к его концентрации в устье скважины (CH_4 забой / CH_4 устье) меняется в широких пределах от 1,2 до 84,5.

Достаточно важным является проявление динамических процессов, выраженных в перераспределении метана в толще осадков и их дегазации. С этой целью в течение ряда лет нами изучалось распределение метана на мониторинговых станциях пробоотбора как для поверхностных, так и для глубинных горизонтов опробования. Исходя из полученных данных, можно констатировать высокую интенсивность поступления метана в верхние горизонты голоценовых илов. Так, например, на станции мониторинга 17гг-16 повышение концентрации метана с 101854 ppm в 2018 г. до 272838 ppm в 2019 г., то есть почти в 2,7 раза, произошло за один год (устье скважины). Аналогичное интенсивное накопление метана наблюдается на станции 16гг-17 — с 88747 ppm в 2016 г. до 182245 ppm в 2017 г., то есть несколько более чем в два раза (устье скважины). Подобное интенсивное поступление метана регистрируется и на ряде других станций.

Дегазация осадков за счёт выхода метана в водную толщу значительно различается по интенсивности. В одних случаях процесс протекает очень активно. Так, по результатам мониторинга станции 17гг-16 в течение года, концентрация метана в устье скважины упала с 254363 ppm в 2017 г. до 101854 ppm в 2018 г., то есть практически в 2,5 раза. На той же станции за 2019–2020 гг. концентрация метана резко упала с 272838 ppm (2019 г.) до 48504 (2020 г.), то есть в 5,6 раза. В данном случае наблюдается пульсирующий характер дегазации осадков. На станции 16гг-12, в приустьевой части скважины, концентрация метана за год понизилась с 5702 ppm до 1100 ppm, то есть в 5,1 раза. Вероятно, для вышеописанных случаев процесс дегазации имеет лавинооб-

разный характер, реализуясь как одномоментный прорыв на поверхность дна. В других случаях, например на станциях мониторинга 16г-17, процесс дегазации протекает медленно, вероятно, за счёт плавной диффузии газов на поверхность; в приустьевой части скважины концентрация метана понизилась всего лишь в 1,16 раза — с 182245 ppm в 2017 г. до 155863 ppm в 2019 г.

Отмеченная выше отрицательная корреляция между содержанием метана в поверхностном слое донных осадков и в придонной воде обусловлена, очевидно, именно лавинообразным выбросом метана в воду, при котором происходит резкое уменьшение концентрации метана в осадках и, соответственно, значительное увеличение его концентрации в воде.

Следует отметить, что инженерно-геологические свойства осадков для двух отмеченных типов дегазации мало различимы между собой. Связь концентрации метана в осадках с интенсивностью данного процесса не всегда прослеживается, и установить природу различия в выявленных типах дегазации пока не представляется возможным.

Выводы:

1. Метан в донных осадках восточной части Финского залива имеет преимущественно низкотемпературный, малоглубинный «биогенный» генезис и образуется в нижней части разреза голоценовых илов.
2. Наблюдается два типа дегазации осадков: а) дегазация имеет лавинообразный характер, реализуясь как одномоментный прорыв на поверхность; б) дегазация протекает замедленно за счёт диффузии газов на поверхность.

Биологические сообщества в районах разгрузок минерализованных газосодержащих флюидов на Байкале и микроорганизмы, ассоциированные с животными

Земская Т. И.¹, Черницына С. М.¹, Хальзов И. А.¹, Наумова Т. В.¹, Погодаева Т. В.¹,
Механикова И. В.¹, Сиделева В. Г.², Ситникова Т. Я.¹

¹Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

²Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

tzema@lin.irk.ru

Важный вклад метана в энергетические ресурсы трофических цепей показан как для морских, так и для озёрных экосистем. Анализ стабильных изотопов углерода и азота в тканях животных, обитающих в районах разгрузок газосодержащих минерализованных флюидов на Байкале, свидетельствует о потреблении смешанной (фото- и хемосинтетической) пищи с различной долей углерода метана (от 25 до 89 %). Следует отметить, что спектр таксонов животных в Байкале, использующих углерод метана, гораздо шире в сравнении с таковым других пресноводных озёр [Jones & Grey, 2011]. Углерод метана прослеживался в пищевых цепочках от растительно-детритоядных до всеядных и плотоядных животных [Земская и др., 2012 ; Ситникова и др., 2017], но пути включения метана и других соединений в пищевые сети бентосных организмов в глубоководной зоне озера Байкал остаются малоизученными. Метан включается в пищевые сети в морских и пресноводных экосистемах через симбиоз или при потреблении метанотрофных бактерий, образующих большую биомассу в зонах повышенных концентраций метана. К настоящему времени нами проанализирован состав животных в районах разгрузок газосодержащих минерализованных флюидов с учётом типа геологической структуры (метановый или нефтяной сипы, грязевой вулкан, низкотемпературный источник) и глубины водной толщи. В осадках всех районов доминирующими группами были нематоды (мейобентос) и олигохеты (макробентос). Наиболее высокая плотность поселения мейо- и макробентосных животных (более 130 тыс. экз.·м⁻²) отмечена в двух районах Байкала — в районе гидротермального низкотемпературного источника б. Фролиха и на подводной возвышенности Посольская банка (~ 300–400 м). В более глубоководных биотопах, в районах метанового сипа Санкт-Петербург (глубина ~ 1400 м) и нефте-метанового сипа Горевой Утёс (~ 800–900 м), эти показатели были значительно ниже (~ 10 тыс. экз.·м⁻²).

Анализ библиотек генов 16S рРНК показал, что наиболее разнообразны микробиомы нематод, где идентифицированы представители 11 бактериальных 2 архейных филумов. В микробиомах исследованных беспозвоночных большую часть составляли микроорганизмы, идентичные по структуре гена 16S рРНК обитающим в воде и донных отложениях озера Байкал. Анализ полученных последовательностей показал одну общую ОТЕ в микробиомах остракод и олигохет (*Sphingomonas* sp.) и одну — в микробиомах нематоды и хирономиды (*Dysgomonas* sp.). В микробиомах олигохет из 4 районов озера общими представителями были *Proteobacteria*, а в микробиомах нематод — последовательности классов Alphaproteobacteria, Deinococci, Gammaproteobacteria и рода *Acinetobacter*. Микробиомы нематод, хирономид и батинеллид включали представителей Bacteroidetes и Firmicutes, филогенетически близких симбиотическим бактериям, обнаруженных у насекомых и животных из других экотопов.

Среди идентифицированных прокариот выявлены метаногены, нитрификаторы, азотфиксаторы и микроорганизмы, участвующие в цикле серы. Метанотрофы обнаружены в микробиомах олигохет и хирономид. Предположено, что основным путём внедрения углерода метана в пищевые сети озера Байкал является потребление животными в пищу метанооксиляющих бактерий. Образуя области высокой биомассы в микробных матах на участках с выбросами метана, метанотрофы и другие бактерии могут обеспечить сосуществование различных видов животных в батипелагиали озера Байкал.

На раковинах амфипод и остракод, обитающих в районах разгрузок углеводородсодержащих флюидов, выявлено наличие экзо- и эндосимбиотических консорциумов. В эпибиотические ассоциации входят протисты рода *Lagenophrys* (Ciliophora: Lagenophryidae) и зубактерии, локализуемые в непосредственной близости к лорике инфузорий, что позволяет получать животным дополнительные пищевые ресурсы. В тканях остракод идентифицированы также эндосимбиотические бактерии. С помощью NGS-секвенирования в микробиомах эндемичных остракод идентифицированы эпибиотические бактерии рода *Thiothrix* и эндосимбиотические бактерии родов *Rickettsia* и *Ca. Cardinium* порядка Rickettsiales. Кроме того, большой процент составляли представители филумов Proteobacteria и Bacteroidetes, характерные для других не морских эпибиотических ассоциаций остракод. Представители других таксонов (Actinobacteria, Gracilibacteria, Cyanobacteria) являются, скорее всего, факультативными и потребляются остракодами вместе с детритом. Бактериальные сообщества остракод таксономически и метаболически отличаются от сообществ донных осадков Южного Байкала. Метаболизм бактерий, ассоциированных с остракодами, до конца не ясен, так как идентифицированные бактерии используют широкий спектр источников углерода и обладают способностью к гетеротрофному и автотрофному типам питания. Пока очевидно, что формирование эпибиотических ассоциаций более выгодно для микроорганизмов, поскольку они получают быстрый доступ к пищевым ресурсам, поставляемым простейшими в процессе жизнедеятельности, а также постоянный доступ к источникам энергии, что обеспечивает их конкурентоспособность перед другими видами микроорганизмов.

Распределение растворённого кислорода вблизи действующих мелководных струйных выделений метана

Иванова И. Н.¹, Будников А. А.¹, Малахова Т. В.², Мурашова А. И.²

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

²ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

ivair@yandex.ru

Концентрация растворённого кислорода и степень насыщения вод кислородом определяют состояние морской экосистемы, комфортность существования в ней биологических сообществ, интенсивность протекания основных биологических и биохимических процессов, стабильность гидрохимического и гидрологического режимов. В прибрежной зоне Чёрного моря находится большое количество струйных выделений метана, поэтому информация о кислородном режиме вблизи действующих газовыделений таких прибрежных морских районов представляет особый интерес.

Измерения проводились в летние месяцы 2016–2020 гг. в бухте Ласпи и летом 2019–2020 гг. вблизи мыса Феофан с помощью многопараметрического зонда RCM 9 LW AANDERAA INSTRUMENTS (Норвегия).

Общая площадь зоны газовыделений в бухте Ласпи (N44.420742°, E33.706326°) составляет около 500 м². Одновременно насчитывалось более 20 отдельных точек струйных выходов глубинного газа термогенного генезиса как из скальных образований, так и из песка. Характер газовыделений представляет собой как непрерывный точечный выход одноразмерных пузырей, которые, проходя через водный слой, достигают поверхности, так и выход пузырьков метана кластерами. Зонд RCM 9 устанавливался так, чтобы датчики прибора располагались в струе пузырьков газовой выделений на высоте 0,5 м от дна. Как правило, измерения в этом случае проводились 24 часа. Для сопоставления данных перед началом суточных измерений и после них зонд RCM 9 устанавливался на фоновой станции, где нет газовой выделений, и в течение 20–30 минут снимал показания параметров воды. Точность измерений O₂ составляла 0,25 мг·л⁻¹. На основе анализа данных при различных метеоусловиях за 2016–2020 гг. было отмечено, что и O₂, и степень насыщенности воды кислородом на фоновых площадках больше, то есть при одинаковых прочих условиях над действующим струйным выходом метана снижаются содержание растворённого кислорода O₂ и его насыщенность. Для 2016 г. разница между средним значением O₂ над точкой выхода метана и фоновой станцией составила 0,5–1 мг·л⁻¹, для 2017 г. — 0,3 мг·л⁻¹, для 2018 г. — 0,5–1,5 мг·л⁻¹, для 2019 г. — 0,4–0,8 мг·л⁻¹, для 2020 г. — 0,7 мг·л⁻¹. Степень насыщенности воды кислородом на фоновых площадках оказывалась больше на 5–16 % (5 % — для 2016 г.; 16 % — для 2019 г.).

Мыс Феофан расположен в Голубой бухте (N44.5594°, E33.4002°). В подводной части мыса прослеживаются разломы в виде трёх каньонов глубиной более 10 м и шириной около 5 м. В двух каньонах из трёх зафиксированы многочисленные газовыделения из дна. Определённый ранее компонентный и изотопный состав углерода метана (C₁/C₂₊/δ¹³C-CH₄) указывает на то, что метан в этом районе относится к биогенному типу. Измерения проводились летом 2019 и 2020 гг. в каньонах и фоновых площадках рядом с каньонами. Было зафиксировано значительное уменьшение концентрации O₂ в придонном слое воды над площадкой газовой выделений, с минимумом 0,2 мг·л⁻¹ в 2019 г. при условиях явно выраженной температурной стратификации и 5,8 мг·л⁻¹ в 2020 г. при отсутствии термоклина. Степень насыщенности воды кислородом над площадкой газовой выделений уменьшалась с 80 % у поверхности до 20–25 % вблизи дна в 2019 г. Для изме-

рений 2020 г. уменьшение степени насыщенности воды кислородом над площадкой газовыделений в каньонах по-прежнему наблюдалось, но было значительно меньше (97 % у поверхности, 80 % над местом газовыделений). На фоновых площадках как в 2019 г., так и в 2020 г. степень насыщенности воды кислородом оставалась практически постоянной и не менялась с глубиной. По данным 2019 и 2020 гг. были рассчитаны числа Ричардсона Ri во всех трёх каньонах. В 2020 г. практически на всех глубинах во всех трёх каньонах $Ri > 0,25$, что свидетельствует о сильном перемешивании всей водной толщи, включая придонный слой, и, соответственно, о развитии турбулентности. В 2019 г. Ri в каньоне с газовыделениями также выше критических, однако ниже термоклина значения Ri начинают резко уменьшаться и достигают своего минимума около дна, что говорит об отсутствии турбулентных процессов ниже термоклина, где наблюдается дефицит растворённого кислорода.

Основные результаты:

1. Показано, что над действующим струйным выделением метана в бухте Ласпи снижаются содержание растворённого кислорода и степень насыщенности воды кислородом по сравнению с фоновой площадкой.
2. Выявлено значительное уменьшение концентрации кислорода и степени насыщенности воды кислородом в придонном слое над местом пузырьковых высачиваний в Голубой бухте (мыс Феофан) при разных условиях стратификации.

К вопросу о биогенном механизме сульфидообразования в донных отложениях Южно-Китайского моря

Калгин В. Ю., Обжиров А. И.

Тихоокеанский океанологический институт имени В. И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток, Россия

kalgin.vladislav@yandex.ru

Южно-Китайское море — одно из основных с задуговым бассейном субэкваториальной части Тихого океана; оно входит в тектонически-активную зону. Данный регион всегда привлекал внимание своим биоразнообразием животного мира и потенциальными углеводородными ресурсами. Актуальность работы обусловлена крайне малой изученностью аутигенных сульфидов хемосимбиотического происхождения, между тем реакционная способность серы в условиях жаркого климата влияет на процессы экологического состояния водоёмов.

Изученный материал был получен в ходе комплексной совместной Российско-Вьетнамской геолого-геофизической и океанографической экспедиции в западной части Южно-Китайского моря в 88-м рейсе НИС «Академик М. А. Лаврентьев» (25.10.2019–08.12.2019). Работы были выполнены в осадочном бассейне Красной реки (Шонгхонг), бассейне Фухань и бассейне Нам Кон Сон.

Целью работы было изучить особенности генезиса и распространения сульфидных аутигенных минералов в четвертичных отложениях привьетнамского континентального шельфа и склона. Были применены методы оптических исследований и изотопного анализа серы в минералах, а также рентгеноструктурный и вещественный состав масс-спектрометрии.

В результате изотопных исследований серы в пирите для станций показаны как биогенный, так и абиогенный генезис сульфидных конкреций. Более подробно были изучены сульфидные минералы биогенного образования, которые преобладают в каждом районе над единичными пробами абиогенного происхождения.

В ходе литологических исследований донных отложений Южно-Китайского моря обнаружены сульфидные конкреции. Станции выявленных минералов находились на глубине от 72 до 2400 м. Агрегаты были обнаружены как в окисленном слое от 0 см до 30–50 см от поверхности дна, так и в восстановленном слое от 30–50 см до 4 м на разных глубинах моря. Интенсивные проявления зафиксированы в бассейне Фухань, проявления в меньшем количестве — в бассейне Нам Кон Сон и в осадочном бассейне Красной реки. По вещественному составу, а также по рентгеноструктурному анализу, все изученные образцы биогенного и абиогенного происхождения представлены пиритом.

Макроскопические аутигенные сульфиды представлены тремя видами — сферическими глобулами и их сростками; сульфидами, заполняющими раковины фораминиферов; в виде удлинённых агрегатов. При увеличении от 25 мкм поверхности агрегатов сложены фрамбоидами с хорошо ограниченными октаэдрическими кристаллами пирита. На станции LV88-20/1GC удлинённые агрегаты достигают 5 см в длину. Часто трубчатые стяжения имеют внутреннюю полость, что даёт возможность предположить движение жидкости или газа внутри них. Подобное явление можно объяснить хемикнией (хемосимбиозом). Изучение современной донной фауны показало, что осадки, богатые сероводородом или метаном, могут поддерживать жизнь инфавны посредством бактерий, метаболические свойства которых делают эти ядовитые соединения пригодными для дыхания. Следы хемосимбиоза являются, таким образом, подводными каналами названных газов и своеобразными «сосудами для культивации бактерий» [Микулаш, 2006].

Одним из вариантов образования подобных вытянутых сульфидных конкреций может быть их появление в результате симбиоза двустворчатых моллюсков *Thyasira flexuosa* и сульфатредуцирующих бактерий. Известно, что бактерии могут симбиотно существовать в пищеварительной системе моллюсков [Bromley, 1992]. В свою очередь, двустворчатые моллюски формируют систему нор под своей раковиной, куда попадают остатки органического детрита. Остатки органики, поступающие в эти норы вследствие жизнедеятельности моллюсков, являются питательной средой для роста сульфатредуцирующих бактерий. Таким образом, стенки нор, образованные в ходе жизнедеятельности моллюсков, замещаются на сульфидные образования, рост которых начинается с внешней оболочки внутрь норы. В ходе постоянного поступления органического питательного вещества и поровой воды со стенок норы происходит циркуляция раствора, сохраняется питающий канал. В природе наблюдается симбиоз метанооксиляющих и сульфатредуцирующих бактерий. Метанооксиляющие бактерии обеспечивают питательным компонентом сульфатредуцирующие бактерии [Ферронский, 2014].

При наличии сульфидных конкреций в колонке керна наблюдается уменьшение концентрации метана. Так, для станций LV88-20/1GC и LV88-32GC по всей длине керна станции отмечены незначительные изменения концентрации метана в осадке от 250 до 520 нМ·кг⁻¹.

На основе приведённых данных можно сделать вывод о том, что аутигенные сульфидные конкреции трубчатой формы имеют биогенное происхождение за счёт хемосимбиоза сульфатредуцирующих бактерий и двустворчатых моллюсков. Крайне малое содержание метана по колонке керна объясняется, возможно, анаэробным окислением его метанооксиляющими бактериями и созданием питательной среды для сульфатредуцирующих бактерий.

Аутигенные карбонатные корки холодных метановых сипов на шельфе моря Лаптевых

**Кравчишина М. Д.¹, Леин А. Ю.¹, Дубинина Е. О.², Мирошников А. Ю.², Дара О. М.¹,
Саввичев А. С.³**

¹Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

²Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва, Россия

³Институт микробиологии имени С. Н. Виноградского РАН,
ФИЦ Фундаментальные основы биотехнологии РАН, Москва, Россия

kravchishina@ocean.ru

Аутигенные карбонатные корки широко распространены в отложениях морей и океанов. Низкие температуры придонной воды и высокая растворимость CO₂ вызывают коррозию карбонатов в осадках в высокоширотных бассейнах. Этот факт объясняет редкие находки аутигенных карбонатов в современных морских отложениях Арктики [Logvina et al., 2018 ; Ruban et al., 2020]. Несмотря на то, что процессы аутигенного минералообразования на холодных метановых сипах давно известны [Леин, 2004 ; Peckmann & Thiel, 2004 ; Reeburgh, 2007 ; Suess, 2014 ; Orpo et al., 2020], данных об осаждении карбонатов в осадках Сибирских Арктических морей всё ещё недостаточно. Корки размером от долей сантиметра до полуметра, состоящие из микритового карбонатного цемента и включений обломочных частиц, обнаружены как в верхнем метровом слое осадков, так и на поверхности дна моря Лаптевых [Кравчишина и др., 2017 ; Ruban et al., 2020] в пределах известной области активных метановых высачиваний на внешнем шельфе [Shakhova et al., 2015]. Здесь по наличию акустической аномалии в толще воды (газовые факелы) обнаружены струйно-пузырьковые выходы метана. В этой области с помощью буксируемого видеомодуля отмечены пузырьки метана, микробные маты и карбонатные корки на поверхности дна [Baranov et al., 2020]. Предполагается, что источником метана являются газовые гидраты из подводных многолетнемерзлых пород [James et al., 2016 ; Chuvilin et al., 2019 ; Puglini et al., 2020]. Данные сейсмоакустической съёмки и моделирования позволяют уверенно судить о наличии газ-гидратов на шельфе моря Лаптевых [Romanovskii et al., 2006 ; Semiletov et al., 2012 ; Rekant et al., 2015 ; Piskunova et al., 2018]. В субмаринных реликтовых многолетнемерзлых породах имеются все условия для образования сквозных эндогенных таликов, а в зоне стабильности гидратов газов установлены «разрывы», через которые может происходить эмиссия парниковых газов во время трансгрессий [Romanovskii et al., 2006]. Полагаем, что поступлению термогенного метана к поверхности дна способствуют Лаптевоморская рифтовая система и Хатангско-Ломоносовская зона разломов [Baranov et al., 2020]. Арктика характеризуется значительным количеством источников метана и относительно повышенным его содержанием в атмосфере [Shakhova et al., 2014 ; Skorohod et al., 2016 ; O'Connor et al., 2010]. В связи с климатическими изменениями и рядом других факторов особое значение приобретают исследования карбонатообразования в шельфовых морях Арктики.

Гипотеза. Уверенно можно утверждать, что процессы карбонатообразования с участием метана протекают в подповерхностных отложениях моря Лаптевых и не могут происходить в современных условиях на границе вода — осадок. Обнаруженные на поверхности дна крупные карбонатные корки, вероятно, являются результатом выноса аутигенных образований из подповерхностных слоёв осадков. Эти карбонаты несут в себе информацию о палеовыходах метаносодержащих растворов и газовых струй из осадочных толщ. Отсутствие абсолютных датировок возраста аутигенных карбонатов для морей Сибирской Арктики не позволяет в настоящий период

оценить поток метана в голоцен-плейстоценовое время. Тем не менее имеющиеся полеоокеанологические реконструкции обстановок седиментации в море Лаптевых [Клювиткина и др., 2009 ; Spielhagen et al., 2005 ; Taldenkova et al., 2012] дают информацию об интенсивности метаносодержащих флюидов на его шельфе.

Целью наших исследований было установить генезис метана, принимавшего участие в формировании аутигенных карбонатов, и изучить их состав, морфологию, макро- и микростроение. В докладе мы приводим результаты новых геохимических, изотопно-геохимических и минералогических исследований аутигенных карбонатных корок и донных осадков метанового полигона, расположенного на внешнем шельфе моря Лаптевых на глубине 63–71 м.

Материал был собран на внешнем шельфе моря Лаптевых в области высачивания метана из осадков. Крупные карбонатные корки впервые обнаружены на поверхности осадков в пределах полигона метановых сипов Оден (76,8° с. ш., 127,8° в. д.; глубина 63 м) в ходе 69-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 2017 г. [Флинт и др., 2018]. Другие карбонатные корки отобраны из подповерхностного метрового слоя осадков на полигоне метановых сипов С15 (76,5° с. ш., 125,5° в. д.; глубина 71 м) в ходе 63-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 2015 г. [Флинт и др., 2016].

Результаты и выводы. Карбонатные корки полигона Оден сцементированы высокомагнезильным кальцитом (до 23 мол. % $MgCO_3$). Значения $\delta^{13}C$ углерода карбоната изменяются от $-40,1$ до $-25,9$ ‰ VPDB. Значения $\delta^{18}O$ лежат в узком диапазоне [$+4,4 \pm 0,2$] ‰ VPDB. Органический углерод в карбонатах изотопно облегчён (от $-40,2$ до $-31,1$ ‰ VPDB) по сравнению с C_{org} во вмещающих осадках.

Показано, что органическое вещество карбонатных корок изотопно легче вмещающих осадков за счёт участия в их составе изотопно-лёгкого углерода метана разного генезиса. По уравнению материально-изотопного баланса, до 10–40 % углерода карбоната происходит из углерода глубинного (термогенного) метана. Известно, что поток термогенного метана при движении в разломных зонах захватывает микробный метан из осадочных отложений, «прорываемых» различного рода нарушениями. Значения $\delta^{18}O$ карбонатов дают представления о температуре флюида, которая соответствовала температуре современной придонной воды ($-1,77$ °C). Обсуждаются факты, подтверждающие формирование карбонатных корок ниже границы раздела вода — осадок на мелководном шельфе в результате диссоциации газовых гидратов во время голоценовых потеплений (ближайшее из них датируется ~ 10 тыс. лет назад). Исследованные карбонатные корки, скорее всего, были вынесены на поверхность дна в процессе «грохочения» уже после карбонатообразования в подповерхностных отложениях шельфа. В подповерхностном слое донных осадков полигона С15 был установлен современный процесс карбонатообразования при участии углерода метана (от 17 до 35 % углерода карбоната) [Кравчишина и др., 2017]. Морфология и состав этих карбонатов отличались от таковых карбонатных корок, поднятых с поверхности осадка полигона Оден. Величина $\delta^{13}C$ углерода карбоната варьировала от -24 до -23 ‰ VPDB, а величина $\delta^{13}C$ углерода органического вещества — от $-44,5$ до $-88,5$ ‰ VPDB.

Дальнейшей задачей исследований карбонатных корок на шельфе Сибирских морей должно стать детальное изучение U-Th возраста, что важно для определения генезиса карбонатов и интенсивности метаносодержащих флюидов в Арктике.

Авторы выражают благодарность академику РАН М. В. Флинту, Б. В. Баранову, а также всем участникам экспедиций «Экосистемы морей Сибирской Арктики».

Исследования поддержаны РФФИ (проект № 20-17-00157). Отдельные аналитические работы выполнены при поддержке РФФИ (проект № 20-04-00487).

Филогенетическое разнообразие прокариот в осадках, содержащих аутигенные карбонаты, в районах грязевых вулканов Южного и Среднего Байкала

Ломакина А. В.¹, Букин С. В.¹, Погодаева Т. В.¹, Крылов А. А.^{1,2,3}, Земская Т. И.¹

¹Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

²ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург, Россия

³Санкт-Петербургский государственный университет, Центр комплексных морских исследований,
Санкт-Петербург, Россия

lomakina@lin.irk.ru

Аутигенные карбонаты являются чувствительными индикаторами условий диагенеза и катагенеза. Их формирование считается одной из главных составляющих глобального цикла углерода. Необходимость изучения аутигенных карбонатов во многом определяется тем, что в настоящее время они рассматриваются в качестве третьего по важности глобального резервуара углерода, в дополнение к морским карбонатам и органическому углероду [Zhao et al., 2016]. В мировой литературе их распространение и механизмы образования являются по-прежнему предметом многочисленных исследований. Показано, что аутигенные карбонаты в разных экосистемах могут образовываться за счёт сульфат-зависимого анаэробного окисления метана (далее — АОМ) [Reeburgh, 2007], метангенерации, процессов денитрификации и аммонификации [Rodriguez-Navarro et al., 2003 ; Van Paassen et al., 2010], фотосинтеза [Dupraz et al., 2004], уреолиза [Fujita et al., 2000].

Озеро Байкал — самое глубокое и древнее озеро мира; общий объём его донных отложений составляет около 75 тыс. км³, их максимальная мощность превышает 9 км [Логачев, 2003]. Считалось, что пресноводные условия озера предопределяют невозможность формирования карбонатов [Князева, 1964 ; Мизандронцев, 1975]. Тем не менее в ряде районов разгрузок углеводородов на озере Байкал отмечено формирование аутигенных карбонатов [Callender & Granina, 1992 ; Крылов и др., 2008 ; Krylov et al., 2008 ; Krylov et al., 2010]. Показано, что на Байкале в основном формируются карбонаты сидеритового состава и приуроченность их к районам разгрузки углеводородов свидетельствует о генетической связи между углеродом метана и сидеритом [Крылов и др., 2008a].

С применением метода высокопроизводительного секвенирования участков гена 16S рНК бактерий и архей проанализированы филогенетическое разнообразие и структура микробных сообществ в донных осадках трёх грязевых вулканов (далее — г/в) озера Байкал, которые различаются генетической природой разгружающихся углеводородных газов [Nashikubo et al., 2020] и наличием аутигенных сидеритов с положительными (г/в Маленький — до +6,8 ‰ VPDB; г/в Кукуй — до +21,9 ‰ VPDB) и экстремально положительными (г/в Кедр — до +36,3 ‰ VPDB) изотопными значениями $\delta^{13}\text{C}$ [Krylov et al., 2008, 2020]. Такие значения $\delta^{13}\text{C}$ показывают, что карбонаты в этих районах могли быть сформированы за счёт повышения концентрации DIC в поровой воде в процессе метангенерации [Крылов и др., 2008a ; Krylov et al., 2008b; Krylov et al., 2010], поскольку в процессах АОМ, окислении органического вещества при диагенезе и генерации углеводородов при катагенезе их состав обогащается изотопно-лёгким углеродом [Greinert et al., 2001].

Анализ микробиомов поверхностных слоёв донных осадков грязевых вулканов, газогидратных осадков, а также осадков, содержащих аутигенные карбонаты, над и под ними свидетельствует о разнообразном таксономическом составе микроорганизмов, ассоциированных с зоной разгрузок углеводородов. В поверхностных осадках г/в среди бактерий преобладали представители филумов Proteobacteria, Acidobacteria, Actinobacteria, Chloroflexi, что характерно для зон разгрузок других районов [Черницына и др., 2016 ; Zemskaya et al., 2015]. Только в поверхностных осадках всех исследованных районов детектированы представители бактерий филума NC10, осуществляющие нитрит-зависимое АОМ; их доля составляла 2–6 % от всех проанализированных последовательностей. Бактериальные сообщества глубинных осадков характеризовались высокой долей представителей Atribacteria (до 40 %), которые не были детектированы в поверхностных осадках г/в Маленький и Кукуй, а в районе г/в Кедр составляли 2 %. Также в глубинных осадках возрас- тала доля Chloroflexi классов Anaerolineae и Dehalococcoidia. Представители филума Nitrospirae, для которых показано участие в превращении аммония до нитрита, а далее до нитрата [Pinto et al., 2016], детектированы в поверхностных и глубинных осадках г/в Маленький и Кедр, тогда как в районе г/в Кукуй отмечено их отсутствие в глубинных осадках. Среди протеобактерий во всех исследованных осадках г/в, кроме газогидратных, встречались представители бета-, гамма-, дельта-, а в районе г/в Кедр — также последовательности альфа-протеобактерий. В газогидратных слоях всех исследованных районов протеобактерии были минорными компонентами микробных сообществ. Карбонатные слои по разнообразию бактериальных сообществ не отличались от близлежащих осадков. Здесь также доминировали представители филумов Chloroflexi и Atribacteria.

В поверхностных образцах г/в доминировали представители филумов Thaumarchaeota и Woesearchaeota. С глубиной осадков происходит смена состава архейных сообществ. Отмечено доминирование представителей филума Bathyarchaeota, но их вклад в сообщества г/в различен. Кроме того, в осадках, вмещающих аутигенные карбонаты г/в Кедр, также высока доля метаногенов порядка Methanomicrobiales (до 18 %), а в осадках районов Кукуй и Маленький — представителей филума Hadesarchaeota. Особенностью глубинных слоёв г/в Маленький, в том числе вмещающих аутигенные карбонаты, слоёв над и под ними является доминирование архей (до 50 %), осуществляющих нитрат-зависимое АОМ (подкластер ANME-2d). Здесь также высока доля метаногенных архей порядка Methanomicrobiales (до 28 %). Кроме того, во всех глубинных образцах исследованных г/в детектированы представители порядка Methanomassiliicoccales, осуществляющие H₂-зависимый путь метилотрофного метаногенеза [Lang et al., 2015]. В районе г/в Кедр микробные сообщества осадков в зоне образования аутигенных карбонатов формировали, по данным кластерного анализа, три кластера. В нижних слоях керна, прилегающих к слоям газовых гидратов и содержащих карбонаты, и над ними доминировали археи филума Bathyarchaeota, бактерии филумов Chloroflexi и Atribacteria (линия OP9/JS1). В осадках, вмещающих карбонаты, над и под ними в сообществах архей присутствовали: гидрогенотрофы порядка Methanomicrobiales; археи, осуществляющие H₂-зависимый метилотрофный метаногенез, порядка Methanomassiliicoccales; метанотрофные археи подкластера ANME-2d.

Разнообразии микробных сообществ в осадках, вмещающих аутигенные сидериты, с положительными и экстремально положительными изотопными значениями $\delta^{13}\text{C}$ свидетельствует о наличии сложных биогеохимических процессов, включая процессы метангенерации и АОМ.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 0279-2021-0006 и гранта РФФ № 19-17-00226.

Экологические и палеогеографические условия образования «карбонатов просачивания углеводородов» по результатам изучения гераклитов (Юго-Западный Крым)

Лысенко В. И.

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Филиал МГУ в г. Севастополе,
Севастополь, Россия

Впервые жизнь на дне океанов и карбонатные постройки вблизи зон углеводородного просачивания были обнаружены в конце 1960-х гг. Несколько позже в иностранной литературе появились описания подобных форм в породах мезозоя и кайнозоя, которые получили название древних «карбонатов просачивания углеводородов» (hydrocarbon seep-carbonate) [Campbell et al., 2002]. По многим признакам к ним можно отнести карбонатные образования миоцена — гераклиты, которые встречаются в Юго-Западной части Крыма. Несмотря на значительное количество работ по этой тематике, остаётся много нерешённых вопросов об их генезисе и условиях образования.

Целью данных исследований является изучение экологических и палеогеографических условий образования пород с гераклитами.

Образование гераклитов происходило в несколько этапов. Вначале вокруг пузырьковых зон выделения метана происходило формирование карбонатных палеопостроек сообществом архей и бактерий, которые перерабатывали метан в карбонат и органическое вещество. Многообразие карбонатных форм отпечатков прокариот в гераклитах позволяет высказать предположение о значительном разнообразии микроорганизмов по переработке метана. Их образования представлены микротрубчатыми сплетениями и сферолитами, имеющими сходство с описанными на поверхности современных и древних карбонатных построек [Campbell et al., 2002]. Находки в них различных биомаркеров позволили исследователям считать, что эти формы созданы сообществом бактерий [Campbell et al., 2002]. Высокие значения содержания биофильных химических элементов CaO, MgO, Fe₂O₃, FeO, P₂O₅, SO₂ и K₂O подтверждают образование карбоната археями и бактериями за счёт процессов хемосинтеза. Кроме того, они создавали с некоторым запасом углеводородное биогенное вещество. Свидетельством его образования микроорганизмами являются данные изотопной разности углерода в органическом веществе и карбонате. Образование карбонатного и органического вещества происходило в субоксидной или аноксидной среде метана и сероводорода. В то же время концентрации содержания U и V, а также соотношения химических элементов U/Th, V/(V+Ni), V/Cr и Mo/Mn доказывают оксидную среду формирования карбонат в гераклитах. Такие условия существования одновременно восстановительных и окислительных условий возможны только внутри живого клеточного организма прокариот или вблизи его периферии.

Низкие значения содержания в гераклитах алевролитового некарбонатного терригенного материала, микрометеоритного вещества, U, Ti, Mn и Zr свидетельствуют о значительных скоростях роста карбонатного вещества. Формирование гераклитов происходило на поверхности морского дна, на что указывает соотношение Sr/Ba. О глубоководных условиях образования карбонатных палеопостроек свидетельствуют находки в них тонкостенной ракушки, а также незначительные значения содержания алевролитового некарбонатного терригенного материала.

Избыток биогенного углеводородного вещества бактериального хемосинтеза являлся пищей для более крупной фауны, поэтому вблизи выходов палеофлюидов существовали оазисы активной жизни в сероводородной и метановой среде.

Первый этап формирования гераклитов закончился образованием сплошного покрова карбонатных корок и построек вокруг выходов палеофлюидов.

Современные данные исследований свидетельствуют, что прокариоты и археи для своей жизнедеятельности могут использовать метан любого генезиса [Campbell et al., 2002]. Для образования гераклитов использовались глубинные палеофлюиды. Это подтверждается наличием в них CO_2 , CH_4 , H_2S , N_2 , аномальными значениями содержания Rb, Nb, Hf, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Yb, соотношениями V/Zr, тяжёлым изотопным составом углерода. Палеофлюиды миоцена сопровождалась гидротермальными растворами. На их наличие указывают присутствие лёгких и тяжёлых нефтепродуктов, значения модулей Страхова и Бострёма, высокие значения содержания халькофильных элементов, соотношения Ni/Co, La_n/Yb_n , Y/Ho, Ce/La и аномальные значения содержания церия.

Второй этап разрушения и переноса обломочного материала бактериальных карбонатных палеопостроек миоцена был связан с катастрофическими сейсмическими процессами, которые сопровождали неотектонические поднятия Горного Крыма.

Последним этапом образования толщ с гераклитами являлись процессы литификации отложений. В геологических разрезах они имеют вид маломощных прослоев брекчиевидного материала незначительной протяжённости с псевдостратиграфическим залеганием. Часто подобные отложения в научной литературе носят названия турбидитов, темпеститов и хлидолитов. На отличие этих образований от толщ с гераклитами указывают следующие признаки нахождения их в геологических разрезах: линейное расположение вдоль тектонических зон; незначительная мощность и протяжённость; повторяемость в разрезах через 0,3–1,5 м; псевдостратиграфическое залегание; резкий нижний контакт и размытый верхний; отсутствие следов гравитационной сортировки и присутствие микрометанолитов. Образование толщ с гераклитами связано с катастрофическими событиями разрушения и мгновенной цементации. Такими процессами были катастрофические выбросы газов сипов или грязевых вулканов во время землетрясений. Разлёт материала из-за гидростатического давления водной толщи происходил на незначительное расстояние. При этом осадочная иловая толща не только обогащалась обломочным материалом гераклитов, но и пропитывалась метаном. В иловом пространстве в кратковременный период продолжались жизнедеятельность и образование карбонатного вещества сообществами архей и прокариот. Происходил мгновенный процесс бактериальной карбонатизации толщи с образованием микрометанолитов.

После этого наступает длительный период формирования обычных известняков и полей бактериальных карбонатных построек с оазисами жизни крупной фауны. Через некоторый промежуток времени сейсмические процессы приступали к формированию новых горизонтов с гераклитами.

По условиям образования наши гераклиты не отличаются от описанных в англоязычной литературе карбонатов просачивания углеводородов [Campbell et al., 2002]. Обязательными палеогеографическими условиями их образования являлись поступления углеводородных палеофлюидов из недр и присутствие прокариот и архей по его переработке. Рядом, в ореолах метана и сероводорода, всегда существовал палеобиоценоз крупной фауны, которая питалась органическим веществом бактериального хемосинтеза.

Биогеологические процессы образования «пляжных» бактериальных построек в бухте Ласпи (Юго-Западный Крым)

Лысенко В. И.¹, Шик Н. В.²

¹Филиал Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова в Севастополе,
Севастополь, Россия

²ГБОУ ДО «Севастопольский центр туризма, краеведения, спорта и экскурсий», Севастополь, Россия

niagara_sev@mail.ru

Исследование процессов подводной дегазации углеводородных флюидов из недр Земли доказало, что они являются крупными поставщиками вещества для создания биогенного и карбонатного материала в результате реакций хемосинтеза, а также оказывают влияние на климатические процессы в атмосфере. В научных работах по изучению пузырьковых выходов газа близ береговой линии Крыма и Болгарии исследователи уделяли внимание преимущественно картированию газовых факелов и определению геохимического состава газов, но при этом мало анализировали биогеологические и геоморфологические процессы образования карбонатного вещества вблизи них. Пример проявления взаимосвязи углеводородной дегазации с биогеологическими процессами хемосинтеза карбоната — скальные «пляжные» постройки в прибрежной части бухты Ласпи (Юго-Западный Крым).

Точечные струйки газа находятся на расстоянии 10–60 м от уреза воды современной береговой линии на глубине от одного до трёх метров. Зона выхода пузырьков газа приурочена к зоне пересечения Ласпинского и Берегового тектонических разломов. Выходы газа находятся на поверхностях трёх скальных образований (ориентированы параллельно береговой линии), представленных куэстоподобными грядами. Своими пологими склонами шириной 1–3 м они направлены от берега в сторону открытого моря, где погружаются под песчаные отложения прилегающего дна. Газ на скальных грядах выходит через круглые отверстия диаметром 0,4–0,5 см. В разные годы насчитывается от 20 до 30 точек струйных выходов. Общий дебит газовых струй бухты Ласпи равен 97–330 мл·мин⁻¹ (140–480 л·сут⁻¹). Данные химических анализов этих газов, проведённых в лаборатории отдела радиационной и химической биологии ФИЦ ИнБЮМ, свидетельствуют, что их состав существенно не отличается от состава флюидов глубоководных сипов и грязевых вулканов Чёрного моря и суши. Содержание метана во флюиде колеблется от 54,5 до 90,8 %. В пробах обязательно присутствуют такие газы, как этан (от 1,24 до 2,87 %) и пропан (от 0,006 до 0,018 %). Изотопный состав углерода в метане $\delta^{13}\text{C}$ — –35,22 ‰, в этане $\delta^{13}\text{C}$ — –35,33 ‰. В неопределённую часть состава газа (от 5 до 40 % от общего объёма) входит сероводород, а также, предположительно, азот, углекислый газ, водород и инертные газы.

Геологическое следствие процесса дегазации на дне бухты Ласпи — образование конгломератовых «скальных гряд» в месте выхода метана. Цементом гравийно-галечниковой смеси постройки является жёлто-белая карбонатная плёнка мощностью от 0,5 до 5,0 мм, которая находится вокруг терригенного материала. Цементный материал представлен новообразованиями прозрачного кальцита призматической формы, волокнистыми и удлинёнными пластинчатыми лейстами белого арагонита, а также многочисленными звёздчатыми сферолитовыми сростками (их размер — 0,1–2,0 мм). В англоязычной научной литературе такие бактериальные образования в современных и древних hydrocarbon seep carbonate называются ботриоидальными [Aharon, 1994 ; Campbell, 2006]. В создании карбонатного вещества «пляжных» построек принимали участие со-

общества бактерий и архей, что подтвердили результаты исследований севастопольских и московских учёных в бухте Ласпи в 2016–2019 гг. Они обнаружили в осадках различных представителей *Methanogenium*, а также археи группы ANME-2a/b. Это был первый случай обнаружения массового развития анаэробных метанотрофов ANME-2a/b в прибрежных донных осадках Чёрного моря, где их относительная численность составляла почти 24 %. Образование карбоната бактериями подтверждают замеры прибором inoLab pH Level-2. При выбросах метана pH среды около сипов изменялся пределах от 7,1 до 7,4; в то же время морская вода в бухте Ласпи характеризовалась щёлочностью от 8,2 до 8,4.

Дополнительно на связь бактериального синтеза с глубинными флюидами указывают результаты геохимических анализов микрокомпонентов карбонатного цемента постройки. В нём содержание меди, свинца, никеля, кобальта, цинка, стронция, бария, ванадия, бора и фосфора в карбонатном цементе в несколько раз выше, чем в галечниковом материале.

Образование гравийно-галечникового конгломерата на месте выходов сипов обусловлено процессами их «мгновенного» диагенеза. На высокую скорость цементации указывают многочисленные находки в центральной части построек крупных кристаллов арагонита и кальцита, мелких створок раковин двухстворчатых моллюсков и серпул. В сезон активных динамических процессов, связанных с зимними штормами, часто происходит разрушение карбонатных бактериальных построек. За небольшой промежуток времени (к летнему периоду) зона дегазации залечивает свои «раны» за счёт сообществ прокариот по переработке метана.

С грядами «пляжных» построек связаны местные «оазисы жизни». Это скальные биотопы, и их богатство и разнообразие животного и растительного мира резко отличается от почти безжизненного окружения рыхлых пляжных отложений галечника, гравия и песка. Поверхность построек покрыта зарослями бурых и красных водорослей, колониями мшанок и моллюсков митилястеров, трубками серпул и спирорбисов. На многих створках раковин отмечается налёт чёрного углеродистого вещества, что указывает на их симбиоз с микроорганизмами.

Таким образом, можно считать, что гряды из конгломератов на дне бухты являются карбонатными «пляжными» бактериальными постройками. По условиям образования и наличия рядом биоценоза крупной фауны они являются аналогами современных и древних «карбонатов просачивания углеводородов» (hydrocarbon seep carbonate), найденных на многих континентах и в океанах [Campbell, 2006]. Главные условия их образования — поступление метана из недр и наличие сообществ прокариот и архей по переработке углеводородных флюидов. Поэтому авторы предлагают называть такие бактериальные постройки метанолитами, а конгломератовидные образования бухты Ласпи — пляжными метанолитами голоцена.

Динамика активности отдельных глубоководных выходов газа озера Байкал за период с 2010 по 2020 г.

Макаров М. М.¹, Муякшин С. И.², Кучер К. М.¹

¹Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

²Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
имени Н. И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

mmssoft@hlserver.lin.irk.ru

Концентрация метана в атмосфере в конце XX в. возрастала со скоростью 10–15 ppbv в год, затем рост замедлился: по данным [Saunois et al., 2016], в 2007–2014 гг. показатель составил ~ 5–6 ppbv в год. С другой стороны, в морях наблюдается увеличение площади районов разгрузки и концентрации растворённого метана. С 1988 по 2014 г. на восточном шельфе Сахалина и на склоне Охотского моря обнаружено более 500 выходов газа. После 1988 г. на восточном шельфе Сахалина в придонном слое воды концентрации метана резко увеличились: фоновые повысились до 70–80 нл·л⁻¹, а аномальные возросли до 10000 нл·л⁻¹ [Обжиров и др., 2015]. С 2000-х гг. поиск и мониторинг выходов газа с помощью эхолокации организованы и на озере Байкал. Оказалось, что наиболее глубоководные выходы газа располагаются преимущественно в Южной и Средней котловине [Гранин и др., 2010]. Два выхода газа — «Маленький» и «Санкт-Петербург» — находятся на глубинах более 1000 м и характеризуются большим расходом газа [Гранин и др., 2012]. Для них были выполнены оценки расходов по данным гидроакустической съёмки с использованием метода дистанционной количественной оценки суммарного газового потока, транспортируемого из подводного пузырькового выхода [Muzyakshin et al., 2010 ; Makarov et al., 2016].

Анализ расходов газа. Выход газа «Маленький», приуроченный к одноименному грязевому вулкану, долгое время считался самым высоким: 23.07.2011 его высота составила 1024 м при глубине места 1235 м. С 2010 по 2020 г. этот выход газа посещался около 30 раз, но только в 20 случаях был зарегистрирован акустический отклик. В 2012 г. зафиксировано извержение. Средний расход газа (не учитываются данные, когда выход газа не регистрировался) на границе дно — вода за все время наблюдений составляет около 700 тонн·год⁻¹ (1,73 моль·с⁻¹). В ряде посещений расчёты расхода газа давали оценки около 2–3 и даже 8 тысяч тонн в год (5,8–16,1 моль·с⁻¹). Выход газа «Санкт-Петербург» является самым глубоководным на озере Байкал, его глубина — 1390 м. С 2010 по 2020 г. выход газа посещался около 23 раз, и только в 3 случаях не было зафиксировано акустического отклика. В 2012 г. зарегистрировано извержение данного выхода (начало работы), а 05.06.2018 отмечены максимальная высота (1164 м) и расход газа (1425 тонн·год⁻¹). Средний расход газа на границе дно — вода за время наблюдений составляет около 216 тонн·год⁻¹.

Так как выход газа «Санкт-Петербург» всегда активен, были проанализированы оценки его расходов за период с 2010 по 2020 г. Исследование показало, что расход газа на выходе «Санкт-Петербург» изменялся за 2010–2020 гг. от 20–40 до 200–300 тонн·год⁻¹ с периодом около пяти лет. Максимум расхода пришёлся на 2014 и 2019 гг. Анализ зависимости высоты газового факела от величины расхода позволил получить уравнение аппроксимации. Применение этого уравнения для экстраполяции натуральных данных в область высоких значений даёт возможность оценить величину расхода газа, при которой факел гипотетически мог бы достичь поверхности озера. При использовании аппроксимирующей прямой это произойдёт при расходе более 4000 тонн·год⁻¹ (85 м³ в сутки, или 126 г·с⁻¹). С другой стороны, опыт, накопленный при эхолокационной съёмке

выходов газа, показывает, что выходы с расходом ниже $20 \text{ тонн} \cdot \text{год}^{-1}$ ($0,5 \text{ м}^3$ в сутки, или $0,6 \text{ г} \cdot \text{с}^{-1}$) становится трудно обнаружить в пелагической части озера, то есть при глубинах больше 1000 м. Площадь дна глубже этой изобаты составляет 8400 км^2 (26,7 % от общей площади озера Байкал). Таким образом, потенциально могут существовать выходы газа, которые до настоящего времени не зарегистрированы.

Для описания изменчивости расхода газа на выходе «Санкт-Петербург» и для сопоставления расчётов можно привести осреднённые оценки расхода для каждого года: 2010 — $2,6 \text{ г} \cdot \text{с}^{-1}$; 2011 — $1,8 \text{ г} \cdot \text{с}^{-1}$; 2012 — $2,5 \text{ г} \cdot \text{с}^{-1}$; 2013 — $7,1 \text{ г} \cdot \text{с}^{-1}$; 2014 — $8,0 \text{ г} \cdot \text{с}^{-1}$; 2015 — $5,6 \text{ г} \cdot \text{с}^{-1}$; 2016 — $1,1 \text{ г} \cdot \text{с}^{-1}$; 2017 — $2,5 \text{ г} \cdot \text{с}^{-1}$; 2018 — $2,5 \text{ г} \cdot \text{с}^{-1}$; 2019 — $9,3 \text{ г} \cdot \text{с}^{-1}$; 2020 — $6,2 \text{ г} \cdot \text{с}^{-1}$. В усреднение не включены данные, измеренные во время извержения (начала работы) выхода газа, и данные от 05.06.2018.

Выводы. Анализ выхода газа «Санкт-Петербург» показывает, что во временной изменчивости расхода газа просматривается пятилетний период. Зависимость высоты факела от расхода позволяет оценить верхнюю границу величины расхода, при которой пузырьки газа гипотетически могли бы достигнуть поверхности озера. Расход должен превышать 4 тысячи тонн в год. С другой стороны, существует нижняя граница расхода газа, около 20 тонн в год, при которой можно зарегистрировать глубоководный выход. При меньшем расходе газа акустический отклик сопоставим с фоновым уровнем акустических шумов, регистрация выхода газа невозможна. Таким образом, могут существовать глубоководные выходы газа с малыми расходами, которые невозможно зарегистрировать на площади дна, превышающей четверть всей площади дна озера Байкал.

Струйные метановые газовыделения в прибрежных районах Крыма: генезис, потоки, средообразующий эффект

**Малахова Т. В.¹, Егоров В. Н.¹, Малахова Л. В.¹, Артемов Ю. Г.¹, Будников А. А.²,
Иванова И. Н.², Мурашова А. И.¹, Пименов Н. В.³**

¹ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

²ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», Москва, Россия

³ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, Москва, Россия

t.malakhova@imbr-ras.ru

Струйные метановые газовыделения (сипы) — широко распространённый феномен в Мировом океане, в том числе в бассейне Чёрного моря. Актуальность исследований метановых сипов обусловлена их важной ролью в качестве источника метана для водной толщи и атмосферы как парникового и средообразующего газа. В работе представлен сравнительный анализ данных собственных биогеохимических исследований мелководных сипов Крымского полуострова, охватывающих последние 10 лет, а также материалов, посвящённых глубоководным газовыделениям Чёрного моря. В этот период были проведены поисковые гидроакустические исследования, выявлен компонентный состав пузырькового газа, измерен изотопный состав углерода метана, молекулярно-биологическими методами определена структура микробного сообщества бактериальных матов, покрывающих площадки газовыделений, и выполнена оценка газовых потоков от отдельных сипов.

В течение многолетнего мониторинга обнаружено и описано 14 отдельных газовыделяющих площадок в прибрежных районах Крыма, которые располагались от мыса Тарханкут на западе до бухты Двужорная на юго-востоке полуострова. Превалирующая часть прибрежных сипов Крыма имела биогенную природу и сезонный характер газовыделений. К глубинному газу термokatалитического генезиса отнесены сипы в бухте Ласпи. Наблюдался значительный разброс величин изотопного состава углерода метана $\delta^{13}\text{C}-\text{C}\text{H}_4$ пузырькового газа прибрежных мелководных районов (от -94 до -34 ‰), что указывает на различные условия его генерации и созревания в донных отложениях.

Так же, как и глубоководным сипам, прибрежным струйным газовыделениям сопутствовали бактериальные маты разной структуры с различными доминирующими видами. Показано, что для формирования устойчивой бактериальной биомассы, основу которой, как правило, составляли сульфид- и сероокисляющие бактерии, необходим флюидный поток восстановленных растворённых газов, тогда как точечная разгрузка пузырькового газа не обеспечивает достаточных градиентов концентрации и может механически разрушать структуру образующегося сообщества.

Различными методами сделаны оценки размерных спектров пузырьков и потоков от отдельных струй. Диапазон значений газового потока варьировал от $1,8$ до 48 л·сут⁻¹ для бухт Мартынова и Ласпи соответственно. Обсуждаются средообразующие эффекты, связанные с выделением пузырькового газа в прибрежных районах. Обнаружено снижение содержания растворённого кислорода в воде в местах пузырьковой метановой разгрузки по сравнению с фоновыми площадками. Экспериментально показан эффект вертикального перемешивания вод за счёт газлифтового эффекта пузырьковой струи. На примере сипов бухты Ласпи показано, что поток флюидной разгрузки метана на площадках струйных газовыделений может быть соизмерим с пузырьковым потоком и является значимым компонентом в балансовых оценках.

Работа подготовлена по теме госзадания ФИЦ ИНБЮМ № 121031500515-8.

Суточная динамика концентрации растворённого метана в воде аэробной зоны Чёрного моря: к вопросу о «метановом парадоксе»

Малахова Т. В., Мурашова А. И.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

t.malakhova@imbr-ras.ru

Чёрное море является крупнейшим метановым резервуаром Мирового океана, изучению биогеохимии метанового цикла в его акватории посвящено множество работ. Превалирующая часть исследований посвящена изучению аноксической зоны Чёрного моря, где содержание метана и скорости микробных процессов анаэробного звена на несколько порядков превышают таковые в верхних окисленных слоях. Однако последнее время всё больше внимания уделяется так называемому метановому парадоксу — феномену повышенных относительно равновесия с атмосферой концентраций CH_4 в верхних слоях аэробной толщи вод Мирового океана.

Было показано, что так же, как и в других водоёмах Мирового океана, в верхнем аэробном слое Чёрного моря концентрация CH_4 превышает равновесные с атмосферой значения, а в подповерхностных слоях обнаруживаются концентрационные максимумы. Относительное увеличение концентраций CH_4 связывают с активизацией биохимических процессов в зоне фотосинтеза, где сосредоточена основная масса фитопланктона, который может служить одним из источников метана. Другими исследователями показано, что метан в поверхностных водах океана продуцируется метаногенными археями в кишечном тракте зоопланктона и рыб, на частицах взвеси и органических конгломератах, то есть в анаэробных микроразделах, благоприятных для жизнедеятельности микроорганизмов. Исследования скоростей микробного метаногенеза в аэробном слое Чёрного моря показали высокие значения, которые даже в некоторых случаях превышали скорости метаногенеза в анаэробной зоне, а профили скоростей метаногенеза хорошо совпадали с пиками концентрации метана.

Сезонные исследования вертикального распределения CH_4 в верхнем фотическом слое воды Чёрного моря, проведённые в 102, 103, 105, 106 и 110-м рейсах НИС «Профессор Водяницкий», не выявили сезонной и пространственной зависимости распределения подповерхностных максимумов, что обусловлено, вероятно, процессами меньшего временного и пространственного масштаба. В связи с этим была поставлена цель исследовать суточную динамику вертикального распределения CH_4 в кислородной зоне Чёрного моря.

Исследования суточной динамики вертикального распределения метана в воде аэробной зоны Чёрного моря проводили в 113-м (июнь 2020 г.), 115-м (декабрь 2020 г.) и 116-м (апрель — май 2021 г.) рейсах НИС «Профессор Водяницкий» в глубоководных и прибрежных районах Чёрного моря. На глубоководных станциях (центр западной халистатики) пробы отбирали в дрейфе с шагом 10 м, на мелководных (шельфовая зона южной части Крыма) — с шагом 5 м ручным батометром. Содержание метана в воде определяли после фазово-равновесной дегазации проб на газовом хроматографе HP-5890 с пламенно-ионизационным детектором. Все пробы отбирали в двух повторностях, ошибка определения CH_4 не превышала 7 %.

Сравнение данных динамики концентрации CH_4 для глубоководных и мелководных станций показало, во-первых, высокую изменчивость концентрации CH_4 для обоих районов, во-вторых, вертикальную миграцию максимумов в течение суток. Абсолютный максимум концентрации CH_4

был измерен для глубоководного района в июне 2020 г. и составил $84 \text{ нмоль} \cdot \text{л}^{-1}$ (в слое 40 м), при этом он не был устойчивым во времени и мигрировал по направлению ко дну. Через 8 часов после регистрации максимальных величин концентрации CH_4 во всём исследованном столбе воды глубоководной станции значения снизились до уровня равновесия с атмосферой. Для весеннего сезона 2021 г. концентрации CH_4 в толще воды глубоководных станций были также ниже равновесных значений, при этом были зафиксированы спорадические максимумы на глубине 40 м, которые были ниже по абсолютному значению и непродолжительны во времени.

В отличие от содержания CH_4 в глубоководных районах, содержание CH_4 в толще воды прибрежных мелководных станций для всех сезонов характеризовалось значениями, превышающими равновесные концентрации. Концентрационные максимумы CH_4 мигрировали в толще воды, при этом тяготея к нижним слоям. Известно, что для мелководных шельфовых районов на структуру вертикального распределения CH_4 значительное влияние могут оказывать его потоки из донных осадков, тогда как для в аэробной зоне глубоководных районов CH_4 образуется *in situ*. Важно отметить, что ближайшие ко дну горизонты для большинства зондирований мелководных станций содержали меньше CH_4 , чем выше лежащие горизонты. Продукция CH_4 как для глубоководных районов, так и для мелководных может быть связана с планктонными сообществами, которые способны мигрировать на значительные расстояния в течение суток.

Поверхностный слой воды для всех станций характеризовался стабильно невысокими по сравнению со значениями для толщи воды концентрациями CH_4 , что определяется, вероятно, перераспределением метана на границе вода — атмосфера. Диапазон концентраций составил $0,2\text{--}14,5$ и $0,2\text{--}16 \text{ нмоль} \cdot \text{л}^{-1}$ для зимнего и летнего сезонов соответственно. Показана высокая изменчивость потоков на границе вода — атмосфера в течение суток — от поглощения до максимальных значений эмиссии $16 \text{ мкмоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$.

Работа подготовлена по теме государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ 121031500515-8).

Роль представителей рода *Sphaerotilus* в превращении C1-соединений водных экосистем

Марков Н. Д., Смольяков Д. Д., Ключева В. А., Грабович М. Ю.

Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

nikita.markov257@mail.ru

Бактерии рода *Sphaerotilus* способны к хемоорганогетеротрофному, хемолитоавтотрофному и хемолитогетеротрофному росту, что способствует их широкому распространению и доминированию в определённых экологических нишах. Показана возможность использования широкого спектра соединений в качестве источника углерода, однако способность к метилотрофному росту ранее не была продемонстрирована.

Получение полных геномных сиквенсов *S. montanus* HS^T (GCA_013410775.1) и *S. sulfidivorans* D-501^T (GCA_013426975.1) в дополнение к уже существующим сиквенсам *S. natans* DSM 6575^T и *S. hippie* DSM 566^T позволило провести биоинформатический анализ путей C1-метаболизма; в частности, были найдены гены прямого окисления метанола до углекислого газа. В геноме всех представителей обнаружены гены PQQ-зависимой метанолдегидрогеназы второго типа (*mdh2*), у *S. montanus* HS^T и *S. hippie* DSM 566^T также найдена метанолдегидрогеназа III типа (*hoxF*). У всех представителей рода *Sphaerotilus* обнаружены гены тетрагидрофолятного (ТГФ) пути окисления формальдегида; *S. hippie* DSM 566^T и *S. montanus* HS^T также имеют все гены тетрагидрометаноптеринового (ТГМП) пути (*fae*, *mtdB*, *mch*, *fhcD*, *fhcA*, *fhcB*, *fhcC*, *mptG*). Для всех представителей обнаружено семейство генов молибден-зависимой формиатдегидрогеназы (*fdol*, *fdwB*, *fdoG*). Анализ конструктивных путей метилотрофного роста для рода *Sphaerotilus* выявил наличие генов, кодирующих ключевые ферменты серинового цикла [глицин-гидроксиметил-трансфераза (*glyA*) и оксипируватредуктаза (*hprA*)], однако не были найдены гены малат-тиокиназы (*mtkAB*) и малил-КоА-лиазы (*mcl*), отвечающие за регенерацию цикла и пополнение пула глиоксилата. Ни один из валидно описанных видов не обладает полным набором генов рибулозомонофосфатного (РМФ) цикла, однако были найдены все гены, необходимые для функционирования цикла Кальвина.

Для верификации полученных биоинформатических данных была определена активность ключевых ферментов прямого окисления метанола, метанолдегидрогеназы и формиатдегидрогеназы; определена активность одного из ключевых ферментов цикла Кальвина, фосфорорибулокиназы, а также вспомогательного фермента, карбоангидразы. Экспериментально доказана способность *S. montanus* HS^T и *S. sulfidivorans* D-501^T к росту на метаноле в качестве единственного источника углерода и энергии: показан стабильный прирост белка в течение четырёх пассажей.

Таким образом, входя в состав микробных сообществ пресноводных ручьёв, каналов, прудов, а также антропогенных экосистем и обладая способностью к утилизации метанола и формальдегида как промежуточных продуктов окисления метана, представители рода *Sphaerotilus* могут играть роль своеобразных биофильтров в водных экосистемах. Более того, с учётом их повсеместного и зачастую доминирующего распространения можно утверждать, что знание особенностей метаболизма, в частности метилотрофного роста, представителей рода *Sphaerotilus* необходимо при изучении водных экосистем.

Пространственно-временные закономерности распределения метана и влияющие на него факторы в эстуарии реки Чёрной (Крым)

Мурашова А. И.¹, Малахова Т. В.¹, Будников А. А.², Иванова И. Н.²

¹ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

²Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

t.malakhova@imbr-ras.ru

Эстуарии являются важными источниками метана (CH₄) в атмосферу. Оценка потоков этого парникового газа на границах дно — вода и вода — атмосфера необходима для определения вклада в глобальный атмосферный бюджет, а также влияния на местные экосистемы. В работе рассматриваются результаты комплексных измерений балансовых характеристик метана в эстуарии реки Чёрной, подверженном воздействию сейшевых волн. Были выполнены измерения содержания метана в воде и донных осадках, а также потоков флюидной метановой разгрузки из дна и дана оценка эмиссии CH₄ в атмосферу.

Исследования проводились в различные сезоны 2020–2021 г. на четырёх станциях вверх по течению реки, которые отличались гидролого-гидрохимическими условиями. Расстояние между крайними станциями составляло около 1,5 км. Солёность воды на станциях уменьшалась вверх по течению и находилась в диапазоне 14,7...0 ‰.

На ст. 3, в барьерной зоне смешения речных и морских вод, в феврале и марте 2021 г. были проведены многочасовые мониторинговые исследования, продемонстрировавшие значительный размах значений солёности (5,1–10,7 ‰ в феврале; 6,1–13,6 ‰ в марте), растворённого кислорода (8,1–8,7 мг·л⁻¹ в феврале; 9,7–12,8 мг·л⁻¹ в марте) и мутности (40–180 NTU в феврале; 5–44 NTU в марте), которые имели периодичность, совпадающую с колебаниями уровня поверхности воды в реке. Проведённый анализ временных рядов данных (использовались значения модуля скорости течения) с помощью быстрого преобразования Фурье позволил выделить колебания с периодами 19 и 44 мин в феврале и 9 и 44 мин в марте, которые совпадают с периодами баротропных сейш для модельных бассейнов, имеющих характерные размеры Севастопольской бухты [Манилюк, 2018].

Концентрация растворённого CH₄ в воде на ст. 3 так же, как и гидрологические параметры, изменялась волнообразно, а значения находились в диапазоне 350–505 и 469–818 нмоль·л⁻¹ в феврале и марте соответственно. Тенденция изменения концентрации CH₄ согласовывалась с изменением солёности: пресным водам соответствовали более высокие значения CH₄, а морским — более низкие. Такая же закономерность наблюдалась в целом для исследованных станций: концентрация CH₄ увеличивалась от нижней, более солёной, к верхней по течению, более пресной, станции как в воде, так и в донных осадках. В мае 2020 г. концентрация CH₄ в воде и донных осадках была выше по сравнению с таковой в феврале 2021 г. Наибольшая сезонная разница получена для концентрации CH₄ в донных осадках распреснённых ст. 3 и 4, она достигала 3 порядков величин. При этом содержание CH₄ в поровой воде донных осадков во все сезоны не превышало рассчитанные значения растворимости, которые находились в диапазоне 1,53–2,05 ммоль·л⁻¹ для различных сезонов. В мае 2020 г. измеренный диапазон значений флюидных потоков составил 0,3–293 ммоль·м⁻²·сут⁻¹ для ст. 1 и ст. 4 соответственно, тогда как в феврале 2021 г. флюидные потоки CH₄ не фиксировались ловушечным методом.

Рассчитанный поток CH_4 с поверхности воды в атмосферу для различных сезонов находился в диапазоне от 87 до 205 $\text{мкмоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$. На примере ст. 3 выполнены балансовые оценки времени оборота растворённого метана в 1 м^3 , которое не превышало 1 суток. Также показано, что эмиссия метана в атмосферу и поток из дна могут компенсировать друг друга при определённых внешних условиях. Для условий, полученных в марте 2021 г. на ст. 3, показано, что при скорости ветра, превышающей $10 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, отток метана за счёт эмиссии в атмосферу превышает приток из дна; при скорости ветра ниже $10 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ флюидный поток из дна превышает эмиссию в атмосферу.

Показано, что высокая скорость и широкий диапазон изменения концентрации CH_4 в районах, подверженных волновым процессам, и закономерности таких изменений имеют высокую значимость в контексте оценки эмиссионных потоков метана в атмосферу как парникового газа.

Работа подготовлена по теме ФИЦ ИНБЮМ «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ 121031500515-8).

Результаты судовых измерений метана над Северной Атлантикой и прилегающей Арктикой в 80-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш»

Новигатский А. Н.¹, Беликов И. Б.², Белоусов В. А.², Скороход А. И.², Ключиткин А. А.¹

¹Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

²Институт физики атмосферы имени А. М. Обухова РАН, Москва, Россия

novigatsky@ocean.ru

Атмосферные выбросы и концентрация метана (CH₄) продолжают увеличиваться, что делает CH₄ вторым по значимости парниковым газом с точки зрения воздействия на климат после двуокиси углерода (CO₂) [Saunois et al., 2020]. Однако атмосферный бюджет метана в настоящее время имеет большие неопределённости [Etiopre et al., 2019], с чем и связана актуальность данных исследований.

В период с 31 июля по 25 августа 2020 г. в 80-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» были проведены непрерывные наблюдения концентраций метана в приводном воздухе морей арктического региона и Северной Атлантики. Маршрут рейса пролегал от порта Калининград через Балтийское море и Датские проливы в Северное и Норвежское моря, затем в Баренцево море до кромки льдов 83° с. ш. и далее через Белое море в порт Архангельск.

Для проведения измерений был применён специализированный измерительный комплекс на основе анализатора изотопного состава метана (далее — прибор) типа G2132-i производства компании Picarro Inc. (США), владелец — ИФА РАН. Принцип действия этого прибора основан на т. н. спектроскопии времени затухания резонатора (СВЗР; англ. cavity ring-down spectrometry, CRDS). Прибор относится к классу контактных газоанализаторов, так что исследуемый воздух подаётся по трубопроводу в измерительную схему прибора, размещённую внутри последнего. Временной интервал полученных рядов — 1 минута. Ряды были дополнены навигационной информацией с устройства GPS, а также метеорологической информацией от судовой метеостанции.

Проведённые исследования показали наличие фоновых концентраций на большей части маршрута судна. Так, значения концентрации метана преимущественно находились в диапазоне 1,91–1,95 ppm.

Резкие пики метана величиной до 2,1 ppm были обнаружены при пересечении осевой части Ян-Майенского трансформного разлома (глубина 2500 м); повторно небольшой пик был зафиксирован на более молодом по геологическому возрасту северном борту этого трансформного разлома. Также был отмечен пик метана величиной до 2,0 ppm в районе подводного вулкана Троллвегген, хребет Мона (глубина 550 м).

На метановом сипе залива Стурфьорд, архипелага Шпицбергена, на эхолоте зафиксирован факел около 100 м высотой на глубине 385–480 м, однако концентрации метана в атмосфере при этом не превышали фоновых (1,93–1,95 ppm).

При прохождении арктического фронта, вдоль восточного побережья арх. Шпицбергена (бассейн Короля Карла), наблюдалось общее повышение концентрации метана до 2,0 ppm; в это время зарегистрирован поверхностный водный фронт с понижением температуры на 1–2 °С.

Общее увеличение концентраций метана имело место в центральной части Баренцева моря (до 2,0–2,16 ppm), в частности при прохождении Центральной возвышенности и Северо-Канинской банки.

Высокие концентрации метана (от 2,0 до 3,6 ppm) регистрируются в районах с высокой техногенной нагрузкой (порт Калининград и Архангельск, портовые нефтеналивные хранилища, Светловская ТЭС, Датские проливы).

Экспедиция проведена в рамках государственного задания Минобрнауки России, темы № 0128-2021-0006 и № 0129-2019-0002. Участие научной группы обеспечено грантами РФФИ № 20-17-00157 (исследования на гидротермах) и № 19-17-00234 (эколого-геохимические исследования), а также РФФИ № 19-05-00787 (потoki вещества) и № 19-05-50090 (микрочастицы). Подготовка и калибровка научного оборудования обеспечены грантом РФФИ № 20-17-00200.

Взаимосвязь проявления углеводов и микробиоты в Партизанском районе Приморья

**Обжиров А. И.¹, Пономарева А. Л.¹, Углова Н. И.², Телегин Ю. А.¹, Швалов Д. А.¹,
Калгин В. Ю.¹**

¹Тихоокеанский океанологический институт имени В. И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток, Россия

²Южно-Приморская экспедиция, ПГУ

obzhirov@poi.dvo.ru

В октябре 2019 г. в процессе геолого-съёмочных работ геологами Южно-Приморской экспедиции ПГУ во главе с Белянским Г. С. и Угловой Н. И. в таёжной местности Партизанского района, севернее поселка Молчановка, было обнаружено просачивание воды в верхний слой почвы и пород с образованием плёнок гидроокислов железа. Для выяснения источника просачивания было предложено выполнение в этом районе газовой и микробиологической съёмок совместно с геологами экспедиции.

В районе просачивания были отобраны пробы пород с плёнками и подпочвенный газ (с использованием специального пробоотборника, разработанного в лаборатории газогеохимии ТОИ ДВО РАН). Способ простой: пробивается в почве вертикальное отверстие (в данном случае ломом) на глубину ниже слоя почвы), в вертикальное отверстие опускается шланг, сверху герметизируется от проникновения в отверстие воздуха, делается прокачка подпочвенного газа для очистки от примесей и отбирается проба газа из-под почвы. Кроме того, отбирались пробы воды в ручье, на берегу ручья в грунте с плёнками гидроокислов железа и в проделанных отверстиях почвы отбирались пробы грунта на микробиологический анализ.

В лабораториях газогеохимии и комплексных исследований окружающей среды и минеральных ресурсов ТОИ ДВО РАН из проб воды, пород с плёнками на дегазационной установке был извлечён газ, который анализировался на газовом хроматографе. Также был выполнен анализ подпочвенного газа. Определялись углеводородные газы — метан (CH₄), этилен (C₂H₄), этан (C₂H₆), CO₂, O₂, N₂.

Во всех пробах присутствуют повышенные концентрации метана. В одной пробе, отобранной в мелкозернистом илистом песчанике на берегу речки, концентрация метана оказалась аномальной (0,364 %), как и содержание углекислого газа (2,74 %); это выше фонового содержания в 1000 раз. Кроме того, в данной пробе были обнаружены этилен и этан, что является индикатором возможного наличия в пробе углеводов нефтяного ряда. Этот вывод подтверждает также аномальная концентрация углекислого газа.

Происхождение источника углеводов — вопрос техногенного загрязнения, например возможного пролива топлива транспортом, или поступления из природного источника, связанного, например, с подтоком воды с растворёнными углеводородами, который мигрирует из недр. С учётом геологического строения района проявления, а именно присутствия в фундаменте структуры раздробленных гранитов, миграция из недр флюидов возможна.

Для подтверждения вопроса о возможном источнике углеводов природного происхождения пробы пород были переданы на микробиологическое исследование микробиологической группе этой же лаборатории. Заключение по микробному исследованию сделано руководителем микробиологической группы Пономаревой А. Л.

Для обнаружения возможного наличия термофильной нефтеокисляющей микробиоты выполнялось культивирование в среде накопления, в которой единственным источником углерода являлась сырая нефть, при температуре +60 °С в течение 3 суток. Рост оценивали по 4-балльной шкале.

В двух пробах обнаружена термофильная нефтеокисляющая микробиота, которая может существовать в пласте и подниматься на поверхность вместе с флюидом. В одной пробе рост термофильной микробиоты выражен слабо. В пробах микробиота представлена микрококками, архееподобными клетками и палочками.

В связи с обнаружением термофильной микробиоты и высоких концентраций метана в осадочных отложениях, в воде ручья и в подпочвенном газе, можно сделать вывод о присутствии подтока углеводородов из недр. Присутствует глубинный подток воды, обогащённый гидротроилитом железа, который способствует подтоку углеводородов с водой. Возможно, в этом районе существует зона разлома, по которому происходит миграция воды с углеводородами. В районе проявления углеводородов рекомендуется выполнить комплекс геолого-геофизических, газогеохимических, микробиологических детальных исследований с целью прогноза залежи углеводородов.

Микробные сообщества — индикаторы зон разгрузки подводных газовых сипов

Пименов Н. В.

Институт микробиологии имени С. Н. Виноградского ФИЦ Биотехнологии РАН, Москва, Россия

npimenov@mail.ru

Струйные газовыделения из донных осадков (сипы), приуроченные к шельфу и свалу глубин, были впервые обнаружены в украинском и болгарском секторах Чёрного моря около 30 лет назад и до сих пор привлекают исследователей разных областей знаний. К настоящему времени выявлено более 4000 площадок разгрузки углеводородных газов практически по всей акватории Чёрного моря вплоть до глубины 2084 м. В большинстве случаев изотопный состав углерода метана $\delta^{13}\text{C}$ варьирует от -70 до -50 ‰, что указывает на преобладание в составе сипов биогенного метана микробного происхождения. Первые биогеохимические и микробиологические исследования метановых сипов, расположенных на свале глубин северо-западного шельфа, были проведены сотрудниками ИНМИ РАН и ИнБЮМ НАН Украины в экспедиции на подводной лодке — лаборатории «Бентос-300» в декабре 1990 г. Показано, что в условиях стабильной анаэробной зоны в местах высачивания метана при участии микроорганизмов формируются арагонитовые кораллоподобные постройки. Сегодня метановые сипы свала глубин северо-западного шельфа стали классическим примером образования масштабных карбонатных построек за счёт окисления метана консорциумом метанотрофных архей, относящихся к кластеру ANME 1 и 2, и сульфатредуцирующих бактерий. Сходные по структуре карбонатные корки, покрытые микробными матами, описаны в зонах разгрузки глубоководных грязевых вулканов впадины Сорокина. Значительно более разнообразное микробное сообщество выявлено в районах мелководных метановых сипов, которые широко распространены в прибрежных районах Крымского полуострова. По нашим данным, наиболее активно диффузное и струйное газовыделение происходит в летний период и связано с активизацией микробных процессов цикла метана, но есть примеры и круглогодичного выделения пузырькового газа. Очевидно, что климатические, геофизические, гидрологические и геохимические факторы оказывают существенное влияние на формирование разных микробных сообществ, ассоциированных с метановыми сипами. Так, например, при высокой активности микробиологических процессов места пузырькового и диффузного высачивания метана в районе мыса Тарханкут определялись по наличию бактериальных обрастаний поверхностных осадков нитчатými серобактериями семейства Thiotrichaceae и одноклеточными эpsilon-протеобактериями семейства Helicobacteraceae, что характерно для многих других районов газопроявления в Мировом океане. Другой тип формирования сезонных бактериальных матов в районах обнаружения струйных газовыделений и газонасыщенных восстановленных с поверхности осадков мы наблюдали в 2018–2019 гг. в бухте Мраморная. Здесь в летне-осенний период были зафиксированы белые хлопковидные бактериальные маты, в которых доминировали представители рода *Arcobacter* и рода *Desulfuromonas*, обеспечивающие вовлечение сульфида и элементной серы в биогеохимический круговорот. Такая структура бактериальных матов может быть следствием разгрузки обогащённых сероводородом подземных вод — явления, которое ранее отмечалось на шельфе Чёрного моря и в других прибрежных зонах морских водоёмов. В отличие от всех исследованных нами площадок газовыделений, метановые сипы в бухте Ласпи следует отнести к круглогодичным, причём интенсивность газовыделений не менялась в тёплое и холодное время года. Визу-

ально за трёхлетний период наблюдений нам не удалось зафиксировать формирование бактериальных матов в районах пузырьковых газовыделений. Изотопный состав метана на основании результатов многократных измерений в разные годы и сезоны варьировал от $-43,5$ до $-36,1$ ‰, что указывает на разгрузку в бухте Ласпи глубинного термогенного метана. Низкое содержание органического вещества в песчаных отложениях этого района способствует более активному вовлечению метана в биогеохимический круговорот аэробными метанотрофами и анаэробным консорциумом ANME-2 архей и сульфатредуцирующих бактерий, что характерно для многих глубоководных холодных метановых сипов, где анаэробное и аэробное окисление метана служит основным процессом первого трофического уровня. Особый интерес вызывает также тот факт, что в осадках сипов разных районов нам удалось выявить представителей всех трёх групп ANME архей, при этом доминирующей в осадках прибрежных сипов Крыма была группа ANME-2. Постоянное выявление новых участков подводных газопроявлений в районе Крымского полуострова сохраняет необходимость продолжения комплексного изучения этого явления. При этом особое внимание следует уделить вопросам изучения причин сезонных и межгодовых изменений активности газовыделений, что в конечном счёте определяет структуру и активность ассоциированных микробных сообществ.

Геохимические данные генерации и окисления метана микробными сообществами в донных отложениях грязевого вулкана Кедр (озеро Байкал)

**Погодаева Т. В.¹, Ломакина А. В.¹, Иванов В. Г.¹, Турчин А. В.², Хлыстов О. М.¹,
Крылов А. А.^{1,3,4}, Земская Т. И.¹**

¹Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

²Департамент наук о Земле, Кембриджский университет, Кембридж, Соединённое Королевство

³ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург, Россия

⁴Санкт-Петербургский государственный университет, Центр комплексных морских исследований,
Санкт-Петербург, Россия

tatyana@lin.irk.ru

Быстрое изменение климата требует исследования динамики парниковых газов, в том числе метана, изучения механизмов его образования и потребления в разных экосистемах. Глубоководное пресноводное озеро Байкал уникально наличием грязевых вулканов и газовых сипов, а также присутствием гидратов метана в отложениях озера. Подводные грязевые вулканы разгружаются грязевой брекчией и метанобогатёнными флюидами, способствующими развитию в отложениях специфических микробных сообществ. Осуществляемые с помощью микроорганизмов биогеохимические процессы — анаэробное окисление метана и метаногенез — контролируют, в свою очередь, выбросы метана из отложений.

Грязевой вулкан Кедр расположен на склоне восточного борта южной котловины озера Байкал на глубине 570–640 м. Важной особенностью является его нахождение в области развития угленосных пород танхойской свиты олигоцен-миоценового возраста, которые могут быть идеальным источником газонасыщенного флюида [Nashikubo et al., 2020]. Изотопные аномалии водорода и кислорода поровых вод грязевого вулкана подтвердили глубинный генезис вод в результате дегидратации глинистых минералов, то есть предположительно с глубин древней толщи Танхой под грязевым вулканом Кедр [Minami et al., 2018]. Изотопный и молекулярный анализы газа осадков показали присутствие метана двух типов — катагенетического (термогенного) и вторично-микробного (биodeградированного) метана [Nashikubo et al., 2020]. Анализ $\delta^{13}\text{C}-\text{CO}_2$ газовой смеси отложений выявил изотопное облегчение значений в верхней части гидратсодержащих кернов, объясняемое процессами окисления метана. Однако для значений $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ наблюдался аналогичный тренд, связываемый с процессами метангенерации [Nashikubo et al., 2020].

Выполненный нами анализ геохимических параметров гидратсодержащих донных отложений: содержания метана, концентрационного и компонентного состава поровых вод, изотопии углерода $\delta^{13}\text{C}-\text{DIC}$ — выявил нестационарные условия в вышележащих над газовыми гидратами осадках. Вариации концентраций ионов сульфатов, нитратов, железа и аммония сопровождалась снижением концентраций метана, вариациями значений $\delta^{13}\text{C}-\text{DIC}$ при нарастании содержания бикарбоната, что свидетельствует о сложных биогеохимических процессах, происходящих в разных слоях осадка. Вариации значений $\delta^{13}\text{C}-\text{DIC}$ в сторону облегчения при очень тяжёлых значениях $\delta^{13}\text{C}-\text{CO}_2$ газовой составляющей глубинного флюида [Nashikubo et al., 2020] (а значит, ещё более тяжёлых значениях $\delta^{13}\text{C}-\text{DIC}$ этих вод) подтверждают вероятность протекания разнонаправленных процессов. Возможность одновременного протекания как диагенетического образования метана, так и анаэробного окисления метана в исследованном районе подтверждается присут-

ствием и метаногенных, и метанотрофных архей во всех слоях керна. Анализ структуры сообществ в этих же зонах осадка свидетельствует о формировании различающихся бактериальных и архейных кластеров с разным соотношением доминирующих таксонов микроорганизмов.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0279-2021-0006 «Изучение функционирования гидратных, нефтяных и газообразных углеводородных систем и сопряжённых с ними микробных сообществ в озере Байкал» и гранта РНФ № 19-17-00226.

К вопросу о генезисе метана аэробной зоны водоёмов

**Русанов И. И.¹, Юсупов С. К.¹, Засько Д. Н.², Захарова Е. Е.¹, Самылина О. С.¹,
Кадников В. В.³, Саввичев А. С.¹, Пименов Н. В.¹**

¹Институт микробиологии имени С. Н. Виноградского, ФИЦ Биотехнологии РАН, Москва, Россия

²Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

³Институт биоинженерии имени К. Г. Скрыбина, ФИЦ Биотехнологии РАН, Москва, Россия

rusanov_igor@mail.ru

Последние десятилетия продолжает нарастать фундаментальный научный интерес к динамике биосферного цикла метана — как к одному из ключевых объектов внимания целого ряда научных направлений: биогеохимии, экологии, климатологии, астробиологии, биотехнологии, исследований экстремальных экосистем. Концентрация метана в различных экотопах, где идут активные процессы биогенного образования и окисления метана, несоизмеримо выше, чем в атмосфере. Выход метана в атмосферу обусловлен дисбалансом между процессами метаногенеза и метаноокисления.

В последнее время в литературе, посвящённой исследованию цикла метана в океане, появился термин «океанический метановый парадокс». Суть его в том, что поверхностные кислородсодержащие воды бывают часто пересыщены метаном по сравнению с его концентрацией в атмосфере. Это явление оказалось широко распространено не только в морях и океанах, но и в озёрах различного генезиса. В литературе накоплено достаточно большое количество работ, направленных на поиск ответов на многие важные и актуальные вопросы. Вот некоторые из них:

- Какова природа пиков концентрации метана в верхних (кислородсодержащих) горизонтах водной толщи?
- Каков вклад разных источников в «насыщение» метаном кислородсодержащей водной толщи различных водоёмов?
- Существует ли баланс между микробными процессами продукции и окисления метана в водной толще?
- Консервативны ли аэробные воды по содержанию метана в разные сезоны или существует горизонтальный и вертикальный газовый перенос?
- Каковы механизмы образования метана в аэробной водной толще?

Проведённые нами за последние 30 лет сотни измерений концентрации метана и процессов его образования и окисления в различных морях и озёрах позволяют частично ответить на поставленные выше вопросы.

В кислородсодержащих водах, как правило, обнаруживаются концентрационные максимумы, часто превышающие содержание метана в поверхностных водах.

Эти максимумы располагаются на разных глубинах и даже на соседних станциях значительно отличаются друг от друга. При этом их величины и глубины залегания имеют сезонную зависимость.

Измеренные нами на большом количестве станций интенсивности микробного метаногенеза хорошо совпадали с пиками концентрации метана в аэробной водной толще.

Проведённые лабораторные и натурные эксперименты позволяют предполагать, что повышение концентрации метана, обнаруживаемое в аэробной водной толще, обусловлено деятельностью микроорганизмов в анаэробных микронишах: кишечниках и пеллетах зоопланктона, взвешенных частицах органического вещества, отмирающем фитопланктоне.

В аэробной зоне водоёмов наблюдается положительный баланс в микробном цикле метана, поскольку интенсивность микробной продукции метана заметно превышает скорости метаноокисления. Именно избыточный метан, образующийся микроорганизмами в анаэробных микронишах аэробной зоны, может определять поток метана с акватории в атмосферу.

Исследования проведены в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, а также за счёт гранта РФФИ № 20-04-00487.

Сообщество метанотрофных бактерий водной толщи как микробный фильтр, ограничивающий попадание метана в атмосферу (на примере тундровых озёр полуострова Ямал)

Саввичев А. С.¹, Русанов И. И.¹, Кадников В. В.²

¹Институт микробиологии имени С. Н. Виноградского, ФИЦ Биотехнологии РАН, Москва, Россия

²Институт биоинженерии имени К. Г. Скрябина, ФИЦ Биотехнологии РАН, Москва, Россия

savichev@mail.ru

Объектом наших исследований были термокарстовые озёра Центрального Ямала. Известно, что термокарстовые озёра характеризуются высокими скоростями диффузной эмиссии метана, часто превышающей скорости эмиссии наземных экосистем тундры. Предполагается, что количество выделяемого в атмосферу метана будет увеличиваться при дальнейшем оттаивании вечной мерзлоты. Аллохтонное и автохтонное органическое вещество водной толщи термокарстовых озёр подвергается микробной деструкции в донных отложениях водоёмов. Поскольку содержание сульфат-иона в талых водах Ямала крайне низкое, процесс сульфатредукции выражен слабо и основным продуктом минерализации органического вещества оказывается метан, выделяемый метаногенными археями. Выделяющийся метан активно потребляется метанотрофными бактериями и археями, причём процесс протекает как в аэробных, так и в анаэробных условиях. Метанотрофы играют ключевую роль в круговороте метана, окисляя этот парниковый газ и снижая тем самым его эмиссию в атмосферу. Имеются данные, что в водоёмах, которые расположены на территориях, содержащих многолетнемерзлые породы, метанотрофы потребляют до 60 % образованного метана.

В 2019 г. нами проведены микробиологические, молекулярно-экологические, биогеохимические и изотопно-геохимические исследования в 4 озёрах центральной части полуострова Ямал в зоне сплошной вечной мерзлоты. Два озера были большими (73,6 и 118,6 га) и глубокими (до 10,6 и 12,3 м), встроенными во все геоморфологические уровни полуострова; два других были меньше (3,2 и 4,2 га) и мельче (2,3 и 1,8 м), они образовались в результате термокарста на сплошном (сегрегированном) грунтовом льду. В августе 2019 г. во всех озёрах в течение короткого летнего сезона показана высокая продукция фитопланктона ($340\text{--}1200 \text{ мг С} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$). Образованное органическое вещество попадало в донные отложения, где метан был основным продуктом анаэробной деградации, а его содержание составляло $33\text{--}990 \text{ мкмоль СН}_4 \cdot \text{дм}^{-3}$. Темпы гидрогенотрофного метаногенеза были незначительно выше в отложениях глубоких озёр, чем в мелких. В отложениях всех озёр преобладающими компонентами метаногенного сообщества архей были *Methanoregula* и *Methanosaeta*. Окисление метана ($1,4\text{--}9,9 \text{ мкмоль} \cdot \text{дм}^{-3} \cdot \text{сут}^{-1}$) было зарегистрировано в верхнем слое осадка. В составе метанотрофного сообщества донных отложений, а также в водной толще преобладали бактерии *Methylobacter tundripaludum* (семейство Methylococcaceae). Активность метанотрофных бактерий в глубоких озёрах привела к снижению концентрации растворённого метана в воде озера с $0,8\text{--}4,1$ до $0,4 \text{ мкмоль СН}_4 \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{сут}^{-1}$. Экспериментально установлено, что в неглубоких термокарстовых озёрах геохимический эффект метанотрофов был менее выражен.

Таким образом, небольшие мелководные озёра Ямала ответственны за эмиссию метана — важного парникового газа — в атмосферу. При этом данный процесс особенно выражен в тёплой летнее время года. Напротив, значительный водный слой больших глубоких озёр на Ямале вы-

ступает в качестве микробного фильтра, предотвращающего выброс метана в атмосферу. Можно предположить, что потепление климата приведёт к увеличению общей площади мелких термокарстовых озёр и к поступлению в них доступного для сообщества микроорганизмов органического вещества, что усилит эффект выброса метана в атмосферу.

Исследования проведены за счёт гранта РФФИ № 20-04-00487, а также в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Гидрохимические и микробиологические предпосылки к аэробной продукции метана в водной толще моря Лаптевых

Самылина О. С., Русанов И. И., Тарновецкий И. Ю., Пименов Н. В.

Институт микробиологии имени С. Н. Виноградского, ФИЦ Биотехнологии РАН, Москва, Россия

npimenov@mail.ru

Поверхностные аэробные воды различных регионов Мирового океана часто бывают пересыщены метаном по отношению к атмосфере; это явление принято называть «морской метановый парадокс». Долгое время объяснение данного феномена сводилось к выявлению в водной толще анаэробных микроних с развитием метаногенных архей. Однако в настоящее время «метановый парадокс» объясняют метаболической активностью аэробных пелагических микроорганизмов.

Шельфовые моря Восточной Арктики, в том числе море Лаптевых, известны как мощные источники эмиссии метана в атмосферу [Shakhova et al., 2010 ; Berchet et al., 2016]. В придонных слоях воды в зонах разгрузки метановых сипов концентрация растворённого метана может достигать 5000 нМ [Shakhova et al., 2010]. Считается, что транспорт метана из осадков в атмосферу обусловлен преимущественно пузырьковым переносом, в процессе которого происходит частичное растворение и насыщение метаном водной толщи [Shakhova et al., 2010, 2015]. Именно поэтому повышенные концентрации метана в атмосфере и водной толще арктических морей обычно связывают с активностью многочисленных метановых сипов. Вместе с тем филогенетическое разнообразие и метаболический потенциал пелагических микробных сообществ шельфовой зоны моря Лаптевых остаются неизученными. С целью выявления потенциальных агентов микробной продукции метана в аэробных условиях водной толщи моря Лаптевых в данной работе было проведено сравнительное изучение гидрохимических параметров, а также определение таксономического разнообразия и функциональной активности пелагических микробных сообществ на станциях, расположенных как в поле метановых сипов, так и на удалении от них.

Пробы воды и донных осадков были отобраны в ходе 73-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в октябре 2018 г. в море Лаптевых. Для исследования были выбраны две внешешельфовые и сходные по глубине станции — непосредственно в зоне разгрузки метанового сипа АМК73-6045 (N76.7744°, E125.7620°) и удалённая от зоны пузырьковой разгрузки метана АМК73-6053 (N76.7387°, E128.4512°). Содержание растворённого метана в водной толще на обеих станциях имело сопоставимые значения (25,9–50,4 нМ) вплоть до глубины расположения пикноклина (25 м). На этой глубине зафиксированы локальные максимумы содержания метана с наибольшим значением на удалённой станции АМК73-6053 (116 нМ CH₄). Содержание метана в придонных горизонтах станции АМК73-6045 (сип) достигало 867,9 нМ, в то время как на удалённой станции не превышало средних значений до самого дна.

Поскольку на глубине расположения пикноклина на изученных станциях был выявлен пик концентрации метана, для анализа филогенетического разнообразия микроорганизмов были выбраны три образца, два из которых отобраны с горизонта пикноклина обеих станций (АМК73-6045_25 и АМК73-6053_25), а третий — с горизонта выше пикноклина на станции над сипом (АМК73-6045_16). Данные секвенирования гена 16S рРНК и измерения активности гидрогенотрофного метаногенеза свидетельствуют об отсутствии в зоне пикноклина и в других исследованных горизонтах водной толщи метаногенеза, обусловленного метаногенными археями.

Согласно нашим данным, в среднем от 43 до 75 % (и до 90 % на некоторых горизонтах) углерода углекислоты и углерода метана трансформируется в растворённый органический углерод

в ходе первичной продукции, темновой ассимиляции углекислоты и окисления метана, что создаёт основу для метаболической активности разнообразных групп пелагических гетеротрофных микроорганизмов. Наиболее многочисленными (более 10 % от общего числа прочтений) в исследованных образцах были представители следующих филогенетических групп: клада SAR11 (класс Alphaproteobacteria; 7,2–15,2 %), кластеры SUP05 (семейство Thioglobaceae; 7,5–17,4 %) и OM60(NOR5) (9,6–10,5 %), род *Methyloprofundus* (0,1–11,6 %) и неидентифицированные представители семейства Nitrincolaceae (8,9–13,2 %). Значимыми компонентами сообществ были также представители рода *Planktomarina* (2,7–6,4 %) и клад SAR92 (4,5–6,6 %) и NS5 (2,1–4,3 %). Последовательности архей принадлежали представителям двух филумов: Thaumarchaeota (*Candidatus Nitrosopumilus*; 0,3–1,3 %) и Euryarchaeota (Marine Group II; 0,3–0,6 %). Цианобактерии в образцах не выявлены, но обнаружены последовательности хлоропластов (1,3–4,2 %). Среди представителей клады SAR11 преобладали последовательности подклады Ia (6,1–13,4 % от общего числа прочтений), типичные для высокоширотных областей [Brown et al., 2012]. Последовательности гамма-протеобактерий, отнесённые к кластеру SUP05, оказались близки к подкластеру Arctic96BD-19, включающему аэробных сероокисляющих литогетеротрофных представителей *Ca. Thioglobus* sp. NP1 и *Ca. Thioglobus singularis* PS1. Последовательности, отнесённые к кластеру OM60(NOR5), оказались близки к гетеротрофному виду *Marimicrobium arenosum* CAU 1038. Последовательности неидентифицированных представителей семейства Nitrincolaceae оказались близки к клонам некультивируемых морских гамма-протеобактерий Arctic96B-16 и Ant4D3.

Предшественниками метана в морской воде могут служить метилфосфонат (MPn) и диметилсульфониопропионат (далее — ДМСП) [Karl et al., 2008 ; Damm et al., 2010]. Так, в условиях фосфатного голодания гетеротрофные бактерии в качестве источника фосфора могут использовать MPn, а побочным процессом при этом является восстановление метильной группы до метана [Karl et al., 2008 ; Sosa et al., 2019]. При доступности фосфора, но в условиях лимитирования по азоту выделение метана может быть связано с аэробным разложением ДМСП до диметилсульфида (ДМС) или метилмеркаптана (MeSH) и с последующим анаэробным разложением этих продуктов метилотрофными метаногенами [Damm et al., 2010 ; Kurth et al., 2020]. Таким образом, важной гидрохимической предпосылкой для аэробной продукции метана является соотношение биогенных элементов (P, N). Их содержание на исследованных станциях изменялось по вертикали незначительно, однако расчёт квазиконсервативного индикатора N*, отражающего изменения в пропорции Редфилда, позволяет предположить лимитирование по азоту практически по всей глубине водной толщи над метановым сипом (AMK73-6045) и лимитирование по фосфору на удалённой станции (AMK73-6053).

Наличие MPn и ДМСП в наших образцах не было показано напрямую, однако выявлены микроорганизмы, для которых известна способность к синтезу и разложению этих веществ. MPn синтезируется морскими археями *Nitrosopumilus maritimus* (Thaumarchaeota) и в условиях фосфатного голодания потребляются клетками SAR11. ДМСП синтезируется в качестве осмолита морским фитопланктоном и бактериопланктоном. В исследованных нами образцах способностью утилизировать ДМСП обладают представители клад SAR11, SAR86 и рода *Planktomarina*.

Совместная метаболическая активность этих групп микроорганизмов в олиготрофных арктических морях может обуславливать определённый вклад в процесс аэробной продукции метана. При этом клада SAR11 может являться наиболее значимой в силу массовой представленности в сообществе (7,2–15,2 % от общего числа прочтений) и предполагаемой высокой активности.

Авторы выражают искреннюю благодарность Якушеву Е. В. (НИВА), Гринько А. А. (ТПУ), Семилетову И. П. (ТОИ ДВО РАН), сотрудникам ИНМИ РАН Захаровой Е. Е., Меркелю А. Ю. и Канапацкому Т. А., а также команде 73-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш».

Происхождение метана, углеводородных газов и CO₂ в морских осадках сиповых полей моря Лаптевых

**Севастьянов В. С., Федулов В. С., Федулова В. Ю., Кузнецова О. В., Душенко Н. В.,
Иванов А. А., Ткаченко Е. А.**

Институт геохимии и аналитической химии имени В. И. Вернадского РАН, Москва, Россия

vsev@geokhi.ru

Большая часть метана образуется в донных осадках либо путём микробного метаногенеза, либо путём термического разрушения больших органических молекул. Оба типа генерации метана описаны во многих современных работах. Известно, что термогенный CH₄ содержит больше изотопа ¹³C по сравнению с биогенным метаном.

В море Лаптевых зоны массивированной разгрузки метана впервые были зарегистрированы в 2011 г. в мелководных частях (глубины около 70 м) к северо-западу от Новосибирских островов. В настоящее время зафиксировано 519 источников выделения газов. Наиболее известны два сиповых поля — С15 и Оден на глубине 70 м. Во время арктического рейса № 72 на НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 2018 г. с помощью бокс-корера были отобраны образцы современных морских осадков в области метановых сипов, которые расположены вблизи сочленения хребта Гаккеля с системой разломов на шельфе. В этой области находятся два газовых поля размером несколько километров — поле С15 (станция 5947) и поле Оден (станции 5953-1, 2, 3). Расстояние между ними составляет примерно 50 км.

Концентрацию газов, выделенных из морских осадков, измеряли при помощи газового хроматографа Кристаллюкс-4000М (Йошкар-Ола, Россия) с капиллярными колонками HP-PlotQ (30 м × 0,537 мм × 40 мкм) и ZB-5 (30 м × 0,53 мм × 5 мкм). Изотопный состав углерода газов измеряли методом CF-IRMS (масс-спектрометрия изотопных отношений при постоянном потоке), используя газовый хроматограф HP 6890 (Hewlett Packard) с капиллярной колонкой PoraPlotQ (30 м × 0,32 мм × 0,25 мкм), соединённый с масс-спектрометром изотопных отношений Delta Plus (Thermo Fisher Scientific, Бремен, Германия).

Характерной особенностью состава газов из колонки 5953-3, на поверхности которой находились бактериальные маты, является значительно повышенная концентрация углеводородов. Так, концентрация метана была на 4–5 порядков выше средней концентрации метана в других колонках; вторым по содержанию шёл пропен (с концентрацией на 3 порядка выше среднего уровня концентрации в других колонках), затем — все остальные газы, содержание которых превышало среднюю концентрацию в других колонках на 1–2 порядка. Присутствовали практически все УВ газы (CH₄, C₂H₄, C₂H₆, C₃H₆, C₃H₈, C₄H₈, n-C₄H₁₀, i-C₄H₁₀, n-C₅H₁₂, i-C₅H₁₂), в том числе неопентан, характерный для природных газов и нефтей.

Было получено, что концентрации предельных УВ значительно (1–2 порядка) превышают концентрацию непредельных УВ, что указывает на термогенную природу выделенных газов.

Все углеводороды, выделенные из колонки 5953-3, можно разбить на две группы по картине изменения концентрации с глубиной.

К первой группе относятся предельные углеводороды, концентрация которых резко повышалась до своего максимального значения к горизонту 7 см, а затем практически не изменялась. Повидимому, эти газы просачиваются из глубины, а на горизонте 7 см начинают активно рассеиваться, вследствие чего наблюдается понижение их концентрации.

Ко второй группе относятся неопредельные УВ, для которых характерно постоянное резкое изменение концентрации с глубиной. Изменение концентрации CO_2 ближе ко второй группе: на горизонте 10 см наблюдался общий минимум.

Величина $\delta^{13}\text{C}$ метана изменялась от $-85,1$ до $-68,7$ ‰ при увеличении глубины осадка в колонке 5953-3. Следует отметить, что средняя по вертикальному профилю колонки 5953-3 величина $\delta^{13}\text{C}$ CO_2 имеет наибольшее значение ($-18,5$ ‰) по сравнению с величинами $-21,6$ и $-26,7$ ‰ для колонок станций 5953-1 и 5947 соответственно.

В колонках 5953-1 и 5953-2, отобранных в нескольких метрах от колонки 5953-3 в поле сипов Оден, распределения концентрации УВ газов в вертикальном разрезе осадка не сильно различались между собой, но сильно отличались от распределения УВ в колонке 5953-3.

Наибольшую концентрацию среди серных газов в морских осадках моря Лаптевых имеет диметилсульфид CH_3SCH_3 : значение достигает 138 мкг·л⁻¹. Учитывая, что диметилсульфид имеет преимущественно биогенное происхождение, можно утверждать, что бактериальная деятельность наблюдается до глубины 50 см в осадках даже в арктических условиях.

В распределении концентрации газов в колонке осадка 5947, отобранной в поле сипов С15, имеются некоторые особенности. Наблюдались повышенная средняя концентрация CH_4 и CO_2 (в 3–10 раз) по сравнению с таковой проб 5953-1 и 5953-2 и низкая бактериальная активность. Такое распределение концентрации газов в морском осадке колонки 5947 указывает на то, что существует приток глубинных УВ газов в поверхностные слои.

Таким образом, было показано, что сформированный на глубине термогенный газ при вертикальной миграции через рыхлые осадки в зоне разлома смешивается с биогенным газом, предположительно из газогидратов.

Современные газогеохимические особенности термальных и минеральных источников острова Сахалин, их связь с сейсмичностью и углеводородным потенциалом

Сырбу Н. С.

Тихоокеанский океанологический институт имени В. И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток, Россия

syrbu@poi.dvo.ru

В настоящее время как ответ на глобальные вызовы природы и возрастающие потребности общества особую важность имеют исследования на стыке наук об окружающей среде и минеральных ресурсах.

Сахалинский регион представляет огромный интерес с позиций генезиса и экологической значимости природных газов осадочных бассейнов, скоплений подводных газогидратов, геотермальных и грязевулканических систем, газонасыщенных подземных вод и морских осадков.

Большинство окраинных бассейнов, примыкающих к континенту, заложено на материковом основании. В связи с этим недооценка материковой части окраинных морей, зоны перехода континент — океан, приводит к неполному пониманию процессов распределения газогеохимических полей, напрямую связанных с основными геологическими структурами, тектоникой и углеводородным потенциалом территории. В настоящее время проблема изменчивости газогеохимических параметров в транзитных зонах становится одной из самых актуальных и наиболее сложных.

В работе представлены результаты серии экспедиционных исследований на острове Сахалин в рамках локальных грантов и проектов совместно с коллегами из Института морской геологии и геофизики ДВО РАН.

Выходы газов, как правило, связаны с крупными и мелкими подвижками земной коры, антиклинальными поднятиями, грязевыми вулканами. С тектоническими линейными трещинами связаны многочисленные выходы газов, которые проявляются в виде вытянутых линейных аномальных зон по метану, его гомологам, водороду, а иногда и по углекислому газу и гелию.

За время работ в районе острова Сахалин совместно с коллегами из ИМГиГ ДВО РАН был получен представительный фактический материал. Подавляющее число проб и образцов носят уникальный характер ввиду труднодоступности районов и их небольшой изученности в газогеохимическом аспекте.

Согласно ранее проведённым авторским газогеохимическим исследованиям, на острове Сахалин выделено две эколого-газогеохимические зоны первого порядка — Метановая и Углекисло-Метановая [Shakirov & Syrbu, 2013].

В последние годы газогеохимические исследования продолжены на участках разгрузки термальных и минеральных вод на Сахалине. Всего на острове опробовано свыше 16 объектов, ранее мало или совсем не изученных ввиду их труднодоступности. Полученные данные распределения метана и углекислого газа на водоминеральных участках газовой разгрузки подтвердили наличие двух газогеохимических зон.

Участки повышенных концентраций метана также локально выявлены в южной части острова. Воды опробованных Холмских источников принадлежат к сульфидным (слабосероводородным), распространены в южной части Сахалина на западном побережье (Татарский бассейн) и приурочены к зонам тектонических разломов [Иванов, 1954].

В результате проведённой серии хроматографических анализов выявлено, что Холмские сернистые источники содержат высокие концентрации метана в воде (от 20 666 до 1 701 472 нл·л⁻¹), а также гелия (до 900 нл·л⁻¹) и водорода (до 500 нл·л⁻¹). В некоторых пробах обнаружен этан. В составе глубинных флюидов наряду с водородом, метаном и другими углеводородами присутствуют кислые серосодержащие газы. Поскольку температурный градиент в земной коре составляет около 20 °С·км⁻¹, из глубин к поверхности поступает тёплая вода, подкисленная сильными кислотами. Повышенные концентрации метана, а также наличие тяжёлых углеводородных газов и водорода можно связать с повышением сейсмотектонической активности в регионе, которая, видимо, усиливает продвижение газов в зонах проницаемости.

Очевидна связь проявлений минеральных вод с нефте- и газопроявлениями, а также с проявлениями газогидратов южной части Татарского пролива, находящимися во влиянии проницаемой зоны Западно-Сахалинского разлома. По данным нескольких морских экспедиций, проведённых в рамках международного проекта «Сахалин» (2012–2016 гг., руководитель — д. г.-м. н. Обжиров А. И.), в пределах верхней части островного склона (район залива Делангля) были обнаружены наиболее мелководные из известных проявлений газогидратов, на глубине 322 м, вскрыт полный разрез отложений, характерных для участков с потоком углеводородных газов на морском дне.

Повышенная сейсмичность юга острова и наличие в этом районе активных грязевых вулканов и минеральных источников свидетельствуют об активности разломов. Дополнительным локальным источником углекислого газа, а также водорода в юго-западной зоне являются палеовулканы, однако они имеют единично-групповое распространение.

В центральном Сахалине, в районе Синегорских, Волчанских и Лесогорских минеральных источников, расположено локальное поле повышенных концентраций гелия (от 315 до 625 ppm). Образование контрастного распределения поля гелия коррелирует с системой разломов и зонами проницаемости, а также с выходами гранитоидов в пределах центрального Сахалина (лангерийский гранодиоритовый комплекс) [Александров и др., 2018].

Глубина сахалинских сдвигов определена по глубине очагов землетрясений — 15–20 км; таким глубинам соответствуют зоны трещиноватости, которые насыщены флюидами, соединяющиеся с вертикальными разломами сдвигового типа. В таких местах происходит активная миграция газов. Вдоль Хоккайдо-Сахалинского и Центрально-Сахалинского разломов вертикальная амплитуда смещения блоков составляет 400–600 м. В периоды землетрясений в районе глубоких тектонических прогибов может, вероятно, происходить процесс смешивания глубинных флюидов и седиментогенных растворов, содержащих углеводородные газы, гелий и водород и др. Во время сейсмотектонического сдвига происходит миграция флюидов в проницаемые зоны. Флюиды заполняют трещины и выдавливаются вверх по разлому. Если разлом перекрыт осадочным чехлом (северо-восточная часть Сахалина), то флюиды скапливаются в пластах пористых и трещиноватых пород; если разлом сообщается с земной поверхностью (южная и юго-западная часть Сахалина), то флюиды выходят на поверхность.

Исследования выполнены при поддержке гранта Президента МК-357.2021.1.5.

Концентрации метана в поверхностном слое воды на шельфе Аргентины (предварительные результаты)

Телегин Ю. А.¹, Букреев С. А.², Морозова М. В.², Чукмасов П. В.², Скоробогатов Д. О.²

¹Тихоокеанский океанологический институт имени В. И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток, Россия

²Институт проблем экологии и эволюции имени А. Н. Северцова РАН, Москва, Россия

telegin@poi.dvo.ru

Всё большее внимание уделяется изучению распределения и эмиссии метана из водных объектов в атмосферу, поскольку метан является одним из наиболее активных парниковых газов.

Данное исследование проводилось в Атлантическом океане вдоль шельфа Аргентины в 79-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» (март 2020 г.). Пробы на определение концентраций метана отбирались с поверхностного слоя воды (глубина забора воды — 1,8 м от поверхности моря) по ходу движения судна (underway). Непрерывные измерения температуры и солёности поверхностного слоя воды проводились с помощью термосолонографа SBE 21. Для каждой пробы фиксировались время отбора и навигационная привязка к маршруту движения судна. Все измерения интегрировались непосредственно в массив цифровых гидрологических и метеорологических данных. Анализ газа выполнялся на хроматографе «ЭХО-EW» мод. 2 по стандартным методикам. В данном районе было отобрано и проанализировано 72 пробы морской воды. Концентрации метана варьировали от 46 до 4517 нл·л⁻¹. Максимальная концентрация была обнаружена в районе бассейна Колорадо, где пробурены разведочные скважины. Примечателен тот факт, что в районе с максимальной концентрацией метана и далее вдоль Мальвинского течения в воде стали фиксироваться трупы магеллановых пингвинов, которые до этого не встречались.

Анализ распределения концентраций метана в данном районе позволил сделать следующие предварительные выводы:

- 1) обнаружена аномальная концентрация метана в поверхностном слое воды в районе бассейна Колорадо;
- 2) подтверждено экспериментальными методами наличие потока газа в районе бассейна Колорадо;
- 3) обнаружена пространственная связь аномальных концентраций метана в поверхностном слое воды с гибелью магеллановых пингвинов.

Аэробные метанооксиляющие бактерии в поверхностных осадках российских морей

Тихонова Е. Н., Кадников В. В., Русанов И. И., Пименов Н. В.

Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, Москва, Россия

katerina_inmi@mail.ru

Метан — важнейший парниковый газ, аккумулирующий тепловое излучение более чем в 20 раз эффективнее CO₂, что обуславливает его активное воздействие на климат Земли. Почти 70 % поверхности Земли занимают морские экосистемы, однако метан, выделяемый ими в атмосферу, составляет небольшую часть среди источников со средним значением 14 Тг С·год⁻¹. Это примерно 1,9 % от общей эмиссии метана в атмосферу. Относительно низкий суммарный поток метана в атмосферу из морских экосистем напрямую связан с эффективным микробным фильтром, функционирующим в морских отложениях и водной толще и способным окислять более 80 % произведённого метана до его выброса в атмосферу [Saunio et al., 2016]. Основой метанового фильтра являются метанотрофные бактерии — группа прокариот, структурно и функционально специализированных на использовании метана в качестве источника углерода и энергии [Hanson & Hanson, 1996].

Особый интерес вызывают микробиологические исследования в арктических морях метановые сипов, поскольку в районах газовых высачиваний формируются уникальные сообщества, основу трофической цепи которых составляют метанотрофные бактерии и археи [Pimenov et al., 1999 ; Pimenov et al., 2000 ; Lösekann et al., 2007 ; Savvichev et al., 2018a, b]. Радиоизотопными и молекулярными методами установлено, что в осадочных отложениях зон газовой разгрузки наблюдаются экстремально высокие интенсивности окисления метана, происходящие при участии аэробных метанотрофных бактерий, преимущественно семейства Methylococcaceae, и в анаэробных осадках при участии метанотрофных архей ANME [Lösekann et al., 2007] разных филогенетических групп (ANME-1, ANME-2, ANME-3).

В нашей работе использован комплекс радиоизотопных, газогеохимических, микробиологических и молекулярно-биологических методов для изучения разнообразия аэробных метанооксиляющих бактерий в осадках морей: Восточно-Сибирского, Карского и Лаптевых. Отбор проб производился в местах струйных высачиваний газа и на фоновых станциях. Сразу после отбора образцов проводилось измерение содержания и скорости окисления метана. Затем в лабораторных условиях из образцов осадков была выделена тотальная ДНК и произведён посев на селективную среду для метанотрофных бактерий.

Содержание метана в верхних горизонтах фоновых станций составляло 10–30 мкл·л⁻¹, в то время как для сиповых станций значения доходили до 3000 мкл·л⁻¹.

Для всех исследованных образцов был зафиксирован процесс окисления метана. Максимальные величины интенсивности метаноокисления выявлены в сиповых станциях моря Лаптевых (до 56000 нл CH₄·л⁻¹·сут⁻¹). Минимальные показатели отмечены в осадках фоновой станции Восточно-Сибирского моря (179 нл CH₄·л⁻¹·сут⁻¹).

Основным продуктом микробного окисления метана был растворённый органический углерод (до 74,5 %). До углекислого газа окислялось 40–60 % углерода метана, а в биомассу включалось 0,5–2,4 %.

Метанотрофные бактерии были выявлены в результате секвенирования последовательностей гена 16S рРНК во всех образцах. Их доля в сообществе резко возросла в осадках, отобранных в районах метановых сипов (составляла до 2,3 % от всех бактерий), что обусловлено высоким содержанием и постоянным потоком метана. Для подавляющего большинства образцов доля метанотрофных бактерий составляла 0,02–0,4 % от всех бактерий.

Таксономическое разнообразие метанотрофов, выявленных в исследуемых осадках, было скудным; выявлены представители *Methylococcaceae*, отнесенные к 3 ОТЕ. Последовательности, обнаруженные в ходе данной работы, принадлежали организмам, входящим в кластер Deerp-Sea 1 [Lüke & Frenzel, 2011], на филогенетическом дереве они формировали отдельный кластер вместе с родом *Methyloprofundus*.

Таким образом, показано, что в местах постоянного присутствия метана доля метанооксиляющих бактерий в сообществе возросла, а интенсивность метаноокисления увеличивалась, в то время как таксономическое разнообразие метанотрофов оставалось низким.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 20-04-00126, а также из средств государственного задания ФИЦ Биотехнологии РАН.

Газогеохимические характеристики донных осадков Гданьской и Готландской впадин Балтийского моря

Ульянова М. О.^{1,2}, Ананян А. С.^{1,2}, Егошина Е. Д.³

¹Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

²Балтийский федеральный университет имени И. Канта, Калининград, Россия

³Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

marioches@mail.ru

Газонасыщенные осадки достаточно широко распространены в Балтийском море. Известно, что процессы метаногенеза и метаноокисления связаны в том числе с так называемыми затоками североморских вод, от которых зависит существование аэробных или анаэробных условий в придонном слое впадин. В беззатоковые периоды за счёт снижения концентраций сульфатов и недостатка или полного отсутствия кислорода в придонном слое начинается активное разложение органического вещества, что способствует метаногенезу. С другой стороны, процессы анаэробного окисления метана (далее — АОМ) также влияют на биогеохимические циклы других элементов (например, железа), что в более глобальном плане отражается на поставке питательных веществ и балансе элементов в морской среде.

Работа направлена на изучение геохимических особенностей газонасыщенных осадков двух впадин Балтийского моря, являющихся частью пути распространения трансформированных затоковых вод. В Гданьской впадине выбраны точки с газонасыщенными осадками (далее — ГНО), осадки покмарка, негазонасыщенные (обычные илы); в Готландской впадине — внутри вытянутой узкой полигенетической ложбины и вне её в Готландском контуритовом дрифте. Пробы отобраны в 47-м рейсе НИС «Академик Николай Страхов» в июне 2020 г. и в 56-м рейсе ПС «Академик Иоффе» в августе 2020 г. с помощью герметичной грунтовой и ударной грунтовой трубок. Данные по содержанию метана получены с помощью газового хроматографа, оснащённого детекторами по теплопроводности (Хроматэк-Газохром 2000). Содержание 12 химических элементов (Sr, Pb, As, Zn, Cu, Ni, Co, Fe₂O₃, MnO, Cr, V, TiO₂) определено методом рентгенофлуоресцентной спектрометрии на воздушно-сухих образцах донных осадков. Спектрофотометрически определены водорастворимые формы железа и сульфатов.

В ГНО и покмарке Гданьской впадины наблюдаются повышенные концентрации метана, углекислого газа и азота (CH₄ — 13,5–12,9 %; CO₂ — 2,3–2,4 %; N₂ — 23,9–21,1 %) на горизонтах 50–55 см, тогда как в обычных илах на горизонте 25–30 см содержание метана не превышает 7,9 %. Следует отметить, что сопоставимость увеличения метана и углекислого газа на одних и тех же горизонтах связана, вероятнее всего, с процессами АОМ, при которых продуктом реакции является выделение CO₂.

В ложбине контурита Готландской впадины максимальные концентрации метана (около 24 %) в донных осадках наблюдались на горизонте 40–50 см; на этом же горизонте зафиксирован максимум пропана (2,98 ppm). Вне ложбины максимумы концентрации метана (около 28 %) и пропана (3,42 ppm) приходились на горизонт 30–40 см. Стоит отметить различия в концентрации этана в поверхностном слое (0–10 см): в ложбине здесь зафиксирован минимум (0,44 ppm), а вне ложбины концентрация была на три порядка выше (260 ppm). Также различалось поведение оксида марганца: в ложбине наблюдались два максимума, на поверхности (4880 мг·кг⁻¹) и на нижнем горизонте 40–45 см (6037 мг·кг⁻¹); вне ложбины — один максимум на горизонте 25–30 см (2710 мг·кг⁻¹). От-

личаются эти две точки и качественным составом газовой смеси: в ложбине контурита в верхних горизонтах до 30 см обнаружен этен в диапазоне от 0,4 до 0,3 ppm. Во всех точках природу газов можно охарактеризовать как биогенную.

Анализ данных по элементному составу показал, что повышенные содержания валового железа и марганца в ГНО и покмарке коррелируют с повышенным содержанием метана. Вероятно, при АОМ создаются условия, при которых формы железа и марганца могут переходить из одной в другую и сорбироваться (валовое железо — 7,97 %; водорастворимое — 38 мг·дм⁻³). Сульфаты в поровой воде уменьшаются (например, в покмарке — с 1153 до 78 мг·дм⁻³), тогда как для водорастворимых форм сульфатов на горизонтах с повышенным содержанием метана наблюдается повышенное содержание сульфатов (в покмарке — 4477 мг·дм⁻³), что также можно связать с АОМ, при котором создаются условия для сорбции.

Работа выполнена в рамках госзадания ИО РАН (тема № 0128-2021-0012).

Метан гидрата озера Байкал: характеристики, аномалии и связь с центрами осадконакопления

Хлыстов О. М.

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

oleg@lin.irk.ru

В донных отложениях озера Байкала и в скоплениях газовых гидратов обнаружен метан микробного (низкая примесь гомологов ($C_1/(C_2+C_3) > 1000$) и $\delta^{13}C -110...-50$ ‰) и термогенного происхождения ($C_1/(C_2+C_3) < 100$) и $\delta^{13}C -50...-20$ ‰), а также гидратный газ смешанного типа. Последний имеет значение $\delta^{13}C$ метана, типичное для микробного газа ($\delta^{13}C-C_1 -69,5...-52,6$ ‰), но содержит в качестве примеси этан термогенного происхождения ($\delta^{13}C-C_2 -30,2...-20,8$ ‰) [Калмычков и др., 2006 ; Nachikubo et al., 2010]. В последнее время, наряду с термогенным метаном, выделяют вторично-микробный метан, образующийся при изменении теплового режима нефте-материнских толщ [Milkov, 2011]. Он также обнаружен на Байкале на глубинах 2 м ниже дна (грязевой вулкан Кедр) и имеет $\delta^{13}C -47,8...-44,0$ ‰, характеризуется повышенным значением этана, от 2,1 до 15,6 % ($C_1/(C_2+C_3)$ от 5 до 47) и значениями $\delta^{13}C$ в $CO_2 +2...+20$ ‰ [Nachikubo et al., 2020]. Следует отметить, что на Байкале гомологи метана в основном представлены этаном, причём в некоторых образцах его содержание достигает 3–4 %, а пропан и бутан (C_{3+}) присутствуют в следовых количествах. Это связывают с тем, что такой газ является продуктом вторичных преобразований, которые существенным образом меняют компонентный состав углеводородных газов. Наиболее вероятной причиной низкой концентрации C_{3+} является процесс анаэробной биодегradации гомологов метана [Калмычков и др., 2017 ; Калмычков и др., 2019 ; Nachikubo et al., 2020a].

Анализ распределения гидратоносных структур на дне озера и наличия в них термогенного метана [Nachikubo et al., 2020b] показывает, что в Среднем Байкале первая из двух его находок связана с существующей разгрузкой нефти Горевого утёса, а вторая приурочена к грязевым вулканам на восточном фланге древней авандельты реки Селенга (Кукуй провинция). В Южном Байкале они связаны с сипом Посольская банка (западный фланг этой же авандельты) и грязевым вулканом Кедр, расположенным в области распространения погребённых угленосных неогеновых толщ танхойской свиты. С последним также сопряжены находки вторично-микробного метана [Nachikubo et al., 2020a]. Таким образом, термогенный метан напрямую связан с древними и погребёнными дельтовыми и озёрно-болотными отложениями, а также с нефтепроявлениями.

Распространение проявлений микробного и смешанного типа газа не имеет связи с определёнными геологическими структурами. Иногда они чередуются между собой в одной газогидратной провинции в расположенных рядом друг с другом грязевых вулканах. Скопления газовых гидратов с данными типами газа распространены повсеместно и приурочены как к погребённым или современным дельтам рек, так и к депоцентрам — центральным частям котловин. На восточном склоне котловин микробный метан как сформировался на месте его обнаружения, так и поступал, вероятно, по проницаемым наклонённым слоям донных отложений, поднимающихся от центра котловины к её флангам.

Смешанный тип гидратного газа в байкальских отложениях, определяемый сейчас благодаря наличию термогенного этана с микробным метаном, требует, вероятнее всего, ещё доработки модели его образования в разных местах озера с учётом микробиологической активности и геотермических характеристик байкальской впадины.

Концентрации метана в поверхностном слое воды Японского моря и сейсмические события региона

Холмогоров А. О.

Тихоокеанский океанологический институт имени В. И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток, Россия

kholmogorov.ao@poi.dvo.ru

Пространственное распределение метана, растворённого в морской воде, во взаимосвязи с сейсмической активностью играет исключительно важную роль. На примере материала 54-го рейса НИС «Академик Опарин» рассмотрена концентрация метана в приповерхностном слое морской воды ($\text{нМ}\cdot\text{л}^{-1}$); на основе полученных результатов можно проследить связь сейсмической активности и концентрации метана в пробах морской воды.

Отбор проб морской воды для определения концентрации метана с дискретностью 1–2 часа осуществлялся по ходу движения судна с помощью судового заборного проточного устройства на глубине 4 м от поверхности моря; затем вода поступала в термосолинограф SBE 21 SEACAT (Washington, USA) для непрерывного определения температуры и солёности. Для выражения концентрации метана в морской воде выбрана объёмная доля — $\text{нл}\cdot\text{л}^{-1}$, одна из общепринятых размерностей при газогеохимических исследованиях.

Для сопоставительного анализа были использованы данные о землетрясениях, произошедших в период проведения рейса (29.09.2017–31.10.2017) в пределах разломов рассматриваемой области (Японское море). Данные взяты с сайта <https://earthquake.usgs.gov>.

В период проведения работ (экспедиции) зарегистрировано 33 землетрясения. В основном это поверхностные землетрясения с глубинами до 70 км; 4 события можно отнести к промежуточным, с глубиной 100–300 км; 3 — к глубоководным, с глубинами 358, 368 и 374 км.

Выявлена тенденция к повышению концентрации метана в пробах морской воды после землетрясений, что указывает на связь данных явлений. Возможно, после землетрясений флюидопроводящие каналы литосферы деформируются либо закупориваются, что приводит к накоплению поднимающихся газов в теле литосферы. Резкий рост концентрации и такой же резкий спад с последующим сохранением уровня концентрации вызван интенсивным выбросом скопившихся газов через новые флюидопроводящие каналы литосферы, образованные избыточным давлением газов и флюидов. При этом явление афтершоков представляется следствием закупорки каналов, приводящей к образованию новой области скопления газов и их взрыва.

Выявлена тенденция к понижению уровня концентрации метана в пробах морской воды перед землетрясениями.

Например, 5 ноября концентрация метана в пробе морской воды, отобранной в 03:00, составила $8,766 \text{ нМ}\cdot\text{л}^{-1}$; затем в течение 2 ч наблюдалось её резкое падение до $5,195 \text{ нМ}\cdot\text{л}^{-1}$, а в 05:06 произошло землетрясение магнитудой 4,9 с глубиной эпицентра 35 км; далее в течение 3 ч отмечен резкий рост показателя концентрации метана до $7,793 \text{ нМ}\cdot\text{л}^{-1}$. Дальнейшее наблюдение за изменением концентрации метана показало его постепенное снижение до момента землетрясения в 11:57 магнитудой 4,9 на глубине 47 км.

Концентрация метана 17 ноября варьировала от 4,228 до $6,083 \text{ нМ}\cdot\text{л}^{-1}$. Однако в пробах морской воды, отобранных с 16:00 до 22:00, отражена тенденция к стремительному снижению концентрации метана; в 01:50 18 ноября произошло землетрясение на глубине 13 км магнитудой 4,6, после которого наблюдался пульсирующий рост концентрации метана в течение 14 ч (до 16:00).

На примерах видно падение уровня концентрации метана на 10–30 % за 2–4 ч до землетрясения. Подобная картина наблюдается перед каждым землетрясением, произошедшим в рассматриваемый период, причём уровень концентрации метана снижается вне зависимости от глубины землетрясения.

Триггер землетрясения неким образом связан с процессом глубинного образования метана и его трансферта к поверхности литосферы.

Термохимические и ядерные реакции, участвующие в формировании и трансферте метана, связаны с механизмом сейсмической активности.

С учётом данных по снижению уровня концентрации метана в пробах морской воды можно предположить, что относительно интенсивное движение литосферных плит происходит примерно за 2–4 ч до их контакта друг с другом, приводящего к землетрясению. Видимо, факторы, приводящие литосферные плиты в движение, связаны с процессами образования и трансферта метана к поверхности. Концентрация метана обнаруживает зависимость от геодинамических событий и реагирует на них, что особенно заметно в росте концентрации метана после землетрясения. Это можно объяснить тем, что высвобождающаяся при землетрясении энергия воздействует на скопившийся в газо-флюидопроводящих каналах метан, приводя к увеличению интенсивности его эмиссии из тела литосферы. При этом примечательно, что реакция концентрации метана на землетрясение с более глубоким эпицентром проявляется позже и длится дольше. Снижение концентрации метана перед землетрясением можно объяснить деформациями газо-флюидопроводящих каналов из-за накопления напряжённости литосферных блоков непосредственно перед землетрясением.

Метагеномика метанового покмарка в Балтийском море

Ясаков Т. Р.¹, Канапацкий Т. А.², Корженков А. А.³, Ульянова М. О.⁴, Пименов Н. В.²

¹Уфимский федеральный исследовательский центр РАН, Уфимский Институт биологии, Уфа, Россия

²Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН,

Институт микробиологии имени С. Н. Виноградского, Москва, Россия

³Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,
Курчатовский геномный центр, Москва, Россия

⁴Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

timkanap_inmi@mail.ru

В Балтийском море широко распространены кратероподобные углубления на морском дне — покмарки, формирование которых связывают с разгрузкой углеводородных газов. Высокое содержание метана в донных осадках покмарков способствует развитию метанотрофного микробного сообщества. Часто покмарки встречаются на достаточно больших глубинах, где в придонных горизонтах наблюдается значительное снижение или полное отсутствие кислорода. В таких условиях в осадочной толще полностью отсутствует окисленная зона или поверхностный окисленный слой не превышает нескольких миллиметров. Известно, что в восстановленных осадочных отложениях основную роль в процессах окисления метана играют метанотрофные археи ANME, анаэробно окисляющие метан в консорциуме с сульфатредуцирующими бактериями. Многочисленные молекулярно-биологические исследования таксономического разнообразия микробных сообществ подводных метановых сипов и грязевых вулканов позволили выявить несколько филогенетических групп микроорганизмов, которые, наряду с ANME-консорциумами, обычно присутствуют в газонасыщенных осадках. Однако до сих пор основное внимание при исследовании биоразнообразия микробных сообществ покмарков в Балтийском море было направлено на молекулярную детекцию метанотрофных архей и сульфатредуцирующих бактерий на основании секвенирования гена 16S рРНК и выявления присутствия генов *mcrA*, *dsrB*. При этом детального анализа присутствия других доминирующих прокариот в осадках покмарка не проводили.

Целью нашей работы было метагеномное исследование биоразнообразия прокариот метанового покмарка Балтийского моря.

Отбор донных осадков проводили в ходе 64-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш». Объектом исследования являлось микробное сообщество метанового покмарка Балтийского моря ст. 5288 (55°21.67'N, 19°48.89'E; глубина 92 м), где ранее радиоизотопным методом нами были измерены высокие скорости анаэробного окисления метана, сопряжённого с сульфатредукцией, а также выявлено присутствие ANME архей 1 и 2 групп.

По результатам высокопроизводительного секвенирования в исследованных образцах донных осадков было обнаружено присутствие в сообществе покмарка 50 бактериальных филумов, из которых 21 представляли кандидатные филумы. В среднем 78,3 % всех последовательностей представляли бактерии, а 15,1 % — археи; 6,6 % были отнесены к неизвестным операционным таксономическим единицам (OTU). Представители фил. Proteobacteria, Planctomycetes, Chloroflexi и Atribacteria доминировали в исследованных осадках (52,5 % от всех прокариот). Представленные в минорных количествах последовательности включали такие филы, как Actinobacteria, Armatimonadetes, Chlamydiae, Chlorobi, Cyanobacteria, Deferribacteres, Deinococcus—Thermus, Firmicutes, Lentisphaerae, Tenericutes, Verrucomicrobia и др. Домен археи был представлен филумами Thaumarchaeota (22,2 %) и Euryarchaeota (39,2 %) и некультивируемыми ар-

хеями (38,6 %). Среди ANME были идентифицированы ANME-1, ANME-2 и ANME-3, а среди сульфатредуцирующих бактерий — партнёров ANME идентифицированы представители групп SEEP-SRB1, SEEP-SRB2 и SEEP-SRB4. При этом представленность представителей филума Atribacteria, группы MBG-B и класса Dehalococcoidia (Chloroflexi) положительно коррелировала со скоростью окисления метана.

Таким образом, в данной работе впервые был проведён метагеномный анализ микробного сообщества покмарка в Балтийском море от поверхности осадков до горизонта 280 см. Обсуждается возможное взаимодействие представителей филума Atribacteria, группы MBG-B, класса Dehalococcoidia (Chloroflexi) с консорциумами ANME-архей.



Научное издание

Изучение водных и наземных экосистем: история и современность

Международная научная конференция,
посвящённая 150-летию Севастопольской биологической станции —
Института биологии южных морей имени А. О. Ковалевского
и 45-летию НИС «Профессор Водяницкий»

13–18 сентября 2021 г.
Севастополь, Российская Федерация

Вёрстка, макет:
Сергеева А. В.

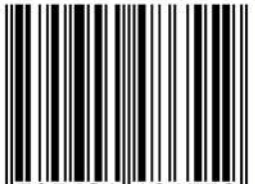
Корректор:
Копытова О. Ю.

Дизайн обложки:
Майборода Д. И.

*Ответственность за содержание опубликованных материалов
несут авторы.*

ФИЦ ИнБЮМ
пр-т Нахимова, 2, г. Севастополь, 299011, РФ
Тел.: +7 8692 54-55-50

ISBN 978-5-6044865-5-9



9 785604 486559