

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии
Карельского научного центра Российской академии наук
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Зоологический институт
Российской академии наук
Отделение биологических наук РАН
Программа фундаментальных исследований на 2012–2014 гг.:
«Биологические ресурсы России: динамика в условиях глобальных климатических
и антропогенных воздействий»
Научный совет РАН по гидробиологии и ихтиологии
Гидробиологическое общество РАН
Паразитологическое общество РАН
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет»
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования «Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова»
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования «Петрозаводский государственный университет»

ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ, РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ОХРАНЫ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ БЕЛОГО МОРЯ

**XII Международная конференция
с элементами школы
для молодых ученых и аспирантов**

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ

**ПЕТРОЗАВОДСК
2013**

УДК 502.171(268.46)(063)
ББК 20.18(99)
П78

П78 Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. XII Международная конференция с элементами школы для молодых ученых и аспирантов. Сборник материалов. Петрозаводск, Россия. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2013. 361 с.

ISBN 978-5-9274-0578-7

В сборник вошли материалы устных и стендовых сообщений, представленных на XII Международной конференции с элементами школы для молодых ученых и аспирантов «Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря». Материалы подготовлены по следующим направлениям: климат и тенденции наблюдаемых изменений, водный баланс Белого моря; структура, функционирование и продуктивность экосистем Белого моря; биоразнообразие, таксономия и морфология растений и животных Белого моря; экология, физиология, биохимия и генетика беломорских организмов; состояние воспроизводства, запасов, марикультура и динамика вылова промысловых биоресурсов Белого моря и впадающих в него рек.

Редколлегия сборника:

чл.-корр. РАН Н.Н. Немова (ИБ КарНЦ РАН)
к.б.н. С.А. Мурзина (ИБ КарНЦ РАН)
к.б.н. О.В. Мещерякова (ИБ КарЦН РАН)

Сборник издан при финансовой поддержке:

Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 13-04-06076
Отделения биологических наук РАН

ISBN 978-5-9274-0578-7

© Карельский научный центр РАН, 2013
© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии Карельского научного центра Российской академии наук, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

ТАКИЕ ПОХОЖИЕ, НО ВСЕ ЖЕ РАЗНЫЕ – ПРЕДСТАВИТЕЛИ РОДА PSEUDOCALANUS В БЕЛОМ МОРЕ	
А.А. Абрамова, Е.Л. Мархасева	10
У ИСТОКОВ ПРОЕКТА «БЕЛОЕ МОРЕ» (страницы истории)	
А.П. Алексеев	13
ДИНАМИКА ПОСЕЛЕНИЯ ХИЩНОГО БРЮХОНОГОГО AMAUOPSIS ISLANDICA (GMELIN, 1791) (NATICIDAE: CAENOCASTROPODA) НА ЛИТОРАЛИ ЗАПОВЕДНЫХ ОСТРОВОВ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЕ	
Д.А. Аристов	21
ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ДОННЫХ СООБЩЕСТВ ПОРОГОВ РЕК КАРЕЛИИ И КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА	
И.А. Барышев	24
ЗАВИСИМОСТЬ СЕРДЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ MYTILUS EDULIS L. ОТ УРОВНЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ КИСЛОРОДА, ТЕМПЕРАТУРЫ И КОНЦЕНТРАЦИИ ФИТОПЛАНКТОНА В ЗИМНЕ-ВЕСЕННЕЕ ВРЕМЯ	
И.Н. Бахмет	27
МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ И ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МИДИЙ MYTILUS EDULIS БЕЛОГО МОРЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ ПОПУЛЯЦИИ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2012 г.	
Т.В. Безгачина, А.М. Савоськина, С.В. Добренкова, Д.М. Корчагин	31
ПЕРВЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОБИЛИИ ПИКОФИТОПЛАНКТОНА В ОНЕЖСКОМ ЗАЛИВЕ БЕЛОГО МОРЕ	
Т.А. Белевич, Л.В. Ильяш, А.Н. Ступникова, А.В. Дриц	33
КОЛИЧЕСТВО И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СЕСТОНА В БЕЛОМ МОРЕ	
В.Я. Бергер, М.В. Герасимова, М.В. Митяев, В.В. Смирнов	36
ОСОБЕННОСТИ ПИТАНИЯ ЛИТОРАЛЬНЫХ АМФИПОД РОДА GAMMARUS (КАНДАЛАКШКИЙ ЗАЛИВ, БЕЛОМ МОРЕ)	
Н.А. Березина, М.И. Задевалова	40
ЕЩЁ О ЛИНЬКЕ ЧИРКОВ-СВИСТУНКОВ НА БЕЛОМ МОРЕ	
В.В. Бианки	44
БЕЗНАДЗОРНЫЕ СОБАКИ В ЗАПОВЕДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА	
Н.С. Бойко, В.Б. Вошиков	47
МИКРОСКОПИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ КОЛОНИАЛЬНОГО ГИДРОИДА CLAVA MULICORNIS (FORSSKÅL, 1775) (HYDROZOA, ANTHOMEDUSAE)	
Ф.В. Большаков, И.А. Косевич	50
ИЗМЕНЕНИЕ АКТИВНОСТИ ГЛУТАТИОН S-ТРАНСФЕРАЗЫ У МИДИЙ MYTILUS EDULIS L. ПРИ СУТОЧНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ	
Е.В. Борвинская, Л.П. Смирнов, Э.Э. Мамедова, О.Б. Столяр	53
ТРАНСПОРТ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ТРОФИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ ЭКОСИСТЕМ БЕЛОГО МОРЕ	
Д.Ф. Будько, Л.Л. Дёмина, О.М. Горшкова, Д.М. Мартынова	56

ОПЫТ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОДУКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В БЕЛОМ МОРЕ В.В. Бульон, В.Я. Бергер, И.М. Примаков	60
ПАССИВНЫЕ МИГРАЦИИ ИКРИНОК И ЛИЧИНОК ТРЕСКИ В БЕЛОМ МОРЕ Е.А. Бурыкина, Ю.Б. Бурыкин	64
РАЙОНЫ НЕРЕСТА И ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ТРЕСКИ В БЕЛОМ МОРЕ Е.А. Бурыкина, Ю.Б. Бурыкин	67
СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИИ БЕЛОМОРСКОЙ ТРЕСКИ, ФОРМИРУЮЩАЯСЯ В ПЕРИОД РАННЕГО ОНТОГЕНЕЗА Е.А. Бурыкина, Ю.Б. Бурыкин	71
ИЗМЕНЕНИЕ АКТИВНОСТИ ЛИЗОСОМАЛЬНЫХ ГЛИКОЗИДАЗ У МИДИЙ <i>M. EDULIS</i> ПОД ВЛИЯНИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ Е.А. Вдовиченко, Р.У. Высоцкая, И.Н. Бахмет	74
ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ЛОСОСЕВЫХ НЕРЕСТОВЫХ РЕК ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА (БАССЕЙН БЕ- ЛОГО МОРЕ)	
А.Е. Веселов, Д.С. Павлов, Д.А. Ефремов, М.И. Сысоева, Г.А. Нагирняк, М.А. Ручьев	76
ВЛИЯНИЕ БЕЛКОВ ЦЕЛОМИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТИ МОРСКОЙ ЗВЕЗДЫ <i>ASTERIAS RUBENS</i> L. НА НАЧАЛЬНЫЕ СТАДИИ РЕГЕНЕРАЦИИ ТКАНЕЙ МОРСКИХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ И МЛЕКОПИТАЮЩИХ И.В. Воронкина, Н.А. Шарлаимова, М.В. Протасов, Б. Хернрот, Г.П. Пинаев	80
УЛЬТРАСТРУКТУРА ПАРЕНХИМЫ ДВУХ ВИДОВ ПРЯМОКИШЕЧНЫХ ТУРБЕЛЛЯРИЙ (<i>NEORHABDOSOELA</i>) БЕЛОГО МОРЕ	
Г.Р. Газизова, Я.И. Заботин	84
ОПЫТ ПОСТРОЕНИЯ ТАБЛИЦЫ ВЫЖИВАНИЯ ДЛЯ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ <i>MYA ARENARIA</i> L. В БЕЛОМ МОРЕ А.В. Герасимова, Н.В. Максимович	87
ВЗВЕШЕННОЕ ВЕЩЕСТВО В ГУБЕ ЧУПА, КАРЕЛЬСКОЕ ПОБЕРЕЖЬЕ БЕЛОГО МОРЕ	
М.В. Герасимова, М.В. Митяев	91
ВКЛАД МОРСКИХ И КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ В СОСТАВ АТМОСФЕРНЫХ ВЫПАДЕНИЙ НА ОСТРОВНОЙ ЧАСТИ БЕЛОГО МОРЕ	
Т.Т. Горбачева, С.И. Мазухина	95
РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ И ПОПУЛЯЦИОННО-ГЕНЕ- ТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ У АККЛИМАТИЗИРОВАННОЙ В БАССЕЙНЕ БЕЛОГО МОРЕ ГОРБУШИ	
Н.В. Гордеева, Е.А. Салменкова, С.В. Прусов	99
СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ СТАТУС БАКТЕРИАЛЬНОГО СИМБИОНТА БЕЛОМОР- СКОЙ ГУБКИ <i>HALISARCA DUJARDINI</i> (PORIFERA, DEMOSPONGIAE)	
А.А. Гудкова, А.Э. Вишняков	103
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАКРОЗООБЕНТОСА У КАРЕЛЬСКОГО БЕРЕГА ОНЕЖ- СКОГО В КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВОВ	
Н.В. Денисенко, К.Л. Биягов	106
ПАРАЗИТОФАУНА ХАРИУСА ИЗ БАССЕЙНА РЕКИ С. ДВИНА Г.Н. Доровских, В.Г. Степанов	110

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛОСОСЕВЫХ РЫБ, АККЛИМАТИЗИРОВАННЫХ В МОРСКИХ И ОЗЕРНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ	
Е.А. Дорофеева	113
РАЗМЕРНО-ВОЗРАСТНАЯ СТРУКТУРА ТРЕХИГЛОЙ КОЛЮШКИ <i>GASTEROSTEUS ACULEATUS</i> L. НА НЕРЕСТИЛИЩАХ В БЕЛОМ МОРЕ	
П.Н. Ершов, А.А. Сухотин	117
ПОЛОВОЙ ДИМОРФИЗМ В РОСТЕ У ТРЕХИГЛОЙ КОЛЮШКИ <i>GASTEROSTEUS ACULEATUS</i> L. БЕЛОГО МОРЯ	
П.Н. Ершов, А.А. Сухотин	121
ХАРАКТЕРИСТИКИ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В БЕЛОМ МОРЕ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ РАДИОЛОКАЦИИ	
А.В. Зимин, И.Е. Козлов, Б. Шапрон, Ф.Ю. Мохнаткин, А.Г. Мясоедов, О.А. Атаджанова	124
ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ РОСТ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЖЕМЧУЖНИЦЫ <i>MARGARITIFERA MARGARITIFERA</i> (BIVALVIA, MARGARITIFERIDAE)	
А.А. Зотин	127
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ФАУНЫ ПАРАЗИТОВ РЫБ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ ТРАНС-ФОРМАЦИИ	
Е.П. Иешко, Л.В. Аникиева, Д.И. Лебедева	130
ИЗМЕНЕНИЯ В СТРУКТУРЕ ИХТИОФАУНЫ СЕВЕРНЫХ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ИХ ХОЗЯЙСТВЕННОГО ОСВОЕНИЯ	
Н.В. Ильмаст, О.П. Стерлигова	133
НЕТИПИЧНОЕ ДОМИНИРОВАНИЕ ДИНОФЛАГЕЛЛЯТ В ФИТОПЛАНКТОНЕ БЕЛОГО МОРЯ В ИЮЛЕ 2009 г.	
Л.В. Ильяш, Л.С. Житина, В.П. Шевченко, М.Д. Кравчишина	135
ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ УЯЗВИМОСТИ К НЕФТЯНОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ НА ПРИМЕРЕ БЕЛОГО МОРЯ	
О.П. Калинин, А.Н. Карнатов, П.С. Ващенко	139
ОСОБЕННОСТИ КАРДИОАКТИВНОСТИ И ЗАЩИТНОГО ПОВЕДЕНИЯ БЕЛОМОРСКОГО МОЛЛЮСКА <i>TESTUDINALIA TESULATA</i>	
Н.Н. Камардин, В.Ф. Любимцев, С.В. Холодкевич	144
СОДЕРЖАНИЕ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВОДАХ БЕЛОГО МОРЯ	
Н.В. Климовский, И.В. Петракова, А.Л. Левицкий	148
ВНУТРИВИДОВАЯ КОНКУРЕНЦИЯ КАК ПРИЧИНА ЦИКЛИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ПЛОТНОСТИ ПОПУЛЯЦИИ <i>LITTORINA OBTUSATA</i> (GASTROPODA: LITTORINIDAE)	
Е.В. Козминский	151
БИОРАЗНООБРАЗИЕ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАПОВЕДНИКА: ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ, 2012 г.	
А.С. Корякин, Е.В. Шутова, Л.А. Москвичева	155
ЗООБЕНТОСНЫЕ СООБЩЕСТВА ЛИТОРАЛИ ГУБЫ ЧУПА КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ	
П.П. Кравец, С.С. Малавенда, А.В. Деревщиков, С.А. Кращенко	158

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛО- РОФИЛЛА «а» В БЕЛОМ МОРЕ	
М.Д. Кравчишина, А.С. Филиппов, А.А. Ключиткин, Н.В. Политова, А.В. Толсти- ков, В.П. Шевченко	160
ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ ОТДЕЛЯЮЩИХСЯ ОТ МОРЯ ВОДОЕМОВ НА КА- РЕЛЬСКОМ БЕРЕГУ БЕЛОГО МОРЯ	
Е.Д. Краснова, А.Н. Пантюлин, Т.А. Рогатых, Д.А. Воронов	164
ВЛИЯНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ЛЬДА НА ФОРМИРОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТРАТИФИКАЦИИ В СОЛЕННЫХ ЛАГУНАХ, ОТДЕЛЯЮЩИХСЯ ОТ БЕЛОГО МОРЯ	
Е.Д. Краснова, Д.А. Воронов, А.Д. Воронова	168
ИЗМЕНЕНИЕ АКТИВНОСТИ ЛИЗОСОМАЛЬНЫХ ПРОТЕИНАЗ В ЖАБРАХ И ГЕПАТОПАНКРЕАСЕ МИДИЙ <i>MYTILUS EDULIS</i> L. БЕЛОГО МОРЯ ПРИ «ШОКОВОМ» ИЗМЕНЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБИТАНИЯ	
М.Ю. Крупнова, Н.Н. Немова, И.Н. Бахмет	171
ВИДОВОЙ СОСТАВ И ОБИЛИЕ ВОДОРΟΣЛЕЙ В ПРИБРЕЖНОМ ЛЬДУ ГУБЫ ЧУПА БЕЛОГО МОРЯ	
В.А. Кудрявцева	173
ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ФАКТОРА НА ВСТРЕЧАЕМОСТЬ КОПЕПОД	
И.П. Кутчева	176
ВЛИЯНИЕ БИОТИЧЕСКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НА МИДИЙ <i>MYTILUS EDULIS</i> БЕЛОГО МОРЯ	
Е.И. Кяйвярйнен, Н.Н. Немова, В.В. Халаман	178
ПРОЦЕСС РЕАГРЕГАЦИИ КЛЕТОК У ДВУХ ВИДОВ ГУБОК БЕЛОГО МОРЯ	
А.И. Лавров, И.А. Косевич	181
СКОЛЬКО СЕЙЧАС КОЛЮШКИ В БЕЛОМ МОРЕ?	
Д.Л. Лайус, Т.С. Иванова, М.В. Иванов, Е.В. Шатских	185
ОПЫТ ИНДУСТРИАЛЬНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ КУБЕНСКОЙ НЕЛЬМЫ В ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ	
А.А. Лютиков	189
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИОННОГО СОСТАВА АТМО- СФЕРНЫХ ВЫПАДЕНИЙ НА ОСТРОВНОЙ ЧАСТИ БЕЛОГО МОРЯ	
С.И. Мазухина, Т.Т. Горбачева	192
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ РАЗЛИВА НЕФТИ НА ПРИМЕРЕ ПРИ- РОДНЫХ ВОД КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА	
С.И. Мазухина, В.А. Маслובоев, К.В. Чудненко, В.М. Хайтов, В.В. Максимова	196
ХАРАКТЕРИСТИКА ФИТОПЛАНКТОНА БЕЛОГО МОРЯ В 2001–2008 гг.	
И.Ю. Македонская, Н.Г. Отченaш	199
РАЗМЕРНО-ВОЗРСТНАЯ СТРУКТУРА ПОСЕЛЕНИЙ <i>MYTILUS EDULIS</i> L. НА ЛИТОРАЛИ ГУБЫ ЧУПА И ОСТРОВА РЯЖКОВ	
А.А. Машнин, П.П. Кравец	202
ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ СУХОГО МОРЯ (ДВИНСКИЙ ЗАЛИВ БЕЛОГО МОРЯ)	
И.В. Мискевич	205
СООБЩЕСТВО РЫБ НЕБОЛЬШОГО ПОЛУИЗОЛИРОВАННОГО МОРСКОГО ВОДОЕМА В КЕРЕТСКОМ АРХИПЕЛАГЕ (КАНДАЛАКШСКИЙ ЗАЛИВ)	
М.В. Моганова, Т.С. Иванова, М.В. Иванов, Д.Л. Лайус	208

ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НА ФИТОЦЕНОЗЫ ГУБЫ СУХОЕ МОРЕ ДВИНСКОГО ЗАЛИВА И УСТЬЕВ ПРИЛЕГАЮЩИХ МАЛЫХ ВОДОТОКОВ	
Д.С. Мосеев	211
МОНИТОРИНГОВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ФУКУСОВЫХ СООБЩЕСТВ НА ПРО- МЫСЛОВОМ УЧАСТКЕ о. СОЛОВЕЦКИЙ	
О.Н. Мохова	215
ТЕМПЕРАТУРНЫЕ АДАПТАЦИИ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНЫХ ПРОТЕИНАЗ БЕС- ПОЗВОНОЧНЫХ СЕВЕРО-ЕВРОПЕЙСКОГО БАСЕЙНА	
В.А. Мухин, В.Ю. Новиков, Е.Б. Смирнова	218
ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕТИКИ ВИДООБРАЗОВАНИЯ У ТРЕХИГЛОЙ КОЛЮШКИ	
Н.С. Мюге	221
МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ВОДОСБОРЕ БЕЛОГО МОРЯ	
Л.Е. Назарова	222
ПОЧЕМУ В БЕЛОМ МОРЕ МЕНЬШЕ ВИДОВ, ЧЕМ МОЖНО ОЖИДАТЬ?	
А.Д. Наумов	226
ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКОМ РАЗНООБРАЗИИ И ХОЗЯЙСТВЕННОМ ЗНАЧЕНИИ ИХТИОФАУНЫ ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ СОЛОВЕЦКОГО АРХИПЕЛАГА	
А.П. Новоселов	230
ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТВОРЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В БЕ- ЛОМ МОРЕ	
А.К. Павлов, А.В. Семушин, М. Гранског, К. Стедмон, В.В. Явловская, Т. Мартма	234
БИОТОПИЧЕСКАЯ СИСТЕМА БЕЛОГО МОРЯ	
А.Н. Пантюлин	238
ЭКОЛОГИЯ И ЧИСЛЕННОСТЬ ЛИЧИНОК КОРЮШКИ В ВЕРШИННОЙ ЧАСТИ ДВИНСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ	
Л.В. Парухина	241
КАЧЕСТВО ВОДЫ ЛОСОСЕВЫХ РЕК БАСЕЙНА БЕЛОГО МОРЯ (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)	
Н.Ф. Плотицына, А.Ю. Жилин	245
ЗООПЛАНКТОН РАСПРЕСНЁННЫХ НАСКАЛЬНЫХ ВАНН ЗОНЫ ЗАПЛЕСКА	
Н.В. Полякова, А.И. Старков	249
ОСОБЕННОСТИ ЗАСЕЛЕННОСТИ МОРСКИХ ЗВЕЗД <i>ASTERIAS RUBENS</i> L. КОПЕПОДАМИ <i>SCOTTOMYZON GIBBERUM</i> SCOTT В КАНДАЛАКШСКОМ ЗАЛИВЕ БЕЛОГО МОРЯ	
А.А. Поромов, А.В. Смуров	252
ИЗУЧЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ОСНОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БИОМЕМБРАН МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ: СТРУКТУРА, СВОЙСТВА, ФУНКЦИИ НЕНАСЫЩЕННЫХ ЛИПИДОВ	
А.Л. Рабинович, П.О. Рипатти, А.П. Любарцев, Д.В. Журкин	256
КОНТРАСТНЫЕ СООБЩЕСТВА ЛЕТНЕГО ФИТОПЛАНКТОНА В СТРАТИ- ФИЦИРОВАННЫХ И ПЕРЕМЕШАННЫХ ВОДАХ БЕЛОГО МОРЯ	
И.Г. Радченко, Л.В. Ильаш, В.П. Шевченко	260
БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗВИТИЯ САДКОВОГО РЫБОВОДСТВА НА БЕЛОМ МОРЕ	
Л.П. Рыжков	264

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ БЕЛОГО МОРЯ А.В. Семушин, С.Б. Фролов	267
ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ТРАНСФОРМАЦИИ РЕЧНЫХ ВОД В УСТЬЕ РЕКИ КЕРЕТЬ Р.Е. Смагин	271
К ВОПРОСУ О ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ В МОРСКИХ БЕНТОСНЫХ СООБЩЕСТВАХ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ МАРИКУЛЬТУРЫ Д.С. Смагина, М.В. Иванов	275
О ДИНАМИКЕ ЧИСЛЕННОСТИ НАВАГИ ОНЕЖСКОГО И ДВИНСКОГО ЗАЛИВОВ БЕЛОГО МОРЯ В.А. Стасенков, С.В. Пастухов	278
ОЦЕНКА РОЛИ ВОДОЕМОВ СУПРАЛИТОРАЛИ В БИОТИЧЕСКОМ БАЛАНСЕ БЕЛОГО МОРЯ И.А. Стогов, Е.А. Мовчан	282
ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА УРОВЕНЬ ВОССТАНОВЛЕН- НОГО ГЛУТАТИОНА В ТКАНЯХ МИДИЙ И.В. Суховская, Л.П. Смирнов, О.Б. Столяр	284
МЕТАБОЛИЗМ И РАЗМЕР ТЕЛА МИДИЙ: ПРОВЕРКА ОДНОЙ АЛЛОМЕТ- РИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ А.А. Сухотин, О.Л. Возняк, Д.М. Мартынова, Н.Н. Фокина	286
ХАРАКТЕРИСТИКА ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРЫ АТЛАНТИЧЕСКОГО ЛОСОСЯ Р. ПОНОЙ А.В. Ткаченко	290
ГНЕЗДОВАНИЕ ОЗЕРНОЙ ЧАЙКИ <i>LARUS RIDIBUNDUS</i> В КАНДАЛАКШСКОМ ЗАЛИВЕ БЕЛОГО МОРЯ Е.Л. Толмачева, А.С. Корякин, М.Н. Кожин	294
РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ БЕЛОГО МОРЯ ПО ДВУМ МОДЕЛЯМ ТЕРМОГИДРОДИНАМИКИ А.В. Толстиков, И.А. Чернов	296
СЕЗОННАЯ И МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ БИОПРОДУКТИВНОСТИ ПЕЛАГИАЛИ ОНЕЖСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ В.А. Трошков, И.Ю. Македонская, Н.Г. Отченаш	300
МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ И ФЕНОЛОГИИ ТРЕХ МАССОВЫХ ВИДОВ МЕЗОЗООПЛАНКТОНА В БЕЛОМ МОРЕ Н.В. Усов, И.П. Кутчева, Д.М. Мартынова	304
РАЗРАБОТКА АТЛАСА «БЕЛОЕ МОРЕ И ВОДОСБОР» Н.Н. Филатов	308
МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ СООБЩЕСТВ МАКРОБЕНТОСА В УСЛОВИЯХ ПЕСЧАНОЙ ЛИТОРАЛИ БЕЛОГО МОРЯ Н.А. Филиппова, Н.В. Максимович	311
ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЛИПИДНЫЙ СОСТАВ БЕЛО- МОРСКИХ МИДИЙ <i>MYTILUS EDULIS</i> L. В УСЛОВИЯХ АКВАРИАЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА Н.Н. Фокина, Т.Р. Руоколайнен, Н.Н. Немова, И.Н. Бахмет	315

ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИИ МОРСКОЙ ЗВЕЗДЫ <i>ASTERIAS RUBENS</i> L. В КАНДАЛАКШСКОМ ЗАЛИВЕ БЕЛОГО МОРЯ	
О.В. Фомина, Г.А. Шкляревич	319
БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЧНОЙ КАМБАЛЫ АКВАТОРИИ о. КИЙ ОНЕЖСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ	
Г.В. Фукс	323
ВЗАИМООТНОШЕНИЯ МОЛЛЮСКОВ РОДА <i>MYTILUS</i> НА ЛИТОРАЛИ БЕ- ЛОГО МОРЯ	
В.М. Хайтов, Н.В. Владимирова, М.А. Сказина	326
ОСОБЕННОСТИ ЭКОЛОГИИ БЕЛОМОРСКОЙ ГУБКИ <i>HALICHONDRIA</i> <i>PANICEA</i> (PALLAS, 1766)	
В.В. Халаман, А.Ю. Комендантов	329
МЕТОДЫ ЭКСТРАКОРПОРАЛЬНОЙ ГЕМОКОРРЕКЦИИ В МЕДИЦИНСКОЙ И ВЕТЕРИНАРНОЙ ПРАКТИКЕ. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ	
В.В. Чаленко, Н.А. Арсениев, В.В. Костиков, Н.Н. Нестеров	332
ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БЕЛОГО МОРЯ В 2001–2010 гг.	
В.А. Чугайнова	340
ФАУНА ГУБОК (КЛАСС DEMOSPONGIA) КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕ- ЛОГО МОРЯ	
Н.В. Шакурова, А.В. Ананьева	344
ОЦЕНКА АДАПТИВНОЙ СПОСОБНОСТИ МИДИЙ <i>MYTILUS EDULIS</i> L. БЕЛОГО МОРЯ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ СЕРДЕЧНОГО РИТМА	
А.Н. Шаров, С.В. Холодкевич	346
ЖИЗНЕННЫЕ ЦИКЛЫ МАКРОВОДОРОСЛЕЙ В ЭКОСИСТЕМАХ АРКТИКИ	
Е.В. Шошина	350
ОРНИТОЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ КАНОЗЕРСКОГО ЗАКАЗНИКА (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)	
Е.В. Шутова, Е.Л. Толмачева, Ю.А. Быков	354
МУКОИДНЫЕ ЖЕЛЕЗЫ НЕСКОЛЬКИХ ВИДОВ ЦЕРКАРИЙ БЕЛОМОРСКИХ ТРЕМАТОД	
С.В. Щенков	356
АВТОРСКИЙ ИНДЕКС	359

ТАКИЕ ПОХОЖИЕ, НО ВСЕ ЖЕ РАЗНЫЕ – ПРЕДСТАВИТЕЛИ РОДА *PSEUDOCALANUS* В БЕЛОМ МОРЕ

А.А. Абрамова, Е.Л. Мархасева

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет»,
Санкт-Петербург, Россия, e-mail: abramova-amy@mail.ru

У зоопланктологов зачастую возникают трудности в определении видов рода *Pseudocalanus*, которые служат объектами разносторонних и многочисленных исследований. В определенной мере это связано с необходимостью следовать логике ревизии Фроста (Frost, 1989), в которой основной акцент сделан на морфометрические признаки. Это делает процесс определения, сам по себе уже достаточно кропотливый для копепод, еще более трудоемким. Кроме того, определение представителей *Pseudocalanus* осложнено значительным размерно-морфологическим сходством рачков разных видов и их обитанием в одинаковых экологических условиях.

Считалось, что из представителей рода *Pseudocalanus* в Белом море встречается лишь один вид – *P. elongatus* (Перцова, 1962, 1981; Прыгункова, 1974). После ревизии рода, проведенной Фростом (1989), он был переименован в *P. minutus*. Впоследствии во всех работах по беломорскому зоопланктону указывается именно этот вид. Лишь однажды, в работе Кособоковой и Перцовой (2005) в табл. (табл. № 2, стр. 4), фигурирует другой вид рода – *P. acuspes*, который ни в тексте этой, ни других статей по Белому морю больше не упоминается. Однако, ряд специалистов, работавших со сборами планктона из губы Чула и других районов Белого моря, высказывали сомнение при отнесении всех исследуемых экземпляров *Pseudocalanus* к названному виду, ссылаясь на некоторые слабовыраженные различия в форме тела у половозрелых самок и особенностях их вертикального распределения (К.Н. Кособокова, Д.М. Мартынова, персональное сообщение).

Возникает вопрос: что это – хорошо выраженная внутривидовая изменчивость или же в Белом море присутствуют два вида этого рода? Известно, что *P. minutus* и *P. acuspes* в арктическом регионе зачастую обитают в экологически сходных условиях и населяют одни и те же районы. Явным пробелом для тщательного таксономического анализа беломорского *Pseudocalanus* является отсутствие современного таксономического описания для вида *P. minutus*, как, впрочем, и для остальных видов рода. Относительно подробные описания были сделаны очень давно (Giesbrecht, 1882; Sars, 1903) и не соответствуют современному уровню.

Для установления таксономического статуса беломорских представителей *Pseudocalanus* нами были использованы морфологические и морфометрические признаки, предложенные Фростом, такие как: форма передней части цефалосомы, наличие и степень развития шипиков на сомитах просомы, несущих вторую и третью плавательные ноги, соотношение длин уросомы и просомы.

У *P. minutus* на виде сбоку передняя часть цефалосомы шлемовидная и заметно выдается вперед за рострум, а у *P. acuspes* она уплощена и более покатая (рис. 1).

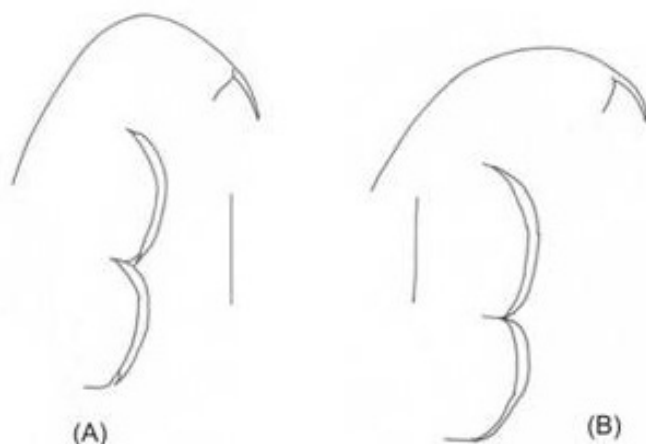


Рис. 1. Форма переднего конца цефалосомы и сегменты просомы *P. minutus* (A) и *P. acuspes* (B)

Согласно Фросту, у *P. minutus* на сомитах просомы, несущих вторую и третью пары плавательных ног, имеются длинные шиповидные отростки, а у *P. acuspes* они либо зачаточные, либо не развиты совсем (рис. 1). Эти признаки хорошо работают для крупных экземпляров (~1.5 мм), но проявляют значительную вариабельность для мелких особей, что весьма затрудняет определение. Таким образом, морфологические признаки могут быть полезны для различения видов, но для достоверности их необходимо подкреплять морфометрическими характеристиками.

Как уже упоминалось, для арктического региона характерно совместное обитание *P. minutus* и *P. acuspes*, взрослые особи которых, как правило, перекрываются по размерам (рис. 2). В этом случае, одним из отличительных признаков *P. minutus* может считаться более короткая относительная длина уросомы по сравнению со всеми остальными представителями рода, в том числе и *P. acuspes*.

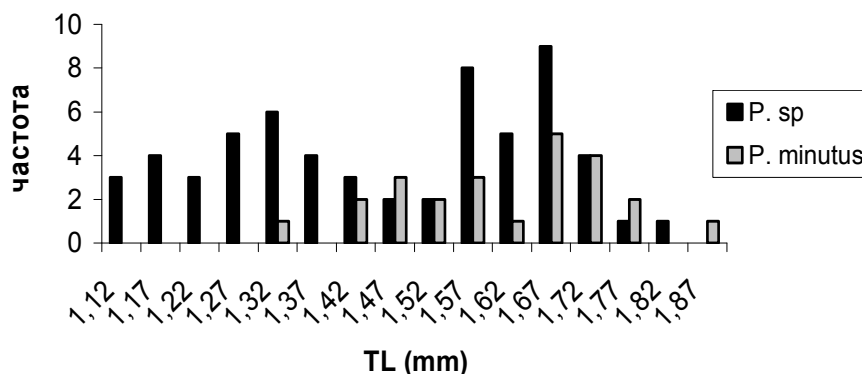


Рис. 2. Частотное распределение общей длины тела для взрослых самок *P. acuspes* и *P. minutus* из Белого моря (собственные данные)

Другим морфометрическим критерием, предложенным в работе Фроста для различения двух анализируемых видов *Pseudocalanus*, является соотношение длин коксо- (B1L) и базиподитов (B1L) четвертой плавательной ноги. У рачков, отнесенных нами к *P. minutus*, это соотношение всегда больше 1.5, а у *P. acuspes* – меньше 1.5 (рис. 3). Признак подтверждает свою диагностическую ценность и на нашем материале, и очень важен для определения.

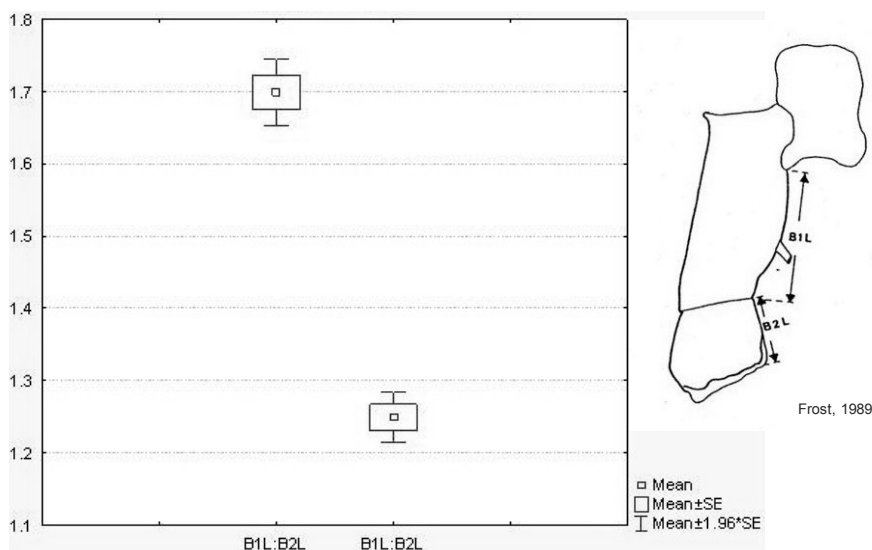


Рис. 3. Соотношение коксоподита к базиподиту четвертой плавательной ноги для *P. minutus* и *P. acuspes*

Таким образом, рачки в нашей выборке по морфометрическим параметрам соответствуют предложенным Фростом для *P. minutus* и *P. acuspes* и хорошо очерчивают эти два вида.

Изучение расчленения и вооружения ротовых конечностей и плавательных ног, выполнено и документировано рисунками. Достоверных различий в сетации у *P. minutus* и *P. acuspes* не выявлено. Тем не менее, анализ позволил уточнить формулы вооружения ротовых частей для представителей рода *Pseudocalanus*, а подробное и иллюстрированное описание ротовых частей и плавательных ног, может стать основой для возможного выявления отличий между обсуждаемыми видами в других регионах, а также между другими видами рода.

В результате работы установлено, что в исследуемом районе присутствуют два вида – *P. minutus* и *P. acuspes*. Нахождение *P. acuspes* в Белом море подтверждено таксономическим анализом и документировано рисунками.

У ИСТОКОВ ПРОЕКТА «БЕЛОЕ МОРЕ» (СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ)

А.П. Алексеев

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Зоологический институт
Российской академии наук,
Санкт-Петербург, Россия, e-mail: belomor@zin.ru*

Проект «Белое море» останется в истории изучения этого внутреннего российского моря как достаточно уникальное явление. Его уникальность заключалась и в специфике возникновения, в количестве и тематической направленности участвовавших организаций, в четко обозначенной практической цели.

У автора этого сообщения сохранились программа, список участников, краткие заметки о совещании в г.Беломорске, на котором и родилась идея нового подхода к организации изучения Белого моря, его промысловых биологических ресурсов с ориентировкой на получение практически значимых результатов.

Беломорье, которое длительное время было одним из самодостаточных регионов России, в 60–70-е гг. XX столетия стало испытывать серьезные трудности экономического и демографического характера. Причин к тому было много. Складывавшаяся ситуация вызывала серьезное беспокойство партийных и советских органов региона. Предлагались различные меры для оздоровления ситуации, но из-за их частного, выборочного характера должного эффекта они не давали. В итоге руководство Карелии пришло к выводу о необходимости обсудить обстановку в Беломорье на широком совещании, цитирую, «...работников партийных, советских, научных и рыбохозяйственных организаций по проблеме «Сырьевые запасы рыб и других объектов промысла Белого моря и пути их рационального использования». Совещание было организовано Карельским обкомом КПСС и Советом министров Карелии в г.Беломорске 6–7 июня 1978 г. и проходило в зале заседаний Беломорского райкома партии. Его участниками стали более 50 человек, представлявших организации гг.Москвы, Ленинграда, Мурманска Архангельска, Петрозаводска, Беломорского, Кемского и Лоухского районов Карелии. Были приглашены все организации, имеющие отношение к изучению биологических ресурсов Белого моря, их промыслу и охране, руководящие партийные и советские работники.. Приглашенные на совещание ведущие ученые представляли ПИНРО – М.Я. Яковенко, Л.А. Душкина, СевПИНРО – Т.Д. Гошева, В.Н. Макаров, Ю.И. Назаренко, С.П. Коренников, В.В. Похилук – Беломорскую лабораторию ПИНРО, В.Ф. Брызгин – Мурманский морской биологический институт Кольского филиала АН СССР, В.В. Хлебович – Беломорскую биологическую станцию Зоологического института АН СССР, В.Б. Возжинская – Институт океанологии АН СССР, М.Н. Русанова – Петрозаводский университет, В.А. Фрейндлих – Карельский филиал АН СССР, Г.А. Израэлян – Гипроводхоз, Москва, А.П. Алексеев – Ихтиологическую комиссию – Москва – Ленинград.

Совещание открыл заместитель председателя Совмина Карелии Л.П. Кица, который в своем вступительном слове охарактеризовал причины, побудившие организовать широкое обсуждение ситуации на берегах Белого моря. и выразил

надежду, что участие в совещании ведущих ученых позволит обозначить реальные пути повышения промысловой биопродуктивности Белого моря и повышения экономического благосостояния населения. Затем выступил первый секретарь Беломорского райкома партии А.Д.Васильев, который приветствовал участников заседания и ознакомил присутствующих с состоянием народного хозяйства в районе, и рыболовства, в частности.

Фактическое состояние промысла биоресурсов на Белом море и взгляд на перспективы его развития были подробно охарактеризованы в докладе начальника отдела внутренних водоемов ВРПО «Севрыба» Вс.И. Ефимова (под юрисдикцией «Севрыбы» в те годы находилась также рыбная промышленность Архангельской области и Карелии). По его данным, промысел на Белом море в довоенные годы давал до 7 тыс. т в год. К концу же 70-х гг. он снизился в 2 раза. Изменилась структура вылова – до 50% выросла доля уловов сельди, тогда как прежде она не превышала 22% (Карелия). Докладчик охарактеризовал Белое море как более бедное по сравнению с Баренцевым – по зоопланктону в 2–3 раза, по бентосу – в 5 раз. Высказанные им претензии к науке заключались в следующем: отсутствие единой точки зрения на структуру стада беломорской сельди и величину ее запасов; недостаточные знания запасов семги (вылов Карелии снизился до 4 т в год) и трески; недостаточны сведения о запасах водорослей, в результате чего (по вине науки) допущено их чрезмерное изъятие. Вс.И. Ефимов предложил, как меру для повышения качества промысловых прогнозов, создание бригады квалифицированных специалистов под руководством Л.А. Душкиной, от имени которых давались бы прогнозы по сельди.

С подробным анализом промысловой обстановки, состояния запасов объектов лова, в том числе морских млекопитающих, выступили В.В. Похилук, Т.Д. Гошева, В.Б. Возжинская, В.Н. Макаров, Ю.И. Назаренко. Было отмечено существенное снижение запасов сельди, хотя кормовая база отнюдь не является лимитирующим фактором, показано негативное воздействие на запасы вылова нерестовой сельди, повсеместной гибели основного нерестового субстрата сельди – травы zostеры, обращено внимание на недостатки в организации заготовки водорослей, на губительное воздействие на молодые поросли растений применяемых драг и др. Т.Д. Гошева в числе причин снижения численности семги назвала резкое ухудшение условий воспроизводства на нерестовых реках, развивающийся иностранный промысел на путях морских миграций семги. Были названы величины вылова акклиматизируемой в Белом море дальневосточной горбуши, которая уже фактически стала промысловой рыбой Беломорья. Запасы наваги сохраняли стабильность. Председатель колхоза «Заря Севера» В.Д. Легкий предупреждал, что к промыслу весенней сельди нужно относиться с осторожностью. Это можеткупиться более высокими уловами осенью. Сотрудник Севрыбвода т. Базаров отметил, что в условиях существенного снижения запасов сельди колхозы стали слабо использовать имеющиеся промысловые участки, обратил внимание на уловы горбуши, на возможности увеличения вылова камбал. Из этого и других выступлений (председатель колхоза «Беломор» А.В. Поташев и др.), помимо анализа недостатков различного характера, следовал весьма определенный вывод – падение запасов промысловых видов снижает экономический интерес рыбаков к их добыче, что вызывает парадокс их недоиспользования.

С П И С О К

участников совещания в г.Беломорске 6-7 июня 1978 г.
на тему "Сырьевые запасы рыб и других объектов промысла
Белого моря и пути их рационального использования".

г.МОСКВА

- I. Алексеев Аркадий Павлович -заместитель председателя Совета Бюресурсов
ихтиологической комиссии Минрыбхоза СССР.
2. Израелян Генри Александрович-гл. инженер Гипроводхоза.
3. Возжикская В.Б. -ст.научный сотрудник, кбн. ин-та Океанологии

г. ЛЕНИНГРАД

4. Хлебович В.В.-зав. ББС ЗИН

г. МУРМАНСК

5. Ефимов Всеволод Иванович - начальник отдела внутренних водоемов Все-
союзного объединения "Северьба".
6. Зайцев Евгений Иванович - начальник отдела промышленного рыболовства
Всесоюзного объединения "Северьба".
7. Лаврухин Виктор Михайлович - начальник колхозного отдела Всесоюзного
объединения "Северьба".
8. Брызгин Валерий Федорович - старший научн. стр. Мурманского морского
биологического института.
9. Яковенко Михаил Яковлевич - зам.директора ПИНРО
10. Душкина Лада Арсеньевна - зав.лабораторией марикультуры, ПИНРО, доктор н

г.АРХАНГЕЛЬСК

11. Григорьев Михаил Федорович - начальник Севрыбвода.
12. Бушуева ~~Нина Павловна~~ -старший ихтиолог Севрыбвода.
13. Коренников Станислав Павлович-зав. лаб. морских водорослей ябевПИНРО.
14. Назаренко Юрий Иванович - зав. лаб. морских млекопитающих СевПИНРО.

г.ПЕТРОЗАВОДСК

15. Кица Ленин Петрович -Заместитель Председателя Совета ^Министров КАССР.
16. Тришкин Семен Ильич -зав. отделом легкой, ~~промышленности~~ пищевой про-
мышленности и торговли обкома КПСС.
17. Доршакова Валентина Ивановна - нач. отдела местной промышленности
Совета Министров Карельской АССР.
18. Фрейндлинг Владимир Анатольевич - зав. отделом водных проблем Карель-
ского филиала АН СССР, канд. геогр. наук.
19. Харкевич Нина Семеновна - зав. лаб. Гидрохимии, кан. хим. наук Ка-
рельского филиала Академии наук СССР.
20. Русанова Мария Николаевна -доцент кафедры зоологии и дарвинизма Пет-
розаводского ~~ин-та~~ ^{ин-та}, кн.б. наук.

- 2 -

21. Рыжков Леонид Павлович – директор института "СеврыбНИИпроект".
22. Анухина Антонина Михайловна – ст.н.сотр. СевНИИпроект.
23. Китаев Станислав Петрович – ст.н.сотр. СевНИИпроект.
24. Чеченков Анатолий Викторович – ст.н.сотр. СевНИИпроект.
25. Киприянов Игнат Сергеевич – генеральный директор "Карелрыбпрома".
26. Купряшова Галина Васильевна – зам. генерального директора "Карелрыбпрома".
27. Райкова Анна Семеновна – зам. генерального директора "Карелрыбпрома".
28. Горюнов Дмитрий Иванович – начальник отдела "Карелрыбпрома".
29. Попов Иван Константинович – начальник отдела "Карелрыбпрома".
30. Уваркин Владимир Николаевич – директор Петрозаводского рыбокомбината.
31. Мицык Сергей Иванович – директор Карелрыбобьита.
32. Титова Мария Илларионовна – начальник планового отдела Карелрыбпрома.
33. Макарова Маргарита Тихоновна – директор Сиртовальского рыбозавода.
34. Алымов Виктор Петрович – начальник технического отдела Карелрыбпрома.
35. Молчанов Борис Борисович – начальник Карелрыбвода.
36. Заниздра Евгений Николаевич – заместитель начальника Карелрыбвода.

БЕЛОМОРСКИЙ РАЙОН

37. Васильев Алексей Дмитриевич – первый секретарь Беломорского райкома КПС
38. Климакин Александр Иванович – пред. исполкома Беломорского районного Совета народных депутатов.
39. Масленников Александр Семенович – директор Беломорской базы Гослова.
40. Лежев Павел Михайлович – начальник производственного отдела Беломорской базы Гослова.
41. Поташев Александр Васильевич – председатель колхоза "Беломор".
42. Легкий Василий Григорьевич – пред. колхоза "Заря Севера".
43. Пьявко Анатолий Петрович – районный инспектор Беломорской инспекции рыбоохраны.
44. Крамаренко Иван Яковлевич – директор Вытского рыбоводного завода.

КЕМСКИЙ РАЙОН

45. Мартынов Николай Павлович – пред. исполкома Кемского районного Совета народных депутатов.
46. Мехнин Станислав Яковлевич – пред. колхоза "Победа".
47. Богданов Иван Михайлович – пред. колхоза "12-я годовщина Октября".
48. Дмитриев Виктор Яковлевич – пред. колхоза "Беломорский рыбац".
49. Карпова Елизавета Васильевна – директор Кемского рыбозавода.
50. Агеев Иван Никитович – районный инспектор Кемской инспекции рыбоохраны.

ЛОУХСКИЙ РАЙОН

51. Алто Евгений Эрнестович – пред. исполкома Лоухского районного Совета нар. депутатов.
52. Власов Василий Петрович – директор Чупинского рыбозавода.
53. Поляков Евгений Петрович – районный инспектор Лоухской инспекции рыбоохраны.

Программа совещания в г. Беломорск

ПРОГРАММА
совещания работников партийных, советских,
научных и хозяйственных организаций
по проблеме "Сырьевые запасы рыб и других
объектов промысла Белого моря и пути их
рационального использования".

(г.Беломорск, Карельская АССР)
6 – 7 июня 1978 года

РАСПОРЯДОК ДНЯ:

6 июня 1978 г.

- 10.00–10.20 Открытие совещания.
Вступительное слово Зам. Председателя Л.П.
Совета Министров Карельской АССР тов. Кипца
- 10.20–10.40 Выступление первого секретаря Беломорско-
го райкома КПСС тов. Васильева А.Д.
- Д о к л а д ы:**
- 10.20–11.00 Современное состояние промысла и перспек-
тивы его развития.
Ефимов В.И. –начальник отдела внутрен-
них водоемов В.О. "Севрыба".
- 11.10–11.40 Рыбные запасы Белого моря, пути их увели-
чения и рационального использования.
Пахилик В.В. –зав. лабораторией сырье-
вых запасов западной части Белого моря
(ПИНРО).
- 11.40–12.10 Современное состояние запасов водорослей
и возможности увеличения их добычи.
Макаров В.Н. –зав. лабораторией морских
водорослей (СевПИНРО).
- В о з ж и н с к а я**
12.10–12.30 П е р е р ы в
- 12.30–13.00 Перспективы максимального освоения запа-
сов мор. зверя.
Назаренко Ю.И. –зав. лабораторией морс-
ких млекопитающих (СевПИНРО).
- 13.00–14.00 О б е д

**МАРИКУЛЬТУРА, ЕЁ СОСТОЯНИЕ И
ПЕРСПЕКТИВЫ**

- 14.00–14.30 Хлебович В.В. –директор Беломорской
биологической станции (ЗИН АН СССР).
- 14.30–14.50 Душкина Л.А. –зав. лабораторией марикуль-
туры (ПИНРО)
- ВОЗМЕЩЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ
БЕЛОГО МОРЯ В СВЯЗИ С ИЗЪЯТИЕМ ЧАСТИ СТОКА
СЕВЕРНЫХ РЕК И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ РЫБНОГО
ХОЗЯЙСТВА**
- 14.50–15.30 Израелин Г.А. –гл. инженер проекта (Типро-
водхоз).
- 15.30–16.00 Фрейдлин В.А. –зав. отделом водных проб-
лем (Карельский филиал АН СССР).
- 16.00–16.30 Русанова М.Н. –доцент кафедры зоологии и
дарвинизма (Петрозаводский госуниверситет
Гошева Т.Д.
Базаров Северьвод
Потанов пред. к-за "Беломор". Алекс.Вас.
ЛечкинВас. Грнт. пред. к-за "Заря Севера"
- 16.30–17.30 Обсуждение и принятие рекомендаций.
Алексеев А.П.

7 июня 1978 г.

- 9.00–13.00 Посещение Выгского рыбзавода.
- 13.00–14.00 О б е д
- 14.00–16.30 Посещение предприятий Беломорской базы Го-
лова и лаборатории ПИНРО

Конкретные меры по увеличению промыслового потенциала Белого моря были предложены в докладах В.В. Хлебовича и Л.А. Душкиной. Суть их заключалась в обосновании необходимости развития нового для Белого моря вида морехозяйственной деятельности – марикультуры. Так, на Беломорской биостанции проводятся успешные опыты круглогодичного выращивания моллюска мидии съедобной в условиях замерзающего моря. Этот моллюск имеет достаточно высокую пищевую и кормовую ценность и в больших объемах выращивается в ряде зарубежных стран. В целях развития успеха В.В. Хлебович просил помощи хозяйствующих субъектов для создания опытно-промышленного полигона по марикультуре мидий в районе ББС в губе Чупа. Это позволило бы распространить полученный опыт на другие районы Белого моря. Л.А. Душкина рассмотрела вопросы повышения численности севды в условиях гибели ее основного нерестового субстрата – зостеры. Основное внимание она уделила искусственным нерестилищам, их потенциально высокой эффективности, тем более, что имеющаяся кормовая база позволяет довести численность севды до объемов, способных обеспечить вы-

лов до 10 тыс.т в год. Л.А. Душкина также сообщила о планировавшихся ПИНРО работах с ситами Карского моря (омуль, муксун), перспективными как объекты марикультуры применительно к Белому морю..



Ученые-участники совещания в г. Беломорск.

Слева направо: Ю.И. Назаренко (СевПИНРО), А.П. Алексеев (ихтиологическая комиссия), М.Я. Яковенко (ПИНРО), Л.А. Душкина (ПИНРО), В.В. Хлебович (Зоологический институт АН СССР), В.Н. Макаров (СевПИНРО), В.В. Похилук (зав. Беломорской лаборатории ПИНРО), В.Б. Возжинская (Институт океанологии АН СССР)



Президиум Беломорского совещания 6 июня 1978 г.

Нужно отметить, что совещание проходило в период, когда полным ходом разрабатывались проекты переброски части стока северных рек в бассейн Каспийского моря, уровень которого резко снижался. (Эту эпопею мало кто сегодня помнит) Эти проекты напрямую касались судьбы Белого моря, поэтому на совещание были приглашены специалисты причастных к этому учреждений. Доклад главного инженера института Гипроводхоз Г.А. Израэляна касался проработок проекта «Онежская губа», в соответствии с которым предусматривалось отчленение Онежского залива от Бассейна Белого моря дамбой по линии, проходящей через Соловецкие острова. Зав. Отделом водных проблем Севера КФ АН СССР В.А. Фрейндлих доложил о проекте превращения в «антиреки» рек Кемь, Выг, Ковда. Оба проекта имели весьма губительные последствия для Белого моря и его экосистем. Они вызвали отрицательное отношение к ним присутствующих, квинт-эссенция которого была озвучена в выступлении М.Н. Русановой. К счастью для Белого моря начался рост уровня Каспия, поэтому все проекты переброски стока северных рек на юг были закрыты.

В процессе обстоятельной и заинтересованной дискуссии было высказано много предложений, в том числе – рекомендовать Минрыбхозу СССР рассмотреть проблемы Белого моря на Коллегии Министерства, просить Отделение общей биологии АН СССР принять меры по усилению целенаправленных исследований Белого моря, которые могли бы реализоваться в комплексной сбалансированной схеме организации рациональных форм использования биологических ресурсов; рекомендации создать в составе ВРПО «Севрыба» орган по развитию марикультуры и т. д. Так обозначились некоторые предложения и рекомендации, которые попытался обобщить автор этого сообщения (тогда – Межведомственная ихтиологическая комиссия). Внимание участников совещания было обращено на трудности, возникшие у отечественного рыболовства из-за повсеместного введения прибрежными государствами 200-мильных экономических зон, которые должны привести к повышению внимания со стороны властных структур к внутренним водоемам, в том числе и к Белому морю. Успешная реализация возможных направлений повышения промысловой биопродуктивности Белого моря может быть осуществлена лишь на основе достоверных научных сведений о величине кормовой базы (планктон, бентос и др) и ее резервов. Вот эти направления: 1) повышение численности (и уловов) традиционных объектов промысла (сельдей, трески, семги и др.) на базе реализации принципов рационального рыболовства; 2) осуществление акклиматизаций ценных промысловых организмов; 3) развитие марикультуры, в том числе ее пастбищных форм. Меры организационного характера: консолидация научных сил, довольно значительных и по квалификации, и по числу. Пути консолидации – а) организация в системе Минрыбхоза СССР (по примеру других внутренних морей страны) бассейнового института Белого моря (вероятно, на базе СевПИНРО); б) объединение усилий академических и вузовских биологических станций для решения важнейших рыбохозяйственных проблем в рамках Северного отделения Межведомственной ихтиологической комиссии, «увязка» их тематики с тематикой бассейнового института в едином координационном плане.

К сожалению, окончательного текста Решения, принятого совещанием, у меня не сохранилось, однако, известно, что в той или иной форме оно было направлено в ГКНТ СССР. Комиссия по биоресурсам океанов и морей этой властной структу-

ры на своем заседании обсудила ситуацию на Белом море и поручила Ихтиологической комиссии совместно с Зоологическим институтом и при участии других сопричастных научных учреждений разработать комплексную программу исследований и опытных работ, направленную на разработку научных основ повышения промысловой биопродуктивности Белого моря. Позднее эта программа легла в основу государственного проекта «Белое море»,

Подобных широких совещаний по проблемам Белого моря, инициированных властными органами, больше не проводилось, несмотря на их очевидную необходимость.

**ДИНАМИКА ПОСЕЛЕНИЯ ХИЩНОГО БРЮХОНОГОГО *AMAUOPSIS ISLANDICA* (GMELIN, 1791) (NATICIDAE: CAENOCASTROPODA)
НА ЛИТОРАЛИ ЗАПОВЕДНЫХ ОСТРОВОВ КАНДАЛАКШСКОГО
ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ**

Д.А. Аристов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Зоологический институт
Российской академии наук,
Санкт-Петербург, Россия, e-mail: daristov@inbox.ru

Натициды – хищные морские улитки, перфорирующие раковины своих жертв с помощью радулы (Fretter, Graham, 1962). Эти моллюски распространены всесветно, заселяя песчаные и илисто-песчаные грунты от литорали до глубин в сотни метров (Kabat, 1990). Зачастую о присутствии в данной точке натицид легче судить не по нахождению самих хищников, а по следам их жизнедеятельности – перфорированным раковинам двустворчатых моллюсков и других животных с твердым экзоскелетом с характерными следами атаки натицид: правильными круглыми отверстиями в форме усеченного параболоида (Артемьева и др., 2004; Ziegelmeier, 1954). Однако, популяционные исследования натицид затруднены вследствие обитания хищников в толще илисто-песчаного грунта, а также обычно невысоких плотностей поселения. Как правило, данные о плотности поселения Naticidae доступны в случае обитания последних на литорали. Но и в этом случае низкая плотность натицид вынуждает исследователей прибегать например, к методам повторного отлова, нетрадиционным для количественного учета беспозвоночных животных (Hunter, Grant, 1966).

На территории Кандалакшского государственного природного заповедника в 2001 году было обнаружено поселение одного из видов беломорских натицид *Amauropsis islandica* с довольно высокой плотностью поселения (Аристов, Гранович, 2011). Важно отметить, что *A. islandica* был единственным представителем моллюсков-перфораторов на исследованной литорали. Таким образом, представилась возможность проследить динамику некоторых популяционных характеристик этого хищного моллюска.

Полигонами для исследований послужили закрытый от волнового воздействия участок литорали Южной губы о. Ряжков (67°00' N, 32°34' E) и участок литорали безымянной губки на о. Большой Ломнишный (66°58' N, 32°37' E). Оба участка имеют площадь примерно 500 м². Со стороны моря участки илисто-песчаной литорали с вкраплениями крупных валунов ограничены изобатой нуля глубин, с берега – изобатой +0,5 м. Осушка участков составляет менее 1 ч. за один приливно-отливной цикл (Аристов, Гранович, 2011). Спуск в сублитораль в районе исследований пологий; отчетливо выраженный пояс фукоидов отсутствует. В куту Южной губы наблюдается распреснение из-за ручьевого стока. Литораль участков населяют типичные обитатели илисто-песчаного пляжа, такие как *Arenicola marina* (L., 1758), *Macoma balthica* (L., 1758), *Mya arenaria* L., 1758, *Hydrobia ulvae* Pennant, 1777, *Microspio sp.* и др.

Материалом для мониторинговых исследований послужили сборы XXII–XXXIII летних Беломорских экспедиций Лаборатории Экологии Морского Бентоса (гидробиологии) 2001–2012 гг. Количественный учет *Amauropsis islandica* производился ежегодно в начале июля (с 2001 г. в Южной губе, и с 2007 – на побере-

жье о. Большой Ломнишный) с помощью стандартной серии проб грунта с площади $0,25 \text{ м}^2$. Расположение проб внутри полигонов могло варьироваться лишь в пределах $1\text{--}2 \text{ м}^2$, благодаря словесному описанию и обилию крупных камней на обследованной литорали, служащих реперными точками. Грунт внутри рамок тщательно перебирали вручную, при этом выбирали всех представителей сем. Naticidae. За весь период наблюдений пробы собирались одним и тем же оператором. Всех найденных натицид определяли, подсчитывали и измеряли высоту раковины с точностью до $0,1 \text{ мм}$. Объем выборок варьировался от 12 до 16 проб на о. Рязков и 5–10 проб на о. Большой Ломнишный.

Поселение на о. Рязков характеризуется средней плотностью $10,5 \pm 1,8 \text{ экз./м}^2$, что превышает, с одной стороны, известные из литературы аналогичные показатели для других поселений натицид на литорали (Hunter, Grant, 1966; Green, 1968; Peitso, 1994), а с другой стороны, известные зарегистрированные для беломорских *A. islandica* плотности поселений в сублиторали (Голиков, 1987). Поселение испытывает значительные межгодовые колебания плотности от $0,4$ до $21,3 \text{ экз./м}^2$. При этом наблюдается общее снижение плотности с 2001 по 2008 г., а затем плотность повышается (рис. 1, сплошная линия). Возможно, мы имеем дело с квазициклическими колебаниями с циклом в 7 лет, однако длины ряда наблюдений недостаточно для подтверждения этой гипотезы. Любопытны данные о динамике размерной структуры литорального поселения, о которой можно по межгодовому изменению средней высоты раковины *A. islandica* (рис. 1, пунктирная линия). В целом, можно заметить относительное постоянство этого параметра с 2001 по 2009 г., однако в 2010 г. в поселении наблюдается приток молоди, которая впоследствии растет. Вместе с тем, в связи с особенностями взятия проб, можно предположить, что молодые моллюски появились в поселении раньше, но не учитывались в силу небольшого размера. Косвенно этот факт подтверждается обилием кладок на литорали в 2008–2009 г., из которых выходят уже сформированные моллюски с высотой раковины $2\text{--}3 \text{ мм}$ (собственные наблюдения). Такие моллюски вряд ли могут надежно учитываться вышеизложенным методом сбора.

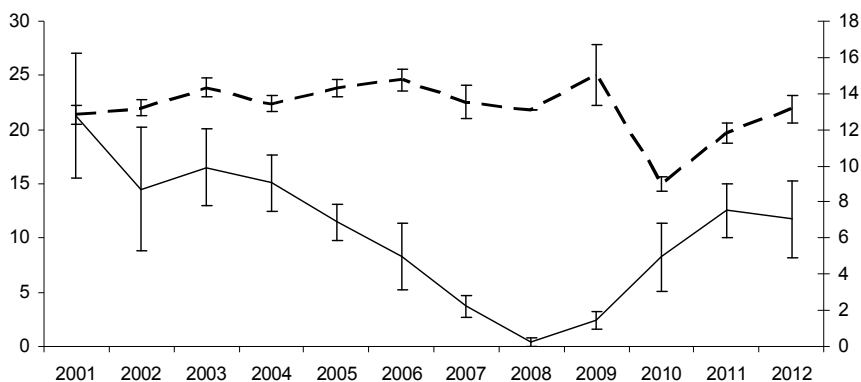


Рис. 1. Динамика плотности (левая шкала, сплошная линия) и размерной структуры (правая шкала, пунктирная линия) поселения *A. islandica* на литорали о. Рязков. По оси ОХ отложены годы, по левой оси ОУ – плотность, экз./м², по правой оси ОУ – средняя высота раковины, мм. Всюду отложены средние значения и ошибки среднего

Что касается поселения *A. islandica* на о. Большой Ломнишный, то его плотность за исследованный период слабо колеблется около среднегодовой в $9 \pm 1,5$ экз./м². Лишь в 2007 г. этот параметр характеризуется сравнительно низким значением – $3,6 \pm 2,3$ экз./м² (рис. 2, сплошная линия). Скорее всего, динамика плотности двух исследованных поселений не сопряжена. Размерная структура поселения хищников на о. Большой Ломнишный не претерпевает значимых изменений за исследованный период (рис. 2, пунктирная линия). Возможно, это связано с небольшой длиной ряда наблюдений.

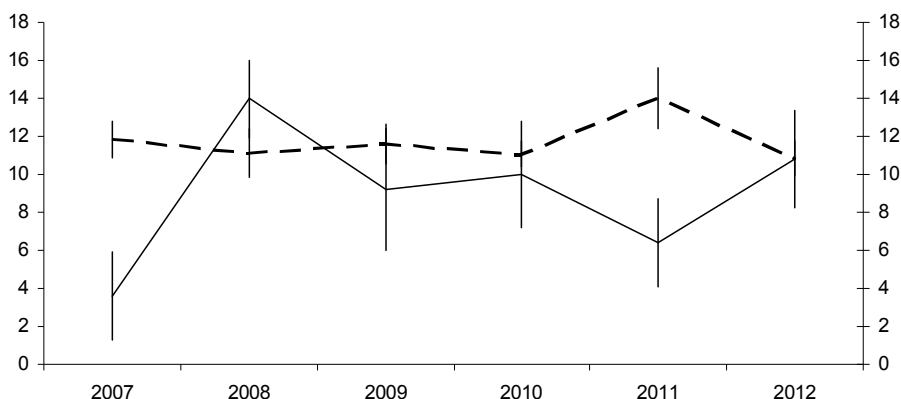


Рис. 2. Динамика плотности и размерной структуры поселения *A. islandica* на литорали о. Большой Ломнишный. Обозначения те же, что и на рис. 1

Таким образом, можно заключить, что на литорали заповедных островов в вершине Кандалакшского заповедника существует устойчивое поселение *A. islandica*, создавая уникальные условия для изучения популяционных и биоценологических характеристик одного из 4 обитающих на Белом море натицид.

ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ДОННЫХ СООБЩЕСТВ ПОРОГОВ РЕК КАРЕЛИИ И КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

И.А. Барышев

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии
Карельского научного центра Российской академии наук, Петрозаводск, Россия,
e-mail: baryshev@bio.krc.karelia.ru*

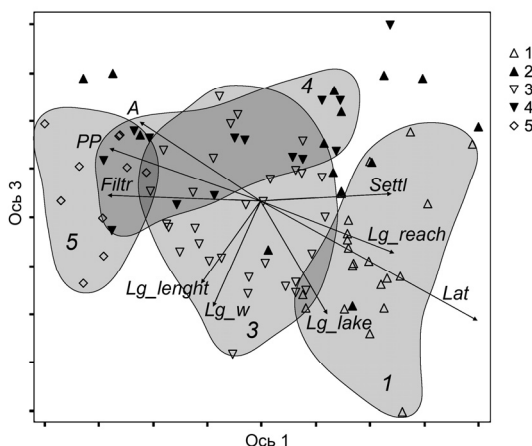
Закономерности формирования структуры донных сообществ являются важным объектом исследования водных экосистем. Тесная взаимосвязь таких факторов, как скорость течения и характер грунтов, прозрачность воды и состав растворенных и взвешенных веществ, размер водотока и количество проточных озер обуславливают необходимость применения методов, способных учитывать одновременное влияние взаимосвязанных факторов. Один из наиболее распространенных способов такого «комплексного» подхода это выделение типов местообитаний, биоценозов, зон водотока и т. д. (Жадин, 1940; Illies, 1961; Чертопруд, 2011). Однако попытка учета большего количества факторов приводит к выделению чрезмерного количества типов сообществ и утрате четкости классификации. Другой способ обобщить множество факторов в небольшое число «индексов» это использование методов многомерной статистики (Townsend et al., 1983; Li et al., 2012 и др.). Они позволяют обеспечить, с одной стороны, более полное количественное описание биологических объектов и окружающей среды, а с другой стороны – представить большие массивы данных в наглядном обобщенном виде. Цель данной работы – при помощи методов многомерной статистики выявить основные факторы, определяющие структуру зообентоса пороговых участков рек восточной Фенноскандии.

Материал для работы – серию из 267 количественных проб зообентоса отбирали с 2005 по 2011 гг. в реках бассейнов Белого, Балтийского и Баренцева морей на территории Карелии и Кольского полуострова. Обследовано 90 пороговых участков из 42 речных бассейнов. Самая южная точка – р. Видлица (61°14'); северная – р. Печенга (69°32'). Протяженность региона в широтном направлении составляет 1 тыс. км., ландшафты с юга на север меняются от тайги до тундры, различны и климатические условия. В реках выбирали участки со скоростями течения 0.2–0.6 м/с и твердыми грунтами, соответствующими градации «литореофильный биоценоз» в классификации В.И. Жадина (1940) и понятию «ритраль» (Illies, 1961; Чертопруд, 2011). Ведущие факторы формирования зообентоса выявлены с использованием метода анализа соответствия с удаленным трендом (detrended correspondence analysis DCA) (Hill, 1979). Для характеристики обилия видов выбрана биомасса, поскольку она отражает функциональные связи в сообществе. Выделение типов сообществ произведено по присутствию видов с использованием кластерного анализа по методу Уорда (Ward's method). Расчеты проведены с использованием программного пакета «PC-ORD for Windows Version 4.41» (McCune, Mefford, 1999).

В настоящем анализе задействовано 95 видов и таксонов надвидового ранга (Khrennikov et al., 2007; Барышев, 2008, 2010; Барышев, Кухарев, 2011, Комулайнен и др., 2012). Суммарная биомасса зообентоса по участкам варьировала в широких пределах – от 0,51 г/м² до 216,5 г/м² (среднее 13,8±2,83). По результатам анализа соответствия выявлены три оси ординации, из которых на первую приходится существенная доля дисперсии (41%), при этом доля дисперсии второй и третьей осей в сумме составляет лишь 10%.

Выявленная 1-я ось отражает совокупное влияние географической широты ($r = ,59$), расстояния от проточных озер ($r = 0,32$), плесов ($r = 0,45$) и населенных пунктов ($r = 0,44$). Эти факторы совокупно определяют продукцию донных сообществ, видовой состав, сапробность и биологическое разнообразие. Можно предположить, что 1-я ось отражает действие факторов, определяющих трофность водотоков. Так, от южной части региона к северу тайгу сменяют лесотундра и тундра, что существенно снижает поступление листового опада в водотоки. Автохтонной органики в руслах рек за короткое северное биологическое лето накапливается меньше. Ранее нами было показано, что в реки из озер поступает значительное количество органического вещества, в частности зоопланктона, что повышает их трофность (Круглова, Барышев, 2010). Населенные пункты и сельскохозяйственные угодья служат источником биогенных элементов, повышающих трофность, что приводит к росту разнообразия и количественных показателей зообентоса в условиях северных водоемов и водотоков (Яковлев, 2005; Барышев 2010).

Исследованные пороговые участки рек разделены нами на 5 групп основе результатов кластерного анализа: 1 – пороги рек, протекающих по тундровым ландшафтам (Качковка, Даниловка, Лиходеевка, др.); 2 – участки, видовой состав зообентоса которых существенно обеднен в силу причин, в том числе и методических, которые не рассматриваются в настоящем исследовании; 3 – пороги в водотоках лесных ландшафтов на удалении от проточных озер и населенных пунктов; 4 – участки водотоков, находящиеся ниже проточного озера или на урбанизированной территории; 5 – пороги в нижнем течении озерно-речных систем (Шуя, Лижма, др.). В пространстве осей ординации (ось 1 и ось 3) выделенные группы водотоков образовали частично перекрывающиеся поля (рис.).



Расположение выделенных групп порогов в ординационном пространстве.

Группы 1–5 – пояснения в тексте. Факторы среды: *Lg_lenght* – логарифм длины водотока (вышерасположенного участка), *Lg_w* – логарифм ширины, *Lg_lake* – логарифм расстояния от озера, *Lat* – географическая широта, *Lg_reach* – логарифм расстояния от плеса, *Settl* – расстояние от населенного пункта. Характеристики донных сообществ: *A* – поток энергии, *PP* – сумма продукций популяций, *Filtr* – доля фильтраторов в сообществе (по биомассе)

Известно, что для территории Фенноскандии, особенно северной части, характерны низкие значения трофности водоемов и водотоков (Яковлев, 2005). По всей видимости, именно скудность кормовой базы лимитирует развитие зообентоса порогов в водотоках региона. В свою очередь, кормовые условия для гидробионтов в значительной степени зависят от:

1. Типа наземной растительности водосборного бассейна. Так, тундра отличается от тайги относительно малым количеством растительности и поступление листового опада и прочей органики в водотоки здесь существенно меньше, чем в лесной зоне.

2. Наличия и трофности озер и крупных плесов выше по течению. Из озера в водотоки поступает органическое вещество (планктон, прочий сестон), служащее доступным кормовым объектом для гидробионтов.

3. Наличия населенных пунктов на территории водосбора, что увеличивает поступление в водоток органики и биогенных элементов и повышает трофность.

Кроме того, каждый из этих факторов претерпевает изменения в широтном направлении. Так, на исследованной территории с юга на север меняется тип наземной растительности от тайги до тундры. Озерность рек южной части региона существенно больше, чем на севере. Плотность населения уменьшается к северу, соответственно и антропогенное влияние на юге региона выше.

Выявленная нами тенденция изменения структуры донных сообществ с юга на север соответствует общей закономерности изменения трофности в этом направлении. Наличие дополнительных источников органики и биогенных элементов (проточных озер, больших плесов, населенных пунктов) увеличивает трофность водотоков, что вызывает увеличение биомассы и энергетических характеристик зообентоса, возрастание видового богатства и доли фильтраторов в составе сообществ. Таким образом, трофность водотоков – важный фактор формирования зообентоса порогов в условиях северных ландшафтов.

ЗАВИСИМОСТЬ СЕРДЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ *MYTILUS EDULIS* L. ОТ УРОВНЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ КИСЛОРОДА, ТЕМПЕРАТУРЫ И КОНЦЕНТРАЦИИ ФИТОПЛАНКТОНА В ЗИМНЕ-ВЕСЕННЕЕ ВРЕМЯ

И.Н. Бахмет

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии
Карельского научного центра Российской академии наук, Петрозаводск, Россия,
e-mail: igor.bakhmet@gmail.com

Введение

В связи с недавней разработкой метода неинвазивной регистрации сердечного ритма, данный показатель был успешно использован для оценки реакции двустворчатых моллюсков в ответ на воздействие токсинов (Bakhmet et al., 2009), температуры (De Pippo al., 1999), солености (Nicholson, 2002) и т. д. В большей части упомянутых выше работ авторы постулировали позитивную корреляцию сердечной активности и основного уровня метаболизма или стандартного дыхания. В то же время, работы по оценке зависимости частоты сердечных сокращений (ЧСС) от уровня потребления кислорода были проведены только на блюдечках (Marshall, McQuaid, 1992). Еще один существенный пробел в наших знаниях о сердечной активности двустворчатых моллюсков заключается в отсутствии работ по оценке влияния питания на ЧСС. В связи с этим были проведены эксперименты, во-первых, по оценке вариабельность сердечного ритма *Mytilus edulis* беломорской популяции в зависимости от уровня потребления кислорода (лабораторные работы) и, во-вторых, по регистрации ЧСС моллюсков при варьировании концентрации фитопланктона (полевые эксперименты).

Материалы и методы

Исследования были выполнены на Беломорской Биологической Станции Зоологического Института РАН в марте–апреле 2011 г. Мидии разного размера были собраны с искусственных субстратов с глубины 2 м. Сразу после сбора сенсоры (CNY-70) были приклеены к раковинам моллюсков соответственно расположению перикарда. Для первой части эксперимента (потребление кислорода, ЧСС и размер) мидии помещались в пластиковые аквариумы с аэрируемой морской водой без кормления для акклимации в течение 4–5 дней. Аквариумы были установлены в изотермальную комнату, где температура воздуха и воды поддерживалась на уровне 0 ± 1 °C. Вода менялась каждые 12 ч. ЧСС и потребление кислорода мидий измерялись одновременно в герметически закрытой камере. Концентрация кислорода в воде определялась при помощи кислородного сенсора Oxi315i (WTW, Germany), помещенного в камеру. Определение уровня потребления кислорода у каждой мидии проводилось в трех повторностях с полным замещением воды после каждой регистрации. Уровень потребления кислорода рассчитывался как $\text{мг O}_2/\text{г сырого веса} \cdot \text{ч}^{-1}$ и ЧСС как уд/мин . Корреляция сердечной активности и уровня потребления кислорода описывалась степенной функцией или линейным уравнением после взятия десятичного логарифма:

$$\text{ЧСС} = b \cdot V + a,$$

где V – уровень потребления кислорода; a , b – константы.

Для полевых экспериментов животных помещали в первоначальную среду обитания на субстратах. Следует подчеркнуть, что моллюски не отрывались от веревок для уменьшения стрессового воздействия. Таким образом, все животные оставались в их первоначальном положении. После трех дней акклиматизации к хэндлингу, ЧСС всех моллюсков регистрировалась каждые 4 дня в течение двух месяцев. Затем в конце полевых экспериментов все моллюски брались для измерений морфологических параметров. Температура окружающей воды измерялась при помощи термологгеров DS1921, помещенных возле экспериментальных мидий. Для того, чтобы оценить концентрацию фитопланктона образцы воды брались каждые четыре дня во время регистрации сердечной активности моллюсков.

Для сравнения непарных данных полевых и лабораторных показателей мы использовали тест Хи-квадрат. Для проверки связи между ЧСС, сырым весом и уровнем потребления кислорода применялся корреляционный анализ по Пирсону. Все значения в таблицах и графиках представлены как среднее $\pm$ стандартная ошибка.

Результаты

Уровень дыхания мидий варьировал от 0,014 до 0,096 в марте и от 0,014 до 0,240 мг O_2 /г сырого веса $\cdot$ ч⁻¹ в апреле в зависимости от веса моллюска. ЧСС мидий варьировал от 4,7 до 10,3 в марте и от 5,0 до 11,4 уд/мин в апреле.

Связь ЧСС и уровня дыхания достоверно описывалась степенной функцией или линейным уравнением после взятия десятичного логарифма (табл.). Соответственно с увеличением уровня дыхания и ЧСС в апреле по сравнению с мартом, коэффициент «b» в марте был достоверно ниже, чем в апреле.

Параметры уравнения ЧСС = $b \cdot V + a$,

Месяц	N	b	b'	A	a'	r	R ²	p
Март	20	3,95	0,51	335,91	72,96	0,79	0,81	0,0005
Апрель	20	5,45	0,40	79,90	24,10	0,62	0,71	0,0038

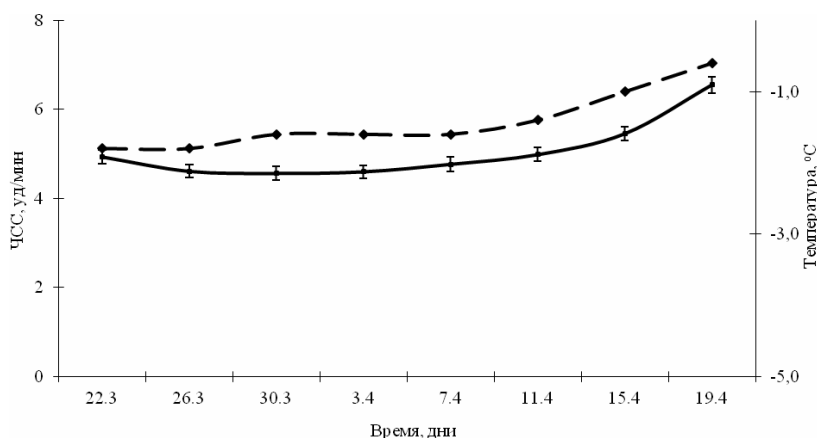
В полевом эксперименте сердечный ритм достоверно возрастал в течение последних четырех дней регистрации (N = 34; $p < 0,05$) (рис.). Было отмечено достоверное отличие ЧСС в лабораторных и полевых условиях.

В течение двух недель апреля концентрация фитопланктона достоверно не изменялась: среднее значение составило 52244 ± 1700 клеток на 1 л (или $5,9 \pm 1,6$ мг Углерода на м³). Только в последней пробе (конец Апреля) было показано резкое увеличение количества клеток и углерода (399182 и 21,5, соответственно).

Обсуждение

Наши данные по уровню дыхания у *M. edulis* Белого моря находятся в хорошем соответствии с предыдущими данными из работы Сухотина А.А. (1992). Наряду с этим Braby и Somero (2006) показали частоту сердечных ударов для *M. galoprovincialis* and *M. trossulus* из залива Сан-Франциско около 2 уд/мин при 0 °C,

тогда как в нашей работе ЧСС для *M. edulis* составил 5 и 6 уд/мин в среднем для полевых и лабораторных условий при температуре $-1,5^{\circ}\text{C}$. По-видимому, благодаря поэтапной адаптации к низким зимним температурам Белого моря, мидии выработали биохимические и физиологические механизмы позволяющие животным не только переживать отрицательные температуры, но и активно функционировать (см. ниже).



Сплошная линия – ЧСС мидий, пунктирная линия – температура

Еще один интересный факт, показанный в нашей работе – это резкий рост уровня потребления кислорода и ЧСС во второй половине апреля. Такое существенное изменение дыхания мидий может быть объяснено тем, что беломорские мидии именно в это время входят в стадию активного гаметогенеза (Максимович, 1985). Возросшая сердечная активность обеспечивают дополнительное доказательство для данного предположения. С другой стороны температура также возрастает в последние две недели апреля и это может воздействовать на физиологические процессы. Но если мы рассчитаем температурный коэффициент мы получим нереальный Q_{10} в 55,8, в то время как приемлемые значения Q_{10} у *Mytilus edulis* лежат в границах 1,5–3,0 (de Vooys, 1976). Таким образом в нашей работе температура не может быть определяющим фактором.

Как было сказано выше, метаболизм у *M. edulis* подвержен влиянию полового цикла в течение апреля. Однако все предыдущие авторы упускали из виду другой важный фактор – наличие (доступность) питания. Это фактор может оказывать не меньшее влияние на активность животных. В работе Loo (1992) в частности, было показано, что у мидий при низких температурах наблюдается резкое повышение уровня потребления кислорода в случае резкого размножения фитопланктона. Наши данные подтверждают вышеупомянутое предположение. Возможно, что для мидий Белого моря доступность пищи в большей степени контролирует уровень дыхания и сердечную активность, чем температура и стадия гаметогенеза. Тем не менее, для того, чтобы поддержать это заключение, необходимо проведение дополнительных экспериментов с параллельным определением стадий гаметогенеза.

Благодарность

Хотелось бы поблагодарить сотрудников ББС ЗИН РАН «Картеш» за предоставление возможности проведения экспериментов.

Литература

- Максимович Н.В. 1985. Репродуктивный цикл *Mytilus edulis* L. в губе Чупа. В сб. Исследование мидии Белого моря. Биологические ресурсы Белого моря и их рациональное использование. Л.: Зоологический институт АН СССР. С. 22–35
- Bakhmet I.N., Fokina, N.N., Nefedova, Z.A., Nemova, N.N., 2009. Physiological–biochemical properties of blue mussel *Mytilus edulis* adaptation to oil contamination. *Environ. Monit. Assess.* 155, 581–591.
- Braby C.E., Somero, G.N., 2006. Following the heart: temperature and salinity effects on heart rate in native and invasive species of blue mussels (genus *Mytilus*). *J. Exp. Biol.* 209, 2554–2566.
- De Pirro M., Cannicci, S., Santini, G., 1999. A multi-factorial experiment on heart rate variations in the intertidal crab *Pachygrapsus marmoratus*. *Mar. Biol.* 135 (2), 341–345.
- DeVooy C.G.N., 1976. The influence of temperature and time of year on the oxygen uptake of the sea mussel *Mytilus edulis*. *Mar. Biol.* 36, 25–30.
- Loo L.O. 1992. Filtration, assimilation, respiration and growth of *Mytilus edulis* L. at low temperatures. *Ophelia*. 35, 123–131.
- Marshall D.J., McQuaid, C.D., 1992. Relationship between heart rate and oxygen consumption in the intertidal limpets *Patella granularis* and *Siphonaria oculus*. *Comp Biochem Physiol A* 103, 297–300.
- Nicholson S., 2002. Ecophysiological aspects of cardiac activity in the subtropical mussel *Perna viridis* (L.) (Bivalvia: Mytilidae). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 267, 207–222.
- Sukhotin A.A., 1992. Respiration and energetic in mussels (*Mytilus edulis* L.) cultured in the White Sea. *Aquac.* 101, 41–57.

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ И ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МИДИЙ *MYTILUS EDULIS* БЕЛОГО МОРЯ ЕСТЕСТВЕННОЙ ПОПУЛЯЦИИ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2012 г.

Т.В. Безгачина, А.М. Савоськина, С.В. Добренкова, Д.М. Корчагин

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-
исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»,
Москва, Россия, e-mail: bezgachina@vniro.ru

Мидия *Mytilus edulis* естественной популяции в Белом море обладает прекрасными пищевыми качествами. В связи с развитием в последние годы в мире промышленной марикультуры мидий все больше приобретает значимость проблема изучения их заболеваний и безопасности продукции из них.

В Белом море более 20 лет существует промышленное мидиевое хозяйство в районе о. Соностров в Кандалакшском заливе, где ранее ВНИРО с 1996 г. осуществляло контроль за его санитарно-эпизоотическим состоянием.

Также очень важно проводить мониторинговые исследования мидий естественной популяции на наличие у них инфекционных заболеваний.

Санитарно-микробиологические исследования мидий *Mytilus edulis* были осуществлены согласно требованиям СанПиНа 2.3.1078-01; 2002; Единым санитарно-эпидемиологическим и гигиеническим требованиям к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю), утв. решением Комиссии Таможенного Союза от 28 мая 2010 г. № 229; ГОСТа Р 29185-91; ГОСТа Р 10444.15-94; ГОСТа Р 30726-2002; ГОСТа Р 52816-2007; ГОСТа Р 51921-2007 и в соответствии с Инструкцией по санитарно-микробиологическому контролю мидий в районах их выращивания, на обрабатывающих предприятиях и по очистке мидий от бактериального загрязнения (Пученкова, Губанов, Говорин, 1988).

Подготовка проб мидий для токсикологических исследований проводилась способом мокрой минерализации по ГОСТ 26929-94 «Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов». Содержание тяжелых металлов (Pb, Cd, Ni, Cr, Cu) определяли электротермическим атомно-адсорбционным методом на спектрофотометре ААС Квант-З. Эта.

В губе Кислая Кандалакшского залива Белого моря в летний период 2012 г. были осуществлены санитарно-микробиологические исследования мидий *Mytilus edulis* естественной популяции.

В летний период 2012 г. в 1 г навески мидийного гомогената мидий *Mytilus edulis* количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) не превышало нормативного количества 5×10^4 КОЕ/г и составило $4,6 \times 10^3$ КОЕ/г.

Бактерии группы кишечной палочки (БГКП), золотистый стафилококк *Staphylococcus aureus*, листерии *Listeria monocytogenes* и сальмонеллы *Salmonella* sp. не были выделены, что соответствует санитарно-эпидемиологическим и гигиеническим требованиям.

Также у мидий естественной популяции были обнаружены культуры штаммов р.р. *Vibrio*, *Acinetobacter*, *Neisseria*.

В летний период 2012 г. общая обсемененность мидий Белого моря не превышала нормативного уровня, однако сам видовой состав выделенных микроорганизмов свидетельствует о невозможности их использования в живом виде.

В ходе использования мидий для пищевой цели необходимо осуществлять их термическую обработку.

В летний период 2012 г. в мидиях *Mytilus edulis* были обнаружены концентрации тяжелых металлов Pb, Cd, Ni, Cr, Cu, которые могут являться наиболее токсичными для моллюсков. Однако данные концентрации тяжелых металлов не превышают допустимых значений, а по степени убывания располагаются в следующий ряд: Cu > Cr > Ni > Cd > Pb.

При использовании мидий *Mytilus edulis* естественной популяции для пищевой цели необходим их постоянный санитарно-микробиологический и токсикологический контроль.

ПЕРВЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОБИЛИИ ПИКОФИТОПЛАНКТОНА В ОНЕЖСКОМ ЗАЛИВЕ БЕЛОГО МОРЯ

Т.А. Белевич¹, Л.В. Ильяш¹, А.Н. Ступникова², А.В. Дриц²

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», Москва, Россия, e-mail: 3438083@list.ru;

² Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, Москва, Россия

К пикофитопланктону (ПФ) относят цианобактерии и эукариотные водоросли с размерами клеток менее 3 мкм. ПФ – это важнейший компонент фитопланктонного сообщества. В периоды низкого обилия нано- (3–20 мкм) и микрофитопланктона (20–200 мкм) пикоформы могут давать основной вклад в суммарную биомассу и продукцию фитопланктона. Обилие ПФ в Белом море оценено только в губе Чупа (Ильяш, 1998; Ратькова и др., 2004), а также в проливе Великая Салма Кандалакшского залива (Белевич, Ильяш, 2010, 2012; Белевич и др., 2013). Оценку обилия автотрофного пикопланктона в Онежском заливе до настоящего времени не проводили. В работе представлены данные о численности и биомассе пикофитопланктона, а также о доминирующих видах и биомассе нано- и микрофитопланктона в Онежском заливе в июне 2012 г.

Материалом для работы послужили пробы, собранные в ходе рейса НИС «Эколог» на 9 станциях в Онежском заливе с 17 по 19 июня 2012 г. (рис.). Пробы воды отбирали батометром Нискина с горизонтов 0 и 5 м. Определение концентрации хлорофилла *a* проводили флуорометрическим методом с помощью флуорометра Trilogu. Для количественного учета нано- и микрофитопланктона (Н-МФ) пробу воды объемом 1 л фиксировали раствором Люголя. Для количественного учета ПФ пробу объемом 10 мл фиксировали раствором глутаральдегида, профильтровывали через мембранный фильтр с диаметром пор 0,45 мкм и окрашивали примулином. Фильтры помещали в жидкий азот и хранили до последующей обработки. Описание методики количественного учета ПФ и Н-МФ приведено в работе (Белевич, Ильяш, 2012). Достоверность различий средних значений биомассы оценивали по критерию Манна-Уитни с использованием программы PAST (PAleontological STatistics) Version 2.04.

Видовой состав фитопланктона. ПФ залива представлен цианобактериями и эукариотными водорослями. Определение пикоформ до вида возможно только на основе молекулярно-генетических методов, поэтому судить о видовом богатстве ПФ залива мы не можем. Известно, что в полярных водах пикоцианобактерии представлены почти исключительно родом *Synechococcus*, а видовое разнообразие пикоэукариот исчисляется несколькими десятками видов. В полярных и умеренных водах наибольшего обилия достигают празиофитовые водоросли родов *Micromonas*, *Bathycoccus* и *Ostreococcus*. Можно предположить, что эти водоросли входят в состав эукариотного пикопланктона и в Белом море.

В видовом составе Н-МФ обнаружено более 80 видов водорослей. По числу видов преобладали диатомовые (35 видов) и динофитовые (29 видов). Отмечены также цианобактерии, представители криптофитовых, золотистых, диктиоховых водорослей, хоанофлагелляты, неидентифицированные мелкие жгутиковые и коккоидные водоросли, цисты динофлагеллят и золотистых водорослей, споры диатомей.

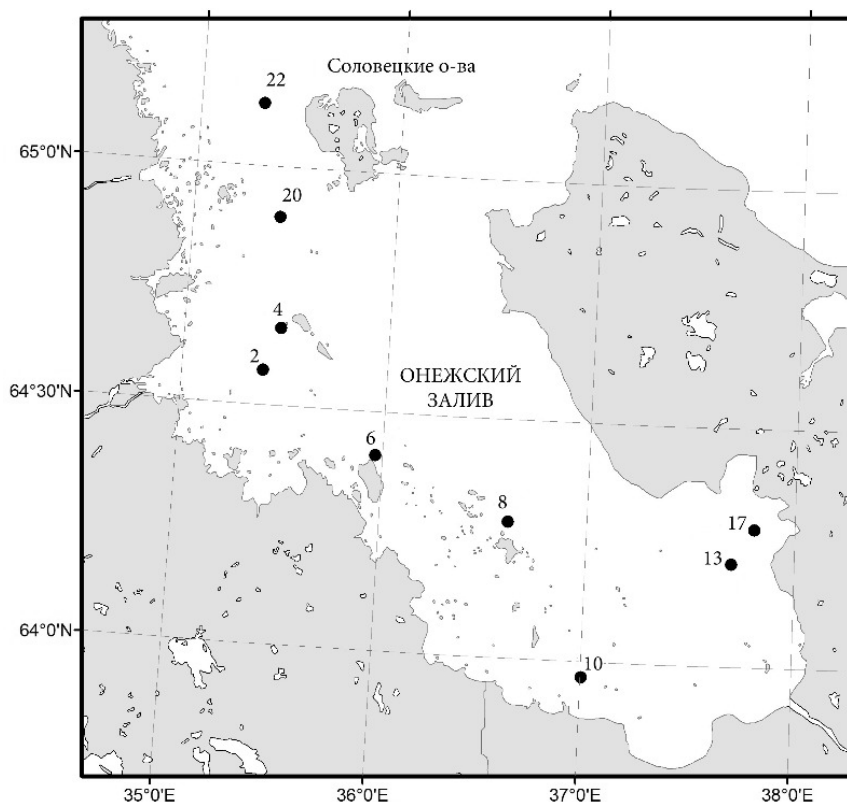


Схема расположения станций в Онежском заливе Белого моря

Обилие фитопланктона. Численность и биомасса отдельных размерных групп фитопланктона, а также концентрация хлорофилла *a* и доминирующие виды значительно варьировали по акватории залива (табл.).

Средние значения численности и биомассы ПФ в поверхностном горизонте составили $0,50 \pm 0,66 \times 10^6$ кл/л и $0,34 \pm 0,58$ мг С/м³, на глубине 5 м – $0,44 \pm 0,33 \times 10^6$ кл/л и $0,33 \pm 0,29$ мг С/м³. Средняя биомасса Н-МФ составляла $18,16 \pm 12,99$ мг С/м³ (0 м) и $20,66 \pm 11,85$ мг С/м³ (5 м). Средние значения биомассы ПФ в поверхностном слое и на глубине 5 м достоверно не различались, аналогично не выявлено достоверных различий в средней биомассе Н-МФ на двух горизонтах. В слое 0–5 м средние значения биомассы ПФ и Н-М составили $0,33 \pm 0,44$ мг С/м³ и $19,41 \pm 12,13$ мг С/м³, соответственно.

Вклад ПФ в суммарную биомассу фитопланктона колебался от 0,2 до 12,6%. В среднем вклад ПФ в суммарную биомассу был выше ($p = 0,04$) при доминировании в фитопланктоне криптофитовых и неидентифицированных мелких жгутиковых, чем при доминировании динофлагеллят.

В поверхностном горизонте ПФ был представлен преимущественно цианобактериями, кроме ст. 6, где вклад эукариот и цианобактерий в общую численность был почти одинаков (53% и 47%, соответственно). На горизонте 5 м численность

эукариотных пиководорослей была выше численности прокариот на станциях 4, 8, 13 и 20, их вклад в суммарную численность ПФ колебался от 50 до 68%.

Биомасса (мг С/м³) пикофитопланктона (ПФ), нано- и микрофитопланктона (Н-МФ), суммарная биомасса фитопланктона (Вс), концентрация хлорофилла *a* (Хл, мг/м³) вклад пикофитопланктона в суммарную биомассу фитопланктона (ПФ, %), доминирующие виды и группы и их вклад в суммарную биомассу (цифры в скобках, %)

№ ст.	Глубина, м	ПФ	НМФ	Вс	Хл	ПФ%	Доминирующие виды и группы
10	0	0,17	17,81	17,98	1,02	0,9	<i>Heterocapsa triquetra</i> (26)
	5	0,14	22,22	22,36	0,77	0,6	<i>Heterocapsa triquetra</i> (31)
13	0	0,05	26,59	26,64	1,30	0,2	<i>Heterocapsa triquetra</i> (44)
	5	0,12	17,01	17,13	0,62	0,7	<i>Heterocapsa triquetra</i> (28)
17	0	0,11	28,80	28,91	1,23	0,4	<i>Heterocapsa triquetra</i> (47)
	5	0,35	26,58	26,93	0,69	1,3	<i>Heterocapsa triquetra</i> (17)
8	0	0,31	13,68	13,99	0,95	2,2	Криптофитовые (26)
	5	0,65	12,68	13,33	0,89	4,9	Криптофитовые (16)
6	0	1,85	12,91	14,76	0,98	12,6	н/м (30)
	5	0,81	31,94	32,75	0,75	1,0	Криптофитовые (31)
2	0	0,25	7,90	8,15	0,50	3,0	<i>Prorocentrum minimum</i> (30)
	5	0,22	30,93	31,16	0,84	0,7	<i>Prorocentrum minimum</i> (67)
4	0	0,13	44,31	44,43	1,85	0,3	<i>Prorocentrum minimum</i> (38)
	5	0,62	36,00	36,61	1,13	1,7	<i>Prorocentrum minimum</i> (38)
20	0	0,07	8,86	8,92	0,47	0,7	<i>Rhizosolenia setigera</i> var. <i>arctica</i> (20)
	5	0,04	6,04	6,07	0,51	0,6	<i>Thalassiosira nordenskioeldii</i> (49)
22	0	0,08	2,59	2,67	0,20	3,1	<i>Gyrodinium fusiforme</i> (27)
	5	0,04	2,57	2,61	0,15	1,4	Криптофитовые (20)

Примечание. н/м – неидентифицированные мелкие жгутиковые и коккоидные водоросли. Криптофитовые – суммарная биомасса *Teleaulax acuta* и *Plagioselmis* sp.

Биомасса ПФ в поверхностном слое была выше таковой на горизонте 5 м на станциях 2, 6, 10, 20 и 22. На остальной акватории биомасса ПФ была выше на глубине 5 м. Биомасса Н-МФ на ряде станций изменялась противоположным образом, чем изменялась биомасса ПФ, и вклад ПФ в суммарную биомассу с глубиной снижался на станциях 10, 6, 2, 22, на станциях 13, 17, 8 и 4 – увеличивался, либо оставался примерно одинаков (ст. 22).

Численность ПФ в Онежском заливе была ниже, чем в таких районах Кандалакшского залива как губа Чупа в июне (Ильяш, 1998) и пролив Великая Салма в августе (Белевич и др., 2013). ПФ Онежского залива также отличается более значимая доля эукариотных пикоформ. В губе Чупа и проливе Великая Салма в летний период вклад пикотианобактерий в суммарную численность ПФ на один – два порядка больше вклада пикозеукариот.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 12-04-00477-а.

КОЛИЧЕСТВО И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СЕСТОНА В БЕЛОМ МОРЕ

В.Я. Бергер, М.В. Герасимова, М.В. Митяев, В.В. Смирнов

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Зоологический институт Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: berger.vic@gmail.com*

Сестон или взвешенные вещества (ВВ), как органические, так и неорганические, — не только основа формирования донных отложений, но и один из базовых элементов организации и функционирования водных экосистем. Его содержание в водах различных морей подвержено значительным изменениям в зависимости от сезона года, направления, продолжительности и силы ветра, количества атмосферных осадков, приливно-отливных и адвективных течений, водообмена с другими акваториями, речного стока и других факторов. В Белом море исследования содержания сестона, начатые более 60 лет (Максимова, 1960, 1991; Agatova et al. 1993; Агатова и др., 1994, 2002; Шевченко и др., 2001; Долотов и др., 2002; Немировская, 2004), в подавляющем большинстве случаев проводились в летнее время. В связи с этим для более полной характеристики содержания ВВ в воде Белого моря авторы поставили задачу изучить количество сестона в разные сезоны, в разных частях моря и на разных глубинах, исследуя одновременно как органическую, так и минеральную составляющие взвеси.

Работа выполнена в 2010–2012 гг. на базе Беломорской биологической станции Зоологического института РАН. Пробы воды отбирались на разной глубине пластиковым батометром как по открытой воде с борта научно-исследовательских судов (НИС) «Профессор Владимир Кузнецов» и «Беломор», так и через прорубь во льду в зимний период. Местом ежемесячного мониторинга служила станция Д-1 в устье губы Чула. Остальные пробы собирались в рейсах НИС в разных частях беломорской акватории.

Для определения содержания $S_{\text{орг}}$ пробы воды фильтровали сначала через мельничное сито с диаметром пор 100 мкм и затем под вакуумом через стекловолокнистые фильтры (Labfilter, США) с диаметром пор 1 мкм. После этого фильтры со взвесью подвергались бихроматному окислению (Остапеня, 1968; Гигиняк, 1979). Концентрация взвешенных органических веществ (ВОВ) и их калорийность рассчитывались общепринятыми методами (Скопинцев, 1950; Винберг, 1960).

Для определения тотального содержания ВВ в лабораторных условиях пробы воды объемом не менее 1 л фильтровались под вакуумом через предварительно взвешенные лавсановые ядерные фильтры с размером пор 0.45 мкм. После этого фильтры промывали дистиллированной водой и высушивали до постоянного веса при температуре 65°C. Массу взвеси определяли на электронных весах с точностью до 0.1 мг.

В акватории Белого моря за пределами «маргинальных» фильтров общая концентрация ВВ, как органических, так и неорганических, изменяется от 0.10 до 2.50 мг/л. Вероятность обнаружения содержания ВВ в водах Белого моря (от поверхности до дна) от 0.25 до 1.45 мг/л составляет 0.798 ($n = 331$, $p = 0.999$). В целом, в открытой акватории моря среднее содержание ВВ было равно: в Кандалакшском заливе — 0.89 ± 0.10 мг/л ($n=21$), в Горле — 0.59 ± 0.13 мг/л ($n=12$), в Онежском заливе — 0.65 ± 0.06 мг/л ($n = 15$), в Бассейне — 0.73 ± 0.04 мг/л ($n = 12$). В воде губ и проливов Кандалакшского залива (губы Чула, Кив, Колвица, Кереть, пролив Глубокая салма) в среднем содержалось 0.84 ± 0.02 мг/л ВВ ($n = 271$).

По вертикальному распределению ВВ можно выделить три слоя воды:

- верхний – вероятной мощностью 10–20 м, где концентрация ВВ близка к арифметическому ожиданию среднего содержания ВВ в столбе воды;
- основной (средний) – с пониженным (предположительно фоновым) содержанием ВВ, мощность слоя зависит от глубины моря;
- придонный (нефелоидный) – обогащенный ВВ (слой повышенной мутности), вероятной мощностью 10–50 м.

В губах Кандалакшского залива в верхнем фотическом слое воды содержание ВВ изменялось от 0.25 до 2.25 мг/л. Вероятность обнаружения содержание ВВ от 0.35 до 1.45 мг/л составляет 0.916 ($n = 179$), ярко выражены два модальных значения 0.70 и 0.95 мг/л. Содержание ВВ в фоновом слое воды изменялось от 0.15 до 1.25 мг/л, вероятность обнаружения содержание ВВ от 0.25 до 0.95 мг/л составляет 0.957 ($n = 69$), ярко выражены два модальных значения 0.40 и 0.65 мг/л. Содержание ВВ в нефелоидном слое воды изменялось от 0.25 до 2.00 мг/л, вероятность обнаружения концентрации ВВ от 0.45 до 1.45 мг/л составляет 0.911 ($n = 91$), ярко выражены два модальных значения 0.80 и 1.05 мг/л. В толще воды низкие (менее 0.25 мг/л) и высокие (более 1.75 мг/л) концентрации ВВ – единичные явления, вызванные штормами и/или продолжительными ливнями, сизигийными приливами и отливами, штилем и др.

Изменения содержания ВВ во времени выявлены на всех уровнях от короткопериодических (за приливно-отливный цикл) до межгодовых.

В целом, наблюдается увеличение содержания ВВ от весеннего сезона к летнему, с дальнейшим постепенным уменьшением до конца осеннего периода, сменяющимся резким снижением концентрации ВВ зимой. В подледных условиях фиксируются минимальные содержания ВВ. Летом короткопериодические изменения содержания ВВ встречались в $16.2 \pm 2.9\%$ ($n = 21$) случаев, а осенью – $19.7 \pm 4.3\%$ ($n = 9$).

Анализ гидрологических и метеорологических факторов, влияющих на временные изменения содержания ВВ, показал, что универсальным фактором является приливно-отливные течения. В прилив содержание ВВ понижается, а в отлив увеличивается. Эта закономерность нарушается при штормовых волнениях и ливневых атмосферных осадках. Второй фактор – соленость морской воды. Отрицательная корреляционная связь содержания ВВ с соленостью воды весьма значительна: коэффициент Спирмана $r_{сп} = -0.63$, при $n = 126$ и уровне значимости $p = 0.99$. Соленость воды наиболее сильно влияет на содержание ВВ в поверхностном слое ($r_{сп} = -0.44$, $n = 42$, $p = 0.99$), где диапазон изменения солености максимален. Третий фактор – температура воды. Выявлена положительная корреляционная связь содержания ВВ с температурой воды ($r_{сп} = 0.53$, $n = 126$, $p = 0.99$). В отличие от солености, температура – фактор, влияющий на содержание ВВ во всей толще морской воды. Четвертый фактор – скорость ветра. Содержание ВВ в поверхностном слое воды имеет отрицательную корреляционную связь со скоростью ветра ($r_{сп} = -0.37$, $n = 42$, $p = 0.99$). Понижение содержания ВВ при усилении ветра может быть связано с перемешиванием верхнего обогащенного ВВ слоя воды с нижним относительно обедненным. Пятый фактор – количество атмосферных осадков. Слабая положительная корреляционная связь содержания ВВ с количеством атмосферных осадков выявлена только в поверхностном горизонте ($r_{сп} = 0.22$, $n = 62$, $p = 0.95$), а максимальное содержание ВВ зафиксировано после ливня.

Результаты мониторинговых наблюдений на станции Д1 свидетельствуют о том, что содержание БОВ в воде существенно изменялось не только в разные сезоны, но и в разные годы. Наиболее значительными были изменения содержания БОВ в поверхностных (0.5 м) водах. Максимум (1.06 ± 0.1 мг/л) содержания $C_{орг}$ во взвеси наблюдался в летний период (июль 2011 г.), а минимум (0.1 ± 0.01 мг/л) – в апреле 2011 г. Различия летних и зимних величин достигали десятикратного уровня в 2011 г., а 2010 и 2012 гг. были значительно меньше. Аналогичные изменения БОВ наблюдались и в более глубоких слоях воды. Разница заключалась лишь в абсолютных величинах исследуемого показателя. На глубине 15 м концентрация $C_{орг}$ во взвеси варьировала в разные годы от 0.70 ± 0.12 (октябрь 2012 г.) до 0.1 ± 0.01 мг/л (ноябрь 2010 г.). Следовательно, на этой глубине максимальные изменения тестируемого показателя за исследованный период были семикратными.

В целом, анализируя обнаруженные изменения содержания БОВ в воде на разных глубинах, следует отметить, что они были не только однонаправленными, но и весьма сходными по скорости изменений. Так, в период между зимой и летом содержание БОВ увеличивалось. При этом от зимы к весне исследуемая характеристика резко возрастала, а ее последующее увеличение от весны до лета было более плавным. В дальнейшем не очень значительное уменьшение концентрации БОВ в период лето – осень сменялось скачкообразным падением концентрации БОВ при переходе к зиме.

Рассчитать среднегодовые величины содержания органического углерода во взвеси в исследованном районе Белого моря на основании полученных данных можно лишь приблизительно из-за того, что имелись «технические» пропуски в сборе материала в некоторые зимние месяцы. Для заполнения имеющихся пробелов были усреднены данные, характеризующие два крайних месяца по обе стороны от пропущенных при сборе проб. В результате рассчитано, что средние величины содержания $C_{орг}$ во взвеси за весь период исследований на глубинах 0.5, 15 и 50 м были равны соответственно 0.40 ± 0.011 , 0.35 ± 0.007 и 0.31 ± 0.010 мг/л. В пересчете на общее содержание БОВ эти величины эквиваленты соответственно 0.80 ± 0.022 , 0.70 ± 0.014 и 0.62 ± 0.020 мг/л, а в пересчете на количество калорий – 4.5 ± 0.12 , 4.0 ± 0.08 и 3.5 ± 0.12 кал/л.

В июле 2011 г. и в августе 2012 г. во время рейсов по акватории моря было обнаружено, что поверхностные воды (0.5 м) содержали максимальное количество БОВ в Кандалакшском и Онежском заливах (в среднем соответственно 0.56 ± 0.08 и 0.46 ± 0.09 мгС/л), а минимальные количества были зарегистрированы в водах Бассейна и Горла (в среднем соответственно 0.48 ± 0.06 и 0.41 ± 0.07 мгС/л). Двинский залив не исследовался. На глубинах от 35 до 100 м содержание БОВ во всех местах взятия проб было ниже, чем на поверхности и составляло в среднем 0.44 ± 0.07 мгС/л.

Дополнительные сборы проб на двух глубоководных станциях в Кандалакшском заливе в также показали, что с глубиной содержание БОВ в воде снижается. Так, 10 августа 2010 г. в Кандалакшском заливе на глубоководной станции севернее архипелага Кемь-луды в пробах воды на поверхности (0.5м) содержалось 0.40 ± 0.05 мгС/л, а на глубине 170 м – 0.19 ± 0.04 мгС/л. В том же заливе в проливе Глубокая Салма в 25 июня 2011 г. на поверхности (0.5м) были зарегистрированы величины около 0.75 ± 0.1 мгС/л, а на глубине 150 м – 0.40 ± 0.06 мгС/л.

Сборы материала, произведенные в сентябре 2011 в эстуарии реки Колвица (Кандалакшский залив), показали, что содержание ВОВ уменьшалось по мере удаления от устья реки. Так, в воде в куту губы концентрация ВОВ на глубине 0.5 м была равна 0.88 ± 0.12 мгС/л, тогда как на выходе из губы она была значительно ниже: 0.55 ± 0.04 мгС/л. На глубине 15 м, где наблюдался подток морских вод, концентрация ВОВ варьировала на разных станциях от 0.29 ± 0.07 до 0.64 ± 0.14 мгС/л, но эти различия не были связаны с удалением от места впадения реки в море.

Оценка соотношения количества органических и неорганических вещества в сестоне, произведенная на основании данных мониторинга в течение 2010–2012 гг на станции Д1, показала, что доля ВОВ может достигать 96%, но в среднем за весь период исследования она составляла 61%: 57% – в поверхностном слое воды, 65% – на горизонте 15 м и 45% – в придонном слое. Летом доля органики во ВВ составляла в среднем 63% от массы всей взвеси: 62% в поверхностном слое, 72% – на горизонте 15 м и 43% – в придонном слое. Осенью доля ВОВ составляла в среднем 77%: в поверхностном слое – 87%, на горизонте 15 м – 76%, в придонном слое – 67%. Зимой доля органики в среднем составляла 47%: в поверхностном слое – 40%, на горизонте 15 м – 51% и 33% – в придонном слое воды. Весной доля органики в среднем составляла 47%: в поверхностном слое – 49%, на горизонте 15 м – 45% и 43% – в придонном слое. Таким образом, с конца весеннего периода доля органического вещества во ВВ непрерывно увеличивается до середины осени, затем начинается ее постепенное снижение до конца зимнего – начала весеннего периода. Над слоем скачка плотности («жидким дном» – Лисицин, 1974) ВВ почти на 75% состоят из ВОВ, а в придонном слое воды доля ВОВ редко превышает 50%. Наиболее интенсивным изменениям подвержен летом фотический слой воды, где ВВ в течение одного сезона может практически полностью (до 96%) состоять из ВОВ либо из литогенного вещества (доля ВОВ менее 40%). Только зимой соотношение ВВ в поверхностном слое воды достаточно стабильно, а доля ВОВ не превышает 51%.

ОСОБЕННОСТИ ПИТАНИЯ ЛИТОРАЛЬНЫХ АМФИПОД РОДА *GAMMARUS* (КАНДАЛАКШКИЙ ЗАЛИВ, БЕЛОМ МОРЕ)

Н.А. Березина, М.И. Задевалова

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Зоологический институт Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: nber@zin.ru

Амфиподы рода *Gammarus* – это важный компонент литоральных сообществ Белого моря, хотя значение многих видов в этом биоценозе целом остается неясным из-за недостаточных и противоречивых сведений о способе питания и трофических связях амфипод внутри сообществ. Исследования последних десятилетий показали, что многие представители этого рода относятся к всеядным организмам, и хищничество наряду с сапрофагией и фитофагией относится к основным пищевым стратегиям (MacNeil et al. 1997, 1999). Гаммариды способны хищничать, нападая на донных и планктонных беспозвоночных, включая своих сородичей (Hunte and Myers 1983; Dick et al. 1993; Wilhelm and Schindler 1999, Kelly and Dick 2005; Berezina 2007).

Целью настоящей работы стало изучение спектра питания амфипод *Gammarus oceanicus* Segerstrale и *G. duebeni* Liljeborg, типичных обитателей литорали Белого моря. Также важно было оценить межвидовое хищничество этих сосуществующих в природе видов. В губе Чупа эти виды встречаются на литорали и в супралиторали закрытых и полузакрытых бухт с поясами фукусов и высших водных растений. Обычно их численность не превышает 10% от общей численности макробентоса, хотя в периоды после выхода молоди (осенью) может достигать 35% (Цветкова 1968, 1985; Задевалова и Герасимова 2008).

Материал был собран в июне 2008 г. на литорали губы Чупа Кандалакшского залива (66°20', 33°38'), в районе Беломорской Биологической станции ЗИН РАН. Было отобрано 72 особи *Gammarus oceanicus* и 54 особи *G. duebeni*. Сразу после отлова бокоплавов фиксировали 4% формалином. В лаборатории у особей длиной тела более 5–6 мм определяли размер и пол, используя стереоскопический микроскоп, оборудованный микрометром. Длину тела измеряли от конца рострума до основания тельсона с точностью до 0,1 мм. Самок идентифицировали по наличию развитых оостегитов, самцов – по строению шестого членика и степени развития опушения гнатоподов 1 и 2.

Каждую особь помещали на предметное стекло и при помощи микроигл, ножниц и пинцета из полости тела осторожно извлекали кишечник. Кишечник переносили в каплю глицерина, разрывали его оболочку, и содержимое равномерно распределяли под покровным стеклом. Содержимое просматривали под световым микроскопом, оценивая частоту встречаемости отдельных компонентов в% от общего количества проанализированных особей.

Экологический рацион (C_3) – это среднее количество (экз.) жертв, съеденных хищником за определенное время (в данной работе за 1 ч). Рационы *Gammarus oceanicus*, потребляющего молодь *G. duebeni* (длиной тела 10 мм), оценивали экспериментально при разном количестве жертв (3, 6, 10, 15 экз.) в сосуде. Рационы рассчитывали по разнице между начальным и конечным количеством жертв в экспериментальных сосудах, отнесенной к общему времени экспозиции (24, 48, 72 и

96 ч). Экспериментальные емкости объемом 0.5 л и площадью дна 1 дм² заполняли чистой морской водой (с соленостью 24 ‰); в каждую из них помещали одну взрослую особь *G. oceanicus* (хищника) и молодь *G. duebeni* (жертвы). Размеры жертв варьировали от 8 до 9,5 мм, а хищников – от 19 до 24 мм. В качестве альтернативного корма использовали водоросли *Cladophora* sp., добавляя по 30–50 мг в каждый сосуд. Дважды в день воду аэрировали. Время экспозиции составляло 96 ч, каждые 12 ч подсчитывали количество выживших особей. Температура воды в течение эксперимента поддерживалась на постоянном уровне (12 °C). При условиях, идентичных экспериментальным, экспонировали два контрольных варианта с 10 экз. рачков каждого вида для учета их естественной смертности. Одну серию экспериментов проводили по описанной схеме без субстрата (опыты серии А), а в другом случае – опыт повторяли по той же схеме, но при наличии некрупных камней (3–4 шт. на сосуд), которые служили рачкам убежищем (опыты серии В). Для всех вариантов эксперимента рассчитывали средние арифметические и стандартные ошибки средних, для оценки достоверности различий между вариантами применяли F-test и t-критерий Стьюдента, принимая достоверность различий при уровне $p \leq 0.05$.

У обоих видов пищевой спектр включал три компонента: детрит, растительные остатки, животные остатки. Детрит и растительные остатки были обнаружены у 100% особей. Пищевые компоненты животного происхождения найдены у 54% особей *G. oceanicus* и 67% особей *G. duebeni*. Спектр питания *G. duebeni* более разнообразен, чем *G. oceanicus*. Частота встречаемости животной компоненты в питании *G. oceanicus* и *G. duebeni*, как правило, возрастала с увеличением длины тела, и у крупных особей (преимущественно самцов) была максимальной. Особи *G. oceanicus* длиной 11–12 мм питались в основном детритом и растительными остатками, а у 48% особей > 13 мм в кишечниках отмечены беспозвоночные (олигохеты, хирономиды, ракообразные). Беспозвоночные входили в состав пищи 70–90% крупных особей *G. oceanicus* (19–23 мм).

У 9 мм особей *G. duebeni* в пище присутствовал в основном детрит и растительные остатки, у более крупные них питались также беспозвоночными (свыше 20% особей). В питании крупных особей >13 мм кроме мелких червей (Annelida) отмечены также ракообразные (Amphipoda, Cyclopoida и Cladocera) и личинки хирономид. Амфиподы достигали наибольшей частоты встречаемости (33–40%) в питании 14–16 мм особей *G. duebeni*.

При измерении рационов *G. oceanicus* при потреблении молоди *G. duebeni* выявлено, что хищничающие *G. oceanicus* наиболее активны в первые сутки и их рационы, полученные за 24 ч во всех вариантах, были выше, чем на 3–4-е сутки (рис. 1).

Существенные различия выявлены в полученных величинах рационов, полученных в опытах серии А и В (рис. 2). Количество жертв, убитых хищником за 96 ч, были достоверно выше в опытах при отсутствии субстратов (F – тест, $F = 7.86$, $p = 0.02$), чем при наличии убежищ (камни). F–тест подтвердил достоверность различий ($p < 0.05$, рис. 2) средних рационов хищника при одной и той же численности, но разной доступности жертв (серии А и В). В среднем, количество убитых хищником жертв в отсутствии субстрата составляло от 0.03 ± 0.01 экз/час.дм² (при численности жертв 3 экз/ дм²) до 0.06 ± 0.01 экз/час.дм² (15 экз/дм²), в то время как в присутствии субстрата они были достоверно ниже (0.02 ± 0.001 и 0.05 ± 0.01 экз/час.дм², соответственно).

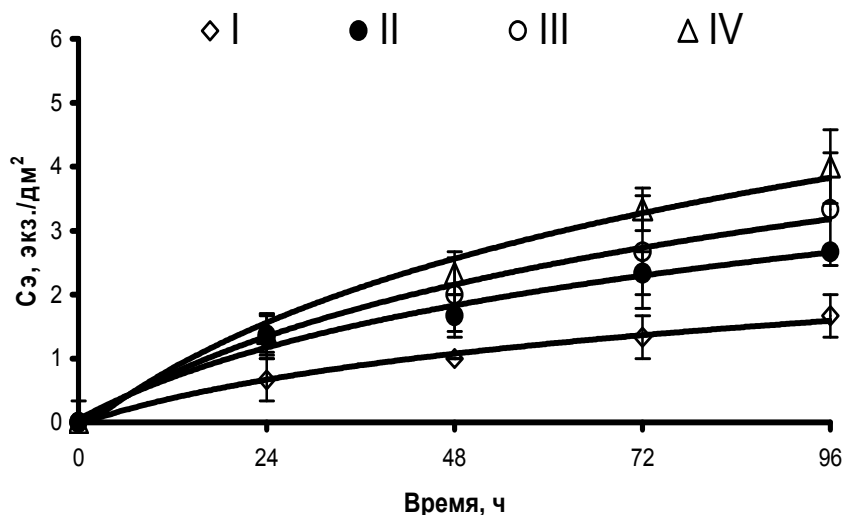


Рис. 1. Экологический рацион хищника *Gammarus oceanicus* в разных вариантах эксперимента В при экспозиции 24, 48, 72 и 96 ч. По оси абсцисс – время экспозиции эксперимента; по оси ординат – среднее количество съеденных жертв

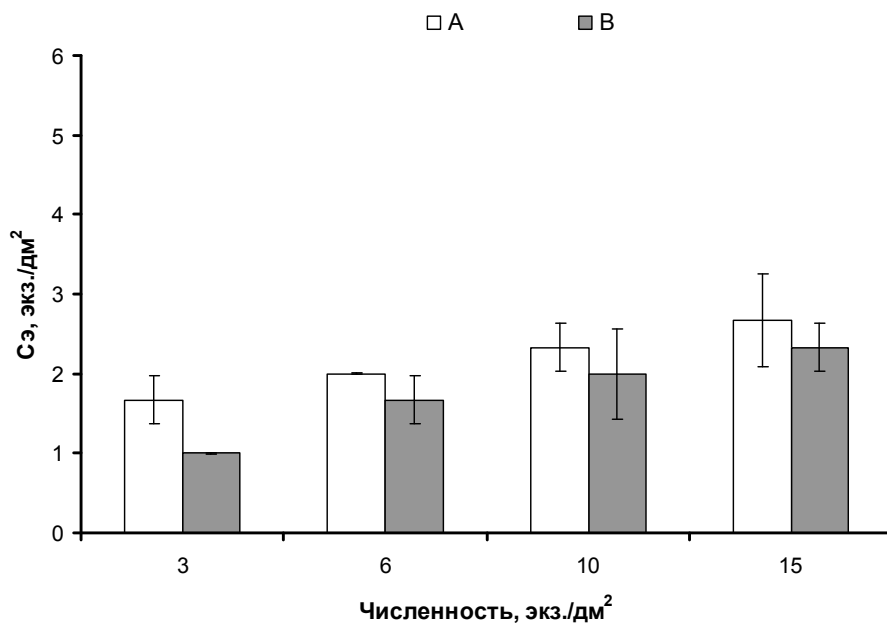


Рис. 2. Экологический рацион хищника *Gammarus oceanicus* за время экспозиции 96 ч при разной численности жертв (*Gammarus duebeni*) в серии опытов А (без субстрата) и в серии опытов В (с субстратом). По оси абсцисс – время экспозиции эксперимента; по оси ординат – среднее количество съеденных жертв

Смертность жертв от хищничества возрастала с увеличением численности жертв (рис. 1, 2). Различия в рационах *G. oceanicus* в опытах серии В были достоверны между парами вариантов: I и III ($t_{1,3} = 2.36$, $p = 0.028$) и I и IV (критерий Стьюдента $t_{1,4} = 3.34$, $p = 0.008$) и; а между 1 и 2 ($t_{1,2} = 1.33$, $p = 0.11$); 2 и 3 ($t_{2,3} = 0.78$, $p = 0.23$); 2 и 4 ($t_{2,4} = 1.39$, $p = 0.11$); 3 и 4 ($t_{3,4} = 0.11$, $p = 0.45$) были недостоверны. Численные потери жертв от хищничества обычно значительно превышают физиологические потребности хищников (Монаков 1998), в результате хищник может наносить существенный ущерб численности популяции жертвы.

Полученные результаты показали, что детрит и растительные остатки присутствовали в питании всех размерных категорий изученных видов (*G. oceanicus* и *G. duebeni*). Особенно важны эти компоненты были в питании мелких особей (размерами 9–10 мм). По мнению Раушенплат (Raushenplat 1901), питание молоди амфипод преимущественно детритом – результат нежности хитина их ротового аппарата. Амфиподы *G. oceanicus* и *G. duebeni*, потребляя детрит и растения, способствуют переработке и захоронению органических веществ, что делает их важным компонентом литоральных биоценозов Белого моря. При интенсивном питании фекалии амфипод переварены частично и содержат, питательный субстрат для развития бактерий. Эти фекалии поедаются многими детритоядными беспозвоночными: олигохетами, личинками насекомых, молодью амфипод и изопод (Сушенин 1975; Грезе 1977; Березина 2004).

Анализ результатов показал, что спектр питания *G. oceanicus* и *G. duebeni* изменялся с увеличением размеров бокоплавов, в частности возрастала частота встречаемости пищевых остатков животного происхождения, чаще всего представленных фрагментами ракообразных (Amphipoda и Cladocera), полихет и олигохет (Annelida) и личинок двукрылых насекомых (Chironomidae). Также, эксперимент подтвердил предпочтение крупных особей *G. oceanicus* к хищному питанию: даже при наличии доступной растительной пищи они питались преимущественно мелкими особями *G. duebeni*.

ЕЩЁ О ЛИНЬКЕ ЧИРКОВ-СВИСТУНКОВ НА БЕЛОМ МОРЕ

В.В. Бианки

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Кандалакшский государственный природный заповедник», Кандалакша, Россия, e-mail: biankivv@rambler.ru

В вершине Кандалакшского залива чирки-свистунки относительно малочисленны, на лугах не гнездятся, а озёра Кандалакшских шхер заселяет, видимо, не больше 10–15 пар. В течение мая пролётные стайки останавливаются в подходящих местах на морских лагунах, в кутах заливов и других спокойных заветренных мелководьях. Обычно одновременно бывает не больше 50–100 птиц. На озёрах в местах гнездования в мае держатся местные птицы. Только к июню на морских остановках число чирков-свистунков уменьшается, а на линных водоёмах увеличивается (рис. 1). Ещё весь июнь, а некоторые самцы, у которых не началась линька маховых, ещё весь июль проявляет брачное поведение.

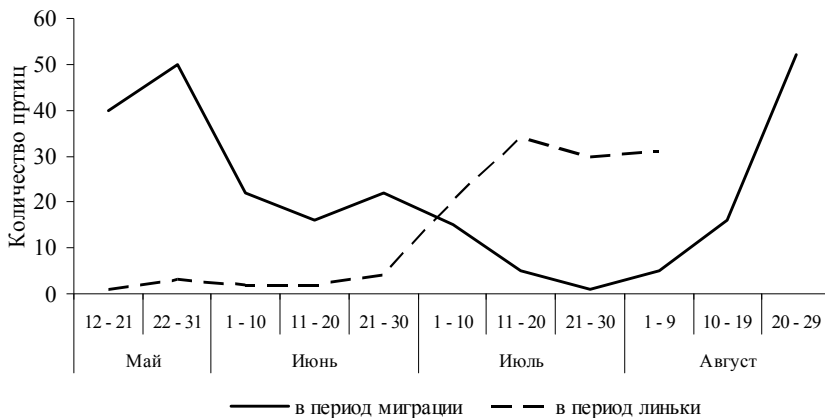


Рис. 1. Численность чирков-свистунков, останавливающихся во время миграции на лагуне и собирающихся на линьку на озере близ г. Кандалакши

Гнездование на островах Кандалакшских шхер начинается в середине мая. В ранних кладках первые яйца появляются в первой декаде мая, большинство самок начинает кладку в середине – во второй половине мая. Утки, потерявшие первую кладку, могут начать вторую в первой декаде июня. Большинство выводков обычно появляются около 20 июня и до 5 июля. Наиболее рано отмечали птенцов 8 июня, а выводок на озере о.Лодейного около 10 июня. В последние годы появление выводка на озере 11–15 июня наблюдали в 2002, 2011 гг. В самых поздних гнёздах насиживание начинается в середине июня. Соответственно птенцы появляются до 20 июля (в 2009 г.).

У птенцов чирков-свистунков маховые начинают расти примерно на 20-й день и к полутора месяцам они, по-видимому, начинают летать. К этому времени выводки распадаются, и самки, вырастившие потомство, в конце июля – начале августа начинают расти новые маховые. Часть самок, видимо, потерявшие потомство, начинает линьку маховых раньше (рис. 2).

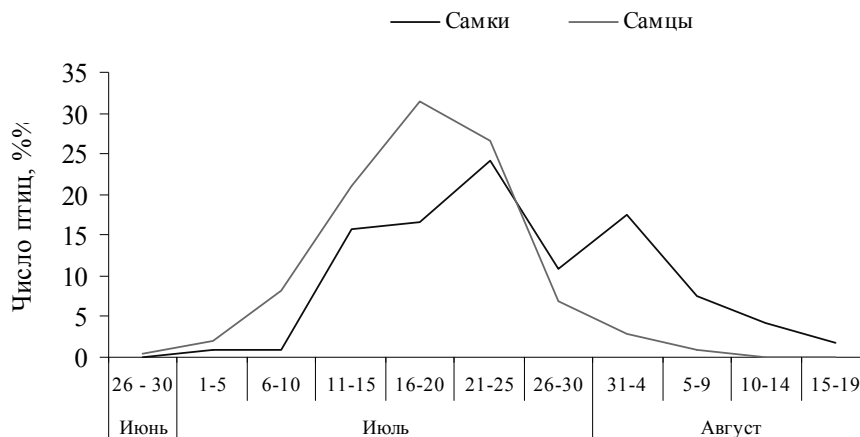


Рис. 2. Начало роста маховых у линяющих чирков-свистунков

Объединение самцов, закончивших брачный период, начинается около 1 июня и в течение этого месяца у них идёт линька мелкого контурного пера (Бианки 2008). В это время их встречается в вершине Кандалакшского залива мало, миграция самцов к месту линьки ускоряется в конце июня – первой половине июля. На островах Белого моря они сменяют маховые перья на мелководных озёрах с надводной растительностью и заболоченными берегами, поросшими осоками, рдестами и другой травянистой растительностью.

Выяснение скорости роста 3-го первостепенного махового и отлов линяющих птиц с конца первой декады июля до начала второй декады августа позволил рассчитать, что выпадение старых маховых и начало роста новых у большинства самцов происходит во второй и третьей декадах июля (Бианки, 2008; рис. 2; всего самок – 120, самцов – 613). При отлове линяющих уток на заболоченных берегах озёр шеренгой ловцов, часть чирков прячется в травянистой растительности на берегу, часть уходит затаиваться в лес, а некоторые уходят на ближайший водоём. Ловятся большей частью птицы, у которых маховых имеют длину кисточки до 80 мм, т. е. в первые 14–16 дней роста пера. Масса самцов ($n = 259$), у которых начался рост новых маховых, независимо от начала или конца этого периода имеют среднюю массу 390 г.

Первые чирки с начавшими расти новыми маховыми появляются в некоторые годы в последние дни июня, обычно в первую декаду июля. У большинства самцов смена маховых начинается в 3–5 пятидневке августа. В разные годы наибольшее количество их приходится на одну из этих пятидневок (рис. 3). Самые поздние самцы, у которых только что выпали старые маховые, встречаются около 10 августа

Восстановление необходимых для осенней миграции ресурсов происходит у перелинявших самцов за 10–15 дней, и некоторые из них начинают перелёт к местам зимовки в середине августа. Большинство чирков-свистунков мигрирует осенью в сентябре, когда окрепнут молодые и перелиняють самки.

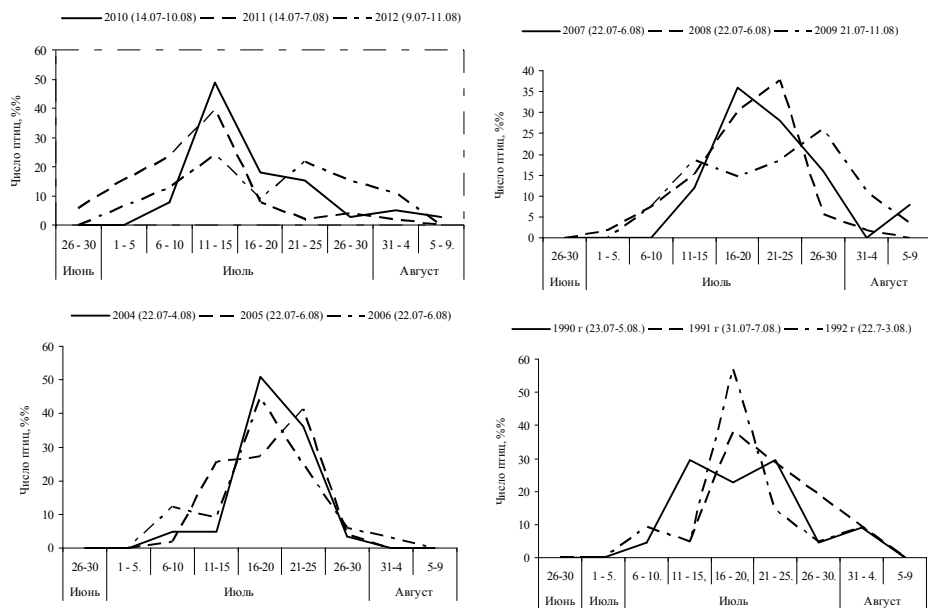


Рис. 3. Начало роста новых маховых у линяющих самцов чирка-свистунка в 1990–2012 гг.
(в скобках указан период отлова в этом году)

Литература

Бианки В.В., 2008. Линька чирков-свистунков на островах Кандалакшского залива // «Казарка», т. 11, вып. 2. С. 79–94.

БЕЗНАДЗОРНЫЕ СОБАКИ В ЗАПОВЕДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА

Н.С. Бойко, В.Б. Воициков

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Кандалакшский государственный
природный заповедник», Кандалакша, Россия, e-mail: kand_reserve@mail.ru

В результате деятельности человека на территории природных резерватов появились чужеродные виды наземных млекопитающих, роль и значение которых неоднозначно (Бобров и др., 2008). Одним из таких видов-вселенцев является и собака домашняя *Canis familiaris* Linnaeus, 1758. Злободневна эта проблема и для Кандалакшского государственного природного заповедника.

Территория заповедника – это главным образом острова на Баренцевом море и в Кандалакшском заливе Белого моря. Животный мир островов Кандалакшского залива представлен, в основном морскими птицами. Из них наиболее массовыми являются гага обыкновенная (*Somateria mollissima*), серебристая и сизая чайки (*Larus argentatus* и *Larus canus*), полярная крачка (*Sterna paradisaea*), чистик атлантический (*Cephus grylle*), белая куропатка (*Lagopus lagopus*) и др. Из наземных млекопитающих – заяц-беляк (*Lepus timidus*), лось (*Alces alces*). Из морских млекопитающих – гренландский тюлень (*Phoca groenlandica*), морской заяц (лахтак) (*Erignathus barbatus*) и кольчатая нерпа (*Phoca hispida*). Территория заповедника включена в список водно-болотных угодий международного значения (Рамсар).

Экологическая ситуация, складывающаяся на сопредельных территориях, находит свое отражение в состоянии животного мира и биоценозов экосистем заповедника. Собаки стали посещать острова в вершине Кандалакшского залива. Используются материалы Летописи природы Кандалакшского заповедника (1960–2012 гг.) и данные картотеки.

В понятие безнадзорные собаки мы включаем все разновидности собак, находящиеся в состоянии естественной свободы без контроля со стороны человека, с разной степенью одичания. В период ледостава, с декабря по май, собаки живущие, в основном в г. Кандалакше, бегают по льду Кандалакшского залива, посещая при этом и острова. На территории архипелагов Лувеньгский и Олений собак начали отмечать с 1973 г, спустя 5 лет после включения этих островов в состав заповедника. До 1995 г. это были единичные встречи собак. Затем их здесь стали регистрировать ежегодно. Встречаемость собак в вершине Кандалакшского залива показана в табл. 1 и на рис. До 1998 г. собак, по возможности, отстреливали. Распределение их встреч по месяцам показано в табл. 2.

Таблица 1

Встречаемость собак в январе-мае в вершине Кандалакшского залива

Годы	Число встреч	Среднее количество собак за встречу	Размер стаи
1973–1975	0	0	0
1976–1980	1	3	3
1981–1985	1	3	3
1986–1990	1	6	6
1991–1995	14	2.8	1–5
1996–2000	20	2.5	1–5
2001–2005	17	3.1	1–5
2006–2010	60	4.1	1–12
2011–2012	44	5.8	1–17



Динамика встречаемости собак в вершине Кандалакшского залива

Таблица 2

**Динамика встречаемости собак в вершине Кандалакшского залива
по месяцам в 1995–2012 гг.**

Месяц	Особей	Встреч	Число лет со встречами
Январь	51	12	8
Февраль	86	21	9
Март	276	56	15
Апрель	169	26	13
Май	26	11	6

В некоторые годы собаки остаются после вскрытия залива на одном – двух островах (табл. 3). Размножения их на островах пока не отмечали. Собака, оставшаяся на лето на острове, уничтожает гнезда наземно-гнездящихся видов, нередко самих птиц, отлавливает зайцев и охотится на тюленей, отдыхающих на камнях или пологих отмелях. (Бойко, 2009). Из-за пребывания двух собак на двух островах общей площадью 14,3 га в 2012 г потеряны, исходя их данных 2011 г, 260 гнезд гаги обыкновенной, около 50 гнезд чаек, около 15 гнезд куликов сорок и до 10 экз. др. видов.

В период ледостава на заливе собаки охотятся на тюленей, находящихся у лунок, полыней или майны, проделанной ледоколом. Определились группы собак, которые специализировались по добыче корма на льду. Ежегодно и ежемесячно (январь–май) регистрируют случаи охоты собак на тюленей и нередко удачные. Их жертвой является, в основном, нерпа кольчатая – взрослые особи и щенки, реже лахтак (морской заяц). На заливе против устья р. Нивы 04.02.2011 сотрудники заповедника Шутова Е.В., Панёва Т.Д., наблюдали нападение стаи собак из 9 особей на нерпу. Зверей отогнали, а нерпу отнесли к полынье и выпустили.

В снежный период жертвой собак становятся и лоси. Стая из 4-х собак в феврале–марте 2009 г., загрызли лося на о. Анисимове. На островах Олений и Телячий в марте и апреле 2011 и 2012 гг. видели следы 7 собак, которые гоняли здесь лося.

Таблица 3

**Встречи безнадзорных собак в летний период на островах в вершине
Кандалакшского залива**

Год	Архипелаг	Остров	Площадь, га	Число собак
1982	Лувеньгский	Власов Бережной	147.1	1
1985	Северный	Вороний	115.2	1
1997	Северный	Гульмаха	26.1	1
1998	Лувеньгский	Березовый Большой	60.3	2
1999	Северный	Ломнишный Малый	31.4	1
2007	Северный	Ламбин	9.8	6
2008	Олений	Олений	995.7	2
2008	Олений	Крестовые	11.0	1
2009	Олений	Овечий	54.7	1
2012	Северный	Богомолиха и Богомолиха Малая	15.4	2
2012	Северный	Ряшков	464.3	2

Примечание: Площадь островов дана с площадью литорали

Стаи безнадзорных собак, а также собаки имеющие хозяина, но на свободном выгуле, бесчинствуют и в г. Кандалакше. Они охотятся на территории около отводящего канала Нивских ГЭС. Здесь кроме нерп их жертвой становится и гренландский тюлень, главным образом молодые особи (серки), мигрирующие весной в вершину залива. В марте–апреле 1996 г 2 собаки регулярно охотились на нерп на льду залива в этом районе. Примерно за 1 неделю они добыли 5 нерп (Краснов Ю.В., Летопись природы за 1996 г). В течение мая 1999 г собаками здесь были добыты и частично съедены 6 серок гренландского тюленя (Летопись природы за 1999 г). В последующие годы это явление стало обычным.

В настоящее время в период ледостава на заливе собаки контролируют территорию площадью 230 кв.км. Они оказывают существенное влияние на естественные экосистемы.

Говорить о том, что собака стала постоянным видом фауны заповедника, еще рано, но этого можно ожидать, если не сокращать количество одичавших собак (даже стерилизованных) в городе.

**МИКРОСКОПИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ КОЛОНИАЛЬНОГО
ГИДРОИДА *CLAVA MULICORNIS* (FORSSKÅL, 1775)
(HYDROZOA, ANTHOMEDUSAE)**

Ф.В. Большаков, И.А. Косевич

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования «Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова», Москва, Россия, e-mail: fedbolsh@mail.ru*

Стрекающие (Cnidaria) – это одна из наиболее просто устроенных групп многоклеточных животных. Двуслойная организация, преобладание радиальной симметрии, высокая способность к регенерации и переходу к модульной организации на постэмбриональной стадии развития делает представителей стрекочущих важным объектом филогенетических и сравнительно-анатомических исследований.

Представители большинства стрекочущих, за исключением коралловых полипов, характеризуются сложным жизненным циклом с закономерной сменой полипоидной и медузоидной жизненных форм. В одной из наиболее многочисленных групп стрекочущих – атекатных и текатных гидроидов (Hydroidomedusa: Anthomedusae и Leptomedusae) – полипоидная жизненная форма представлена разнообразными модульными организмами, внешняя форма которых определяется наличием жесткого внешнего скелета – перисарка. Перисарк покрывает все общеколониальные мягкие ткани (ценосарк колоний), обеспечивая защиту и механическую опору. У текатных гидроидов питающие зооиды (гидранты) колонии окружены перисаркальными защитными образованиями – гидротекками – различной формы, в которые гидранты в большинстве случаев могут спрятаться. У атекатных гидроидов гидранты лишены защитных скелетных образований, и рассматриваются как «голые».

Принято считать, что эпидерма гидроидных полипов лишена жгутиков и имеет гладкую поверхность. Вместе с тем уже давно известно, что у некоторых гидроидов эпидерма гидрантов покрыта тонкой «кутикулой». Наличие «кутикулы» было показано для гидры и отдельных видов колониальных гидроидов. Также в некоторых случаях были обнаружены подстилающие кутикулу короткие выросты поверхности эпидермальных клеток – микроворсинки. Однако до сих пор отсутствует систематический сравнительный анализ ультраструктуры поверхности эпидермы и покрывающего ее внеклеточного матрикса в разных группах гидроидов. Сравнение организации этих структур в разных частях модульного организма, понимание закономерностей формирования внеклеточного матрикса и его роли в функционировании организма необходимы для проведения сравнительного анализа внеклеточного поверхностного матрикса в разных группах организмов.

В нашей работе мы поставили перед собой цель – изучить и описать эпидермальную поверхность и внеклеточный матрикс (кутикулу) на примере полипоидной стадии колониального атекатного гидроида *Clava mulicornis* (Forsskål, 1775). Материал для исследования был собран на Беломорской Биологической станции им. Н.А. Перцова МГУ летом 2012 г.. Все образцы были изучены посредством методов сканирующей (СЭМ) и просвечивающей (ТЭМ) электронной микроскопии. Для проверки сохранности внеклеточного матрикса (кутикулы), были использова-

ны различные типы фиксации: 3,5% глутаральдегидом на натрий-какодилатном буфере, 4% параформальдегид+5% глутаральдегид на натрий-какодилатном буфере, 4% параформальдегид+0,1% глутаральдегид на натрий-какодилатном буфере. Так же для контрастирования внеклеточного матрикса на ТЭМ был использован Рутениевый красный.

На малом увеличении СЭМ поверхность гидрантов выглядит гладкой, границы между клетками практически незаметны. На большом увеличении видно, что эпидермальная поверхность несёт различные структуры.

При исследовании под большим увеличением видно, что гладкая поверхность не является непосредственно поверхностью клеток. Она представлена тонким слоем, плотно прилегающим к поверхности мембраны эпидермальных клеток и её выростам. Этот филаментозный слой, плотно прилегающий к эпидермальной поверхности, можно рассматривать как кутикулу (Wineera J.S., 1974).

Вышеупомянутые отростки являются микроворсинками. В пределах одного гидранта микроворсинки могут отличаться друг от друга по размерам (при одинаковом диаметре имеют разную длину). Микроворсинки могут ветвиться. Микроворсинки полностью погружены во внеклеточный матрикс, но при этом они находятся под разными углами, а не строго перпендикулярно к поверхности клетки. Исследование с помощью ТЭМ показало, что сам внеклеточный матрикс имеет рыхлую двухслойную структуру. Внешний слой более плотный и в него погружены только концы микроворсинок. Внутренний слой, расположенный между микроворсинками, рыхлый.

Внутри микроворсинок были обнаружены структуры, похожие на цитоскелет. В ряде случаев он представляет собой микротрубочки, заполненные электронно-плотным веществом.

Независимо от фиксации, все части гидрантов в той или иной степени были покрыты внеклеточным матриксом. Специфических типов микроворсинок в различных частях гидранта – область гипостома, щупалец и желудочного отдела, – не выявлено.

На щупальцах кроме микроворсинок располагается большое количество книдоцилей. Книдоцили не покрыты внеклеточным матриксом.

Микроворсинки обеспечивают значительное увеличение поверхности клеток. В результате, увеличиваются эффективная поверхность всасывания растворённых в окружающей среде веществ. Кроме того, можно предположить, что микроворсинки – это временные образования, представляющие собой «резерв» клеточной мембраны для обеспечения быстрого увеличения поверхности эпидермы при растяжении гидранта. Однако, наличие внутри микроворсинок цитоскелета, позволяет предположить, что они не являются временными, поскольку цитоскелет не может разбираться так же быстро, как происходит сжатие и растяжение гидранта.

В самом внеклеточном матриксе были обнаружены неизвестные мембранные структуры, заполненные электронно-плотным веществом. Эти образования располагались на большом расстоянии от эпидермальной мембраны и имели размеры заметно большие, чем микроворсинки. Вероятнее всего это бактерии, обитающие в кутикуле гидранта.

Использование разных методов фиксации дало интересные результаты. В одних случаях (фиксация 3,5% глутаральдегидом на натрий-какодилатном буфере)

вся поверхность и все микроворсинки были покрыты внеклеточным матриксом, однако, произошла сильная деформация тканей и сжатие кутикулы. При использовании других фиксаторов (4% параформальдегид и 0,1% глутаральдегид на натрий-какодилатном буфере) кутикула представляла собой разрозненные куски, располагающиеся на концах микроворсинок, собранных в пучки. Кроме этого мембраны эпидермальных клеток были сильно повреждены. В некоторых случаях (4% параформальдегид и 5% глутаральдегид на натрий-какодилатном буфере) кутикула полностью отсутствовала. Это позволяет говорить о том, что степень сохранности кутикулы зависит от применяемого фиксатора. Следовательно, для изучения организации внеклеточного матрикса, покрывающего поверхность эпидермы у гидроидов, не защищенной перисарком, лучше всего подходит фиксация 3,5% глутаральдегидом на натрий-какодилатном буфере.

ИЗМЕНЕНИЕ АКТИВНОСТИ ГЛУТАТИОН S-ТРАНСФЕРАЗЫ У МИДИЙ *MYTILUS EDULIS* L. ПРИ СУТОЧНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Е.В. Борвинская¹, Л.П. Смирнов¹, Э.Э. Мамедова², О.Б. Столяр²

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии
Карельского научного центра Российской академии наук, Петрозаводск, Россия,
e-mail: katsu@inbox.ru;

²Тернопольский национальный педагогический университет им. Владимира Гнатюка,
Тернополь, Украина

Глутатион S-трансферазы (GST), как универсальные внутриклеточные перехватчики ксенобиотиков эндогенного и экзогенного происхождения, играют важную роль в защите организмов от токсических соединений и последствий окислительного стресса (Sheehan et al., 2001; Blanchette et al., 2007). Кроме того эти ферменты могут быть задействованы в адаптации гидробионтов к действию различных абиотических факторов среды, таких как температура воды, соленость, концентрация кислорода и др. (Bebianno et al., 2007; Cailleaud et al., 2007; Корецка, Rempkowiak, 2008; Choi et al., 2008). Целью данной работы было изучить влияние 24-часового прогрева на активность глутатион S-трансфераз в тканях мидий.

Сбор моллюсков проводили с обрастаний искусственных субстратов экспериментальной марикультуры в бухте Круглая (Беломорская биологическая станция «Картеш» ЗИН РАН, Кандалакшский залив) с глубин 1,5–2,0 м. Перед началом эксперимента животных акклиматизировали к лабораторным условиям в течение трех суток в аквариумах с аэрируемой водой, при постоянных температуре (0 – +2 °C), солености 25‰ и смене воды. Этот срок считается достаточным для полноценной акклимации мидий к новым условиям (Bakhmet, Zdorovenov, 2008). В ходе эксперимента мидий подвергали воздействию повышенной температуры (+8 °C) в течение 24 часов, затем возвращали в исходные лабораторные условия. Отбор проб проводили через 1 и 24 часа после начала прогрева, затем через 1, 24 и 72 часа после возврата к исходным условиям. Особи, которых использовали в качестве контрольных, постоянно содержались при температуре 0 – +2 °C. У животных извлекали жабры и гепатопанкреас, которые хранили до анализа в жидком азоте. Активность GST определяли в супернатанте, полученном после ультрацентрифугирования гомогенатов тканей по общепринятой методике (Habig et al., 1974). Статистическую значимость различий оценивали по непараметрическому критерию U Манна – Уитни. Исследование было выполнено на научном оборудовании Центра коллективного пользования ИБ КарНЦ РАН.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что изменение температуры влияет на показатели активности GST в органах мидий. При нагревании до 8 °C характер изменений активности фермента зависит от исследуемой ткани, тогда как при последующем охлаждении до 0 °C в жабрах и гепатопанкреасе наблюдается сходный ответ (рис. 1, 2).

В жабрах мидий через час после нагревания активность GST начинала уменьшаться, а через сутки различия между начальной и конечной точками достигли статистически значимых величин (рис. 1). После возвращения в стартовые условия активность GST продолжала снижаться и через 72 часа к концу эксперимента достигла минимальных значений. В гепатопанкреасе мидий в период воздействия повы-

шенной температуры не было зафиксировано статистически значимых изменений в активности по сравнению с контролем (рис. 2). После отмены нагревания тренд изменений этого показателя соответствовал таковому, обнаруженному в жабрах.

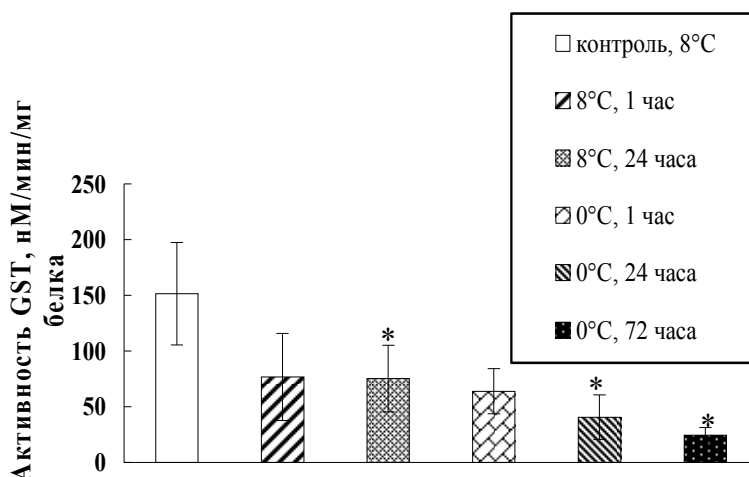


Рис. 1. Активность GST в жабрах мидий при изменении температуры воды
* – различия статистически значимы по сравнению с контролем ($p \leq 0.05$)

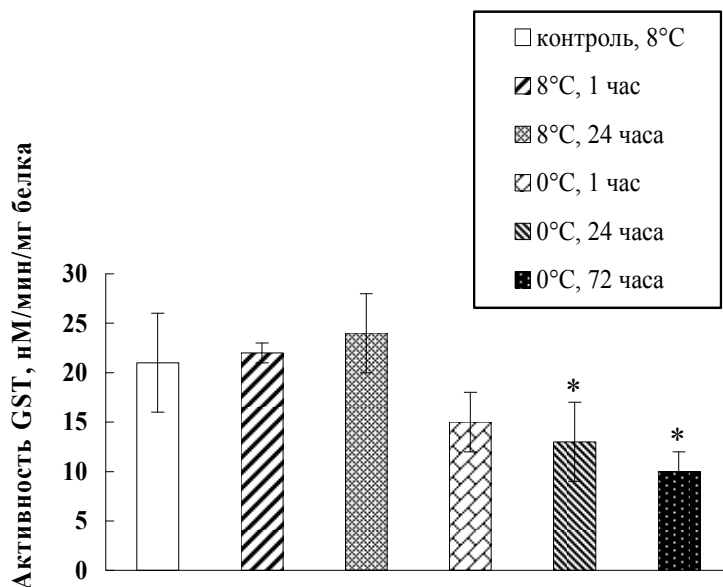


Рис. 2. Активность GST в гепатопанкреасе мидий при изменении температуры воды
* – различия статистически значимы по сравнению с контролем ($p \leq 0.05$)

В ходе эксперимента мидии, как эктотермные организмы, чувствительные к колебаниям термического режима, дважды за короткий период времени не достаточного для акклимации к новым условиям, подвергались резкому перепаду температур, что могло вызвать сильный стресс, который привел к угнетению защитных компонентов метаболизма и, соответственно, к кризисному состоянию организма мидий. Отсутствие времени на адаптацию могло привести к истощению энергетических запасов, при котором невозможно полноценное восстановление метаболических функций. Скорее всего, это характерно именно для сублиторальных мидий, использованных в эксперименте, которые обитают в более комфортных по сравнению с литоральными популяциями условиях, не приспособлены, как последние, к частым сменам температурного режима и поэтому обладают значительно более узким адаптационными возможностями.

Как видно из результатов исследования, уровень активности GST в жабрах был существенно выше, чем в гепатопанкреасе, что согласуется с литературными данными (Manduzio et al., 2004; McDonagh, Sheehan, 2006). Это указывает на то, что у моллюсков основная нагрузка по обеспечению защиты от экзо- и эндогенных токсинов ложится на жаберный аппарат, непосредственно контактирующий с внешней средой.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 12-04-31663 мол_а; программы ОБН РАН «Биологические ресурсы России: оценка состояния и фундаментальные основы мониторинга» на 2012–2014 гг.; гранта Президента РФ «Ведущие научные школы» НШ 1642.2012.4.

ТРАНСПОРТ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ТРОФИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ ЭКОСИСТЕМ БЕЛОГО МОРЯ

Д.Ф. Будько¹, Л.Л. Дёмина¹, О.М. Горшкова², Д.М. Мартынова³

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии
им. П.П. Шириова Российской академии наук, Москва,
e-mail: dmitry.b-1990@yandex.ru;

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования «Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова», Москва, Россия;

³ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Зоологический институт
Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

Введение

Известно, что многие тяжелые металлы, например Fe, Ni, Cr, Zn, Cu являются эссенциальными, т. е. биохимически необходимыми для организмов; однако при превышении определенных концентраций эти же элементы становятся токсичными. В процессе биоаккумуляции тяжелые металлы переносятся по пищевым цепям, накапливаясь в организмах более высокого трофического уровня, в том числе, в промысловых видах (двусторчатые моллюски, ракообразные, рыбы). В связи с этим Всемирной организацией здравоохранения (FDA, 2003) для морских организмов высокого трофического уровня установлены верхние допустимые пределы содержания (пищевые стандарты) тяжелых металлов, составляющие следующие значения (мкг/г сух.в.): Zn 200; Cu 30; Cd 2; Pb 10; Hg 0,5; As 5.

Данные по переносу металлов по пищевым цепям в морских экосистемах, в т.ч. и в Белом море, весьма ограничены. В данной работе рассмотрен транспорт ряда тяжелых металлов и металлоидов (Fe, Mn, Zn, Cr, Se, Cu, Ni, Co, Pb, Cd, As) в трех пищевых цепях беломорской экосистемы: 1) сестон (2–20 мкм) --> зоопланктон --> мальки колюшки --> треска; 2) сестон (2–200 мкм) --> мидии --> морские звезды; 3) сестон --> мидии --> зубатка. Для этого были отобраны образцы основных компонентов данной экосистемы: сестон различной размерности (2–200 мкм), зоопланктон, мидии, морские звезды, рыбы, фекальные пеллеты и донные осадки.

Материалы и методы

Пробы отбирали в районе Беломорской биологической станции Зоологического института РАН, расположенной в губе Чупа Кандалакшского залива Белого моря, в июле–августе 2011 г. Пробы сестона отбирали с трёх горизонтов водной толщи (0, 5 и 10 м), методом дробного фильтрования их разделяли на три размерные фракции разной (2–20, 20–100, 100–200 мкм). Сестон фильтровали на стекловолокнистые фильтры Whatman GF/C (диаметр 47 мм, размер пор 2 мкм) под вакуумом (0,2 атм). Пробы зоопланктона отбирали на рейде у островов Илейки. Отбор производили с помощью стандартной зоопланктонной сети Джеди (диаметр входного отверстия 37 см, диаметр ячеи фильтрующего конуса 100 мкм) с двух горизонтов: 0–100 м и 0–25 м. Пробы трески (*Gadus morhua maris-albi*) и зубатки (*Anarhynchus lupus*) отбирали ставными сетями. Мальков колюшки (*Gasterosteus*

aculeatus) отлавливали сачком. В лабораторных условиях извлекали мышцы спины и оперкулум (жаберная крышка, костная ткань) как одни из наиболее концентрирующих в себе вещества органов рыбы. Пробы мидий (*Mytilus edulis*) и морских звёзд (*Asterias rubens*) собирали вручную во время отлива на литорали. Анализ собранных образцов на тяжелые металлы и органический углерод проводили в лаборатории физико-геологических исследований Института океанологии им. П.П. Ширишова РАН. Органический углерод определяли методом кулонометрического титрования на Экспресс-анализаторе углерода АН-2975 М. Определение концентраций тяжелых металлов производили методами масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) на приборе "Agilent-7000" и атомно-абсорбционного анализа на приборе «КВАНТ-2А». Точность анализа контролировали с использованием международных стандартных образцов NIST 2976 (mussel tissues).

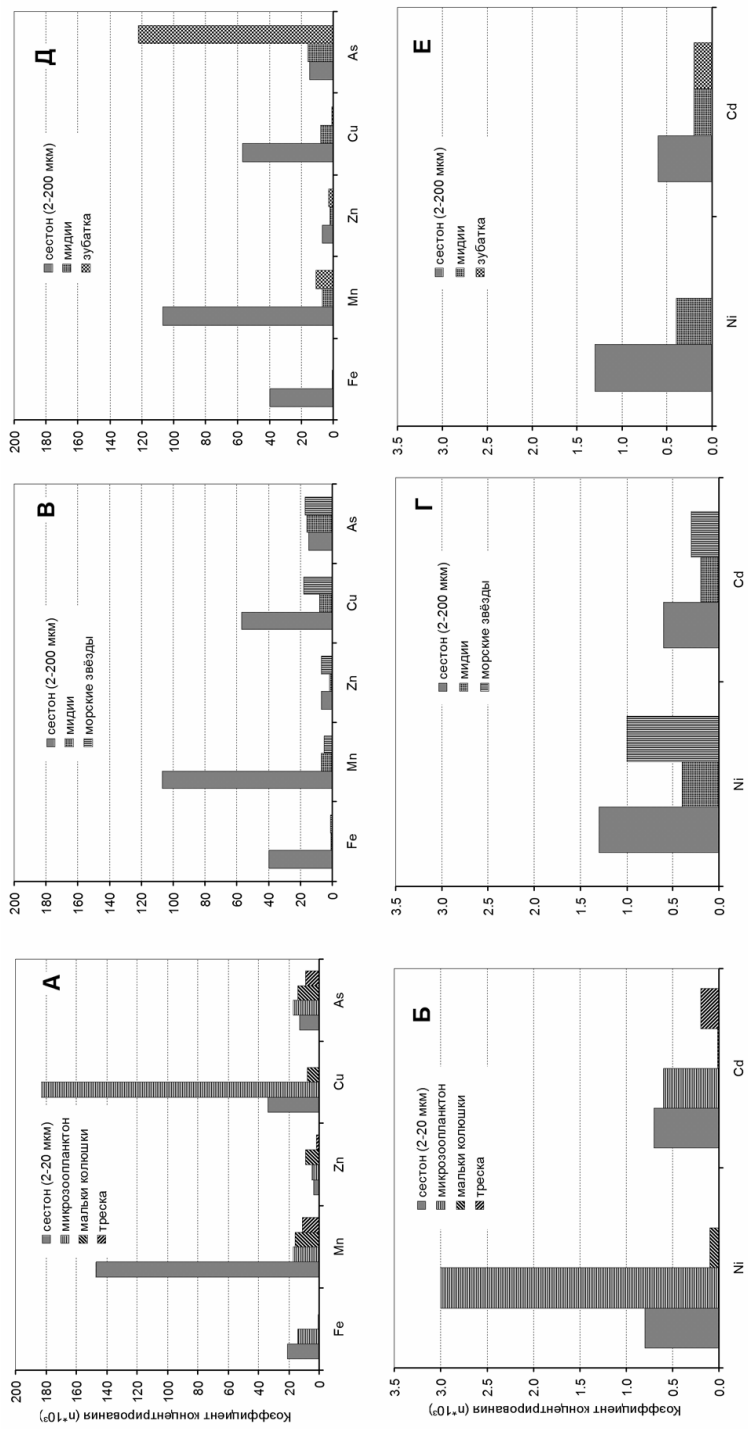
Для оценки степени концентрирования изучаемых элементов в различных звеньях трофической цепи были рассчитаны коэффициенты накопления (Кнак) элементов в гидробионтах и сестоне относительно их содержания в водной среде по формуле: $\text{Кнак} = C1/C2$ (где $C1$ – концентрация элемента в пробе, мкг/г с.в.; $C2$ – концентрация растворенного элемента в воде, мкг/л (Berger et al., 2001).

Результаты и обсуждение

В сестоне, представляющем самый низкий трофический уровень, обнаружены высокие концентрации изученных металлов по сравнению с другими элементами экосистемы. Концентрация металлов уменьшалась при переходе на следующий уровень пищевой цепи, т. е. от сестона к зоопланктону (за исключением мышьяка). Концентрации изучаемых элементов в сестоне несколько отличаются от данных, опубликованных ранее для всего бассейна Белого моря (Демина, Немировская, 2007), что может быть обусловлено разными способами отбора проб, но, в первую очередь, – районом исследований. Среди металлов наибольшие концентрации показывают эссенциальные металлы – Fe, Zn и Mn. Содержание Pb и Cu соответствует среднему значению их содержания в сестоне Белого моря по литературным данным. Концентрации всех изученных элементов не превышают пороговые показатели ПДК (FDA, 2003), и данный район Белого моря можно отнести к одному из наименее загрязнённых и представляющих фоновую окружающую среду.

Для пищевой цепи № 1 характерно стабильное уменьшение Кнак для большинства элементов с увеличением трофического уровня, за исключением Zn (рис. а, б). Зоопланктон, питающийся сестоном, накапливает такие элементы, как Cu, Ni и As, что, однако, может объясняться не только потреблением содержащего данные элементы сестона, но и абсорбцией этих элементов организмами непосредственно из водной среды.

Тенденция к увеличению коэффициента концентрирования с увеличением уровня трофического звена показана только для Zn, но не на всех трофических уровнях. Колюшка, как и другие представители ихтиофауны, показали высокие концентрации Zn. При учёте того, что до 80% цинка поступает в организм рыб в процессе питания (Зигель, Зигель, 1993) можно сказать, что данный элемент обладает хорошей способностью мигрировать по уровням трофической цепи. В целом, наибольшие коэффициенты концентрирования характерны для продуцентов и консументов первого порядка (сестона и микрозоопланктона).



Коэффициенты накопления ($x \cdot 10^3$) некоторых тяжёлых металлов и металлоидов в пищевых цепях № 1 (а, б), № 2 (в, г) и № 3 (д, е).
Обратите внимание на различную шкалу оси ординат (коэффициента накопления)

В трофической цепи № 2 коэффициент накопления (Кнак) для большинства элементов, как правило, уменьшается от сестона к мидиям. Однако, от мидий к морским звездам биоаккумуляция большинства микроэлементов (Fe, Cu, Zn, Ni, Cd, As) возрастает. Таким образом, морские звёзды, являющиеся хищниками и находящиеся у вершины морской трофической цепи, демонстрируют тенденцию к накоплению относительно их пищевых объектов (мидий). As, в отличие от этой группы металлов, показывает увеличение Кнак на всех уровнях данной пищевой цепи (рис. в, г). Концентрации элементов в раковинах и мягких тканях мидий не противоречат имеющимся литературным данным (Демина и др., 2009; Остроумов, 2009). При сравнении концентраций в мягких тканях с условными фоновыми значениями для морей северной Европы ($Zn < 200$, $Cu < 10$, $Pb < 5$, $Cd < 2$ мкг/г. с.в.) (Laane, 1992) концентрации Zn, Pb и Cd в исследуемом районе не превышают фон, что говорит об отсутствии загрязнения данной территории данными тяжёлыми металлами. Концентрация Cu в большинстве проб незначительно превышает фон (примерно на 30%), что также свидетельствует об отсутствии существенной антропогенной нагрузки, однако возможного локального загрязнения даже в фоновом районе нельзя отрицать.

Аналогичные результаты характерны для трофической цепи № 3: наибольший Кнак имеют продуценты для всех элементов, кроме мышьяка (рис. д, е). На более высоких уровнях цепи, как правило, происходит снижение концентраций. Накопление элементов между мидиями и зубаткой характерно только для Mn, Zn и As.

Предыдущие работы по изучению миграции тяжелых металлов по пищевым цепям (Морозов, 1983; Саенко, 1992) показали, что снижение концентраций при переходе на более высокий трофический уровень характерно для всех исследуемых элементов, за исключением ртути, которая способна накапливаться в пищевой цепи от продуцентов к консументам различного порядка. Отметим, что нами впервые показано, что биоаккумуляция мышьяка также увеличивается при переходе на высшие уровни пищевой цепочки.

В целом, концентрации исследуемых микроэлементов в гидробионтах не превышают фоновые значения в воде Белого моря по большинству проб, что подтверждает фоновое состояние акватории в районе губы Чупа Кандалакшского залива. Данная территория может служить эталонной для проведения исследований естественной миграции тяжёлых металлов. Как исключение можно выделить несколько повышенное содержание Pb в зоопланктоне, Zn во всех видах рыб, и As в зубатке. Мы объясняем это естественными факторами, в том числе предрасположенностью данных организмов к концентрированию именно этих элементов. Миграция металлов не обнаружена при переходе с уровня продуцентов на уровень консументов первого порядка. Как правило, для сестона, основу которого составляет фитопланктон, характерны самые высокие концентрации микроэлементов и, соответственно, значения Кнак в трофических цепях. Поведение металлов в других звеньях пищевой цепи характеризуется по-разному, но, как правило, имеет тенденцию к снижению. В свою очередь, увеличение концентраций некоторых металлов выявлено между отдельными участниками трофической цепи, например, мидиями и морскими звёздами.

Исследование поддержано грантом Лаборатории им. Отто Шмидта (Otto Schmidt Labor, no. OSL-13-14) и РФФИ (проект 11-05-01118).

ОПЫТ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОДУКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В БЕЛОМ МОРЕ

В.В. Бульон, В.Я. Бергер, И.М. Примаков

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Зоологический институт
Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: vboulion@zin.ru*

Биота водных экосистем состоит из групп функционально родственных организмов, которые с некоторой условностью можно разделить на первичных продуцентов, редуцентов и консументов разного порядка. Продуцирование органического вещества фотосинтезирующими организмами зависит от ряда абиотических факторов, в первую очередь от биогенных элементов, освещенности и длительности вегетационного периода, зависящей от географической широты. Аккумуляция аллохтонного органического вещества, поступающего с притоками, тесно связана с площадью водосборного бассейна и морфометрией котловины. Автохтонное и аллохтонное органическое вещество через систему соподчиненных связей между биотическими и абиотическими факторами определяет биомассу и продукцию консументов (включая рыб), относящихся к разным трофическим уровням.

Такой системный подход в сочетании с балансовым принципом использован при создании масс-балансовой модели, которая первоначально предназначалась для составления биотического баланса экосистем озерного типа (Бульон, 2005, 2006). Модель была успешно тестирована по эмпирическим данным для озер Белоруссии, Карелии, Карельского перешейка и водохранилищ Дальнего Востока. Данная работа – первый опыт применения модели для оценки биологической продуктивности Белого моря, которое по морфологическим и гидрологическим параметрам имеет некоторое сходство с крупными озерными экосистемами. В данном сообщении результаты модели сопоставлены с опубликованными материалами по Белому морю (Бергер, 2007; Примаков, Бергер, 2007). Ниже перечислены параметры модели. Связи между ними и каналы потоков энергии изображены на рис. 1.

Входные (движущиеся) абиотические параметры модели: географическая широта (Lat), средняя и максимальная глубина (Dmean и Dmax), содержание взвешенного фосфора (PP), цветность воды, обусловленная присутствием окрашенных аллохтонных веществ (Pt). Содержание взвешенного фосфора, которое приравнивалось к биологически доступному фосфору, рассчитывалось по содержанию в воде взвешенного органического вещества (POM). В среднем $POM = 206 \pm 82$ мкгС/л. Если принять соотношение С:Р в органической фракции сестона равным 40, получим, что $PP \approx 5$ мкг/л.

Цветность воды в Белом море крайне низкая. Ее нельзя определить с помощью платиново-кобальтовой шкалы. Поэтому значение Pt подбиралось расчетным способом. Прозрачность воды (Sec) зависит от Pt и PP, следовательно, зная величины Sec и PP, относительно легко реконструировать значение Pt.

Входные биотические параметры модели: ассимиляционное число для хлорофилла, скорость оборота биомасс (P/B-коэффициенты) и эффективность использования потребленной энергии на рост (коэффициенты K1) для каждой функциональной группы гидробионтов, значения которых заимствованы из литературы.

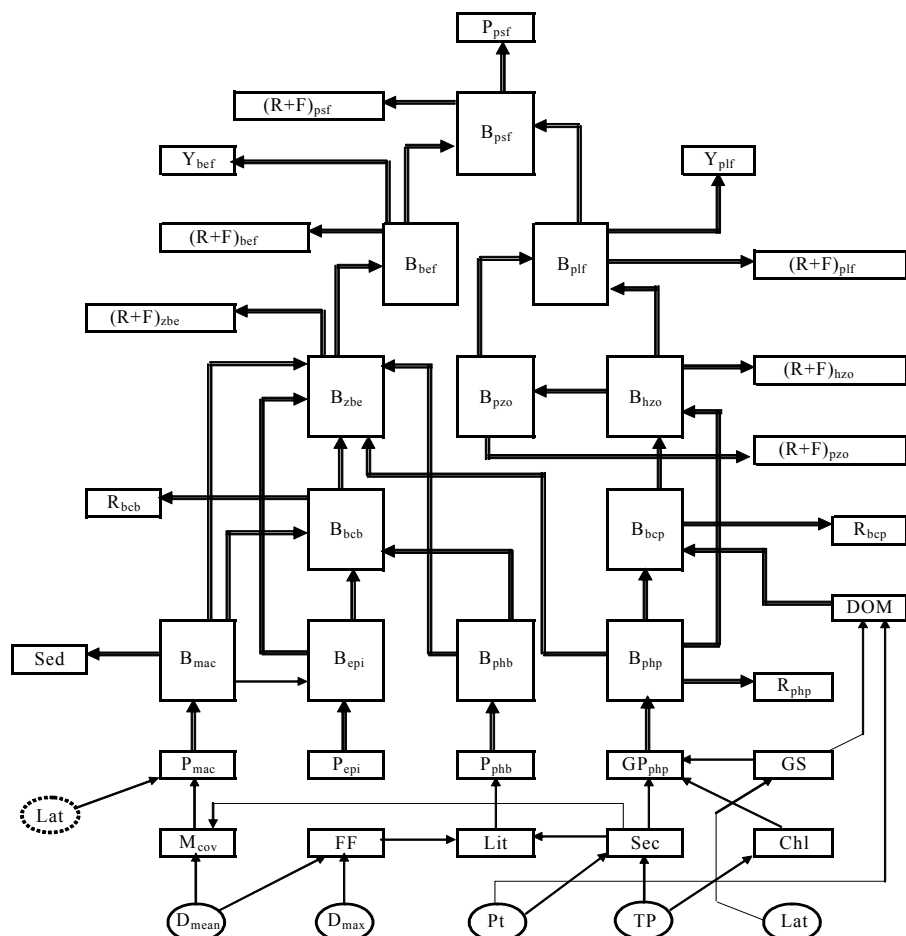


Рис. 1. Схема модели для прогнозирования биомассы и продукции ключевых групп гидробионтов (D_{mean} , D_{max} , Pt, TP, Lat – входные параметры). Объяснения символов в тексте

Промежуточные (вспомогательные) параметры: поступление продукции макрофитов в донные осадки (Sed); трансформация аллохтонного органического вещества бактериопланктоном (DOM); потери энергии фитопланктоном (R_{php}), бактериопланктоном (R_{bcp}) и бактериобентосом (R_{bcb}) при дыхании; потери энергии “мирным” ($(R+F)_{hzo}$) и хищным зоопланктоном ($(R+F)_{pzo}$), зообентосом ($(R+F)_{zbe}$), планктоноядными ($(R+F)_{plf}$), бентосоядными ($(R+F)_{bef}$) и хищными ($(R+F)_{psf}$) рыбами при дыхании и с неусвоенной пищей; концентрация хлорофилла (Chl); длительность вегетационного сезона (GS); прозрачность воды (Sec); площадь литоральной зоны (Lit); фактор формы котловины водоема (FF); площадь застарения макрофитами (M_{cov}).

Целевые параметры: биомасса макрофитов (B_{mac}), эпифитов (B_{epi}), фито-бентоса (B_{phb}) и фитопланктона (B_{php}), бактериобентоса (B_{bcb}) и бактериопланктона (B_{bcp}), «мирного» (B_{hzo}) и хищного (B_{pzo}) зоопланктона, зообентоса (B_{zbe}),

планктоноядных (B_{plf}), бентосоядных (B_{bef}) и хищных рыб (B_{psf}); валовая продукция фитопланктона (GP_{php}); чистая продукция макрофитов (P_{mac}), эпифитов (P_{epi}) и фитобентоса (P_{phb}); вылов человеком, животными, птицами и (или) естественная смертность планктоноядных (Y_{plf}) и бентосоядных рыб (Y_{bef}); продукция хищных рыб (P_{psf});

Предложенная модель состоит из систем уравнений, описывающих изменение биомассы функциональных групп организмов, обусловленное поступлением энергии от предшествующего трофического уровня, ее трансформацией на следующий трофический уровень и потерями энергии на дыхание и с неусвоенной пищей. Скорости потоков энергии в трофической сети моря, предсказанные моделью, приведены в таблице. Наибольший интерес представляют данные о биомассе и продукции ключевых групп гидробионтов. Как видно из таблицы, где подведены итоги имитирования потоков энергии в экосистеме моря, чистая продукция фитопланктона составляет в среднем 285 ккал/м^2 за вегетационный сезон, что практически не отличается от натурных данных – 300 ккал/м^2 (рис. 2). Основная часть суммарной первичной продукции (86%) создается фитопланктоном. На долю микрофитобентоса приходится 11%, на долю макрофитов – лишь 3% суммарной первичной продукции. По результатам натурных наблюдений продукция макрофитов совпадает с данными модели (рис. 2).

При прогнозе продукции бактериопланктона учитывалось, что бактерии ассимилируют не только продукцию фитопланктона, но и аллохтонное растворенное органическое вещество. Бактерии, согласно модели, ассимилируют из аллохтонного РОВ около 80 ккал/м^2 за сезон и 60% чистой продукции фитопланктона, т. е. 172 ккал/м^2 . Если согласиться с предпосылкой, что в среднем за сезон Р/В-коэффициент для бактерий равен 0.4 сут^{-1} ($= 58$ за сезон) и $K1 = 0.33$, то продукция бактериопланктона составляет 84 ккал/м^2 за сезон, а среднесезонная биомасса 1.4 ккал/м^2 . По натурным наблюдениям продукция бактерий почти в 30 раз превышает показания модели (рис. 2). Этот факт заслуживает отдельного внимания с целью выявления причины такого масштабного расхождения.

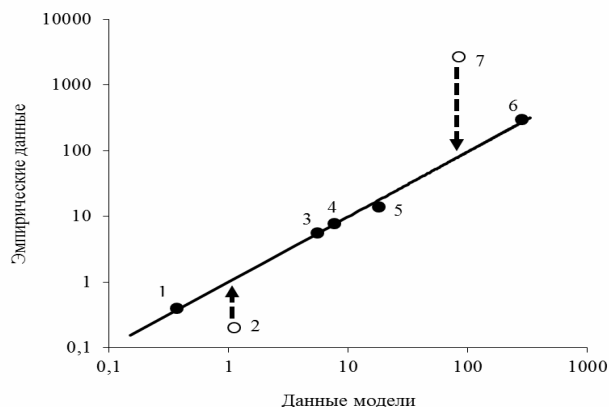


Рис. 2. Сравнение эмпирических данных для Белого моря (Бергер, 2007) с результатами модели. 1 – вылов рыбы, 2 – продукция рыб, 3 – зообентоса, 4 – макрофитов, 5 – зоопланктона, 6 – фитопланктона, 7 – бактериопланктона (ккал/м^2 за сезон)

Модель дает возможность отдельно оценить продукцию «мирного» и хищного зоопланктона. По приведенным результатам (табл.) легко рассчитать продукцию сообщества зоопланктона. Она равна сумме продукций «мирных» и хищных животных за вычетом рациона хищных животных и составляет 18 ккал/м^2 за сезон. Эта величина мало отличается от эмпирически установленной продукции зоопланктона – 14 ккал/м^2 за сезон (рис. 2). Продукция зообентоса на выходе модели – около 5.5 ккал/м^2 за сезон (рис. 2).

Средние значения биомассы (В), продукции (Р), скорости оборота биомассы (Р/В) и отношения продукции к суммарной первичной продукции (Р/РР) для организмов разных трофических групп Белого моря (по результатам анализа модели)

Трофическое звено	В, ккал/м ²	Р, ккал/м ² за сезон	Р/В, за сезон	Р/РР, %
Фитопланктон	6.5	285	44	86
Макрофиты	3.8	7.7	2.0	2.3
Эпифиты	0.057	1.2	22	0.37
Микрофитобентос	3.4	37	11	11
<i>Первичные продуценты</i>	–	331	–	100
Бактериопланктон	1.4	84	58	25
Бактериобентос	0.10	5.9	58	1.8
“Мирный” зоопланктон	2.7	31	12	9.4
Хищный зоопланктон	0.69	6.0	8.7	1.8
Зообентос	2.5	5.5	2.2	1.7
Планктоноядные рыбы	4.1	1.5	0.36	0.44
Бентосоядные рыбы	1.5	0.44	0.29	0.13
Хищные рыбы	0.60	0.15	0.23	0.046
<i>Сообщество рыб</i>	–	1.1	–	0.34

Модель позволяет прогнозировать продукцию планктоноядных, бентосоядных, хищных рыб и сообщества рыб в целом (табл.). Согласно прогнозу продукция рыбного сообщества составляет $\approx 1.1 \text{ ккал/м}^2$ за сезон. Учитывая общий запас рыб и приняв годовой Р/В-коэффициент равным 0.3, рассчитано (Бергер, 2007), что продукция рыб равна $\approx 0.2 \text{ ккал/м}^2$, что в 5 раз меньше предсказанной моделью (рис. 2). В связи с этим, следует напомнить, что суммарный годовой вылов рыб в XIX столетии достигал 40 тыс. т ($\approx 4 \text{ кг/га}$ или 0.4 ккал/м^2). Если исходить из предпосылки, что продукция рыб близка к прогнозируемой моделью, а вылов рыб равен приблизительно 1/3 их продукции (Бульон, 2006), то годовой вылов рыб в Белом море мог бы составлять 3.7 кг/га (0.37 ккал/м^2). Эта величина близка к тому, что имело место около 150 лет назад. Таким образом, анализ показывает, что модель обладает достаточно высокой прогностической точностью и пригодна для составления биотических балансов не только озер, но и внутренних морей, и, что очень важно, для обоюдной проверки надежности эмпирических и предсказанных моделью данных.

ПАССИВНЫЕ МИГРАЦИИ ИКРИНОК И ЛИЧИНОК ТРЕСКИ В БЕЛОМ МОРЕ

Е.А. Бурыкина, Ю.Б. Бурыкин

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского», Москва, Россия, e-mail: burykina.ea@gmail.com, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», Москва, Россия

Характер дрейфа пелагических икринок трески определяли путем сопоставления карт их численности на разных стадиях развития (Расс, 1949) по данным ихтиопланктонной съемки.

Икринки на ранних стадиях (I–II) распространены в районах нереста трески и прилегающих к ним акваториях: в губах, небольших заливах, в открытых мелководных районах прибрежной зоны и среди островов (рис. 1а). Распространение икринок поздних стадий развития (III–IV) охватывает уже значительную часть Белого моря (рис. 1б). Предличинки и личинки образуют повышенные концентрации вблизи мест нереста, в кутовых частях некоторых губ, а иногда локальные скопления в открытых водах.

В целом, дрейф пелагических икринок и вылупившихся из них личинок трески приводит к их сплошному распространению на большей части акватории моря. При этом в глубоководной области и в большинстве открытых районов Кандакшского залива и Бассейна все пойманные икринки находились на поздних стадиях развития, что свидетельствует об их выносе из районов нереста. Конкретные направления выноса икринок с нерестилищ и дальнейшие пути их дрейфа в Белом море представлены на рис. 2.

В Белом море наблюдаются *два основных типа дрейфа*: 1-й тип – вынос икринок с нерестилищ со стоком поверхностных вод и с приливо-отливными течениями в сочетании с ветровым воздействием на поверхностный слой воды и 2-й тип – направленный дрейф икринок и личинок с постоянными поверхностными течениями, в том числе по системам смежных круговоротов: от берегов к центру Бассейна, от одних нерестилищ к другим на севере Онежского залива и т. д.

Дрейф предличинки происходит в целом в пределах области распространения икринок и является продолжением их пассивных миграций. В наилучших условиях оказываются личинки беломорской трески, вынесенные течениями в мелководную область Кандакшского залива, а также в его прибрежные районы – здесь наблюдается максимальная биомасса зоопланктона (Перцова, 1970, 1980) и, следовательно, темп роста пелагической молоди должен быть здесь наибольшим. Личинки трески, попадающие в *циклонический круговорот* на выходе из Двинского залива (т.н. «полюс холода»), получают хорошие условия питания в этом районе, отличающемся повышенной биомассой зоопланктона (Перцова, 1980), однако отсутствие здесь мелководий, необходимых для оседания молоди, исключает, вероятно, ее дальнейшее развитие. По этой же причине нет перспектив и у личинок трески, оказавшихся в *антициклоническом круговороте* над центральной котловиной Бассейна. Личинки, выносимые течениями в опресненные области Онежского и Двинского заливов, также, видимо, обречены на гибель.

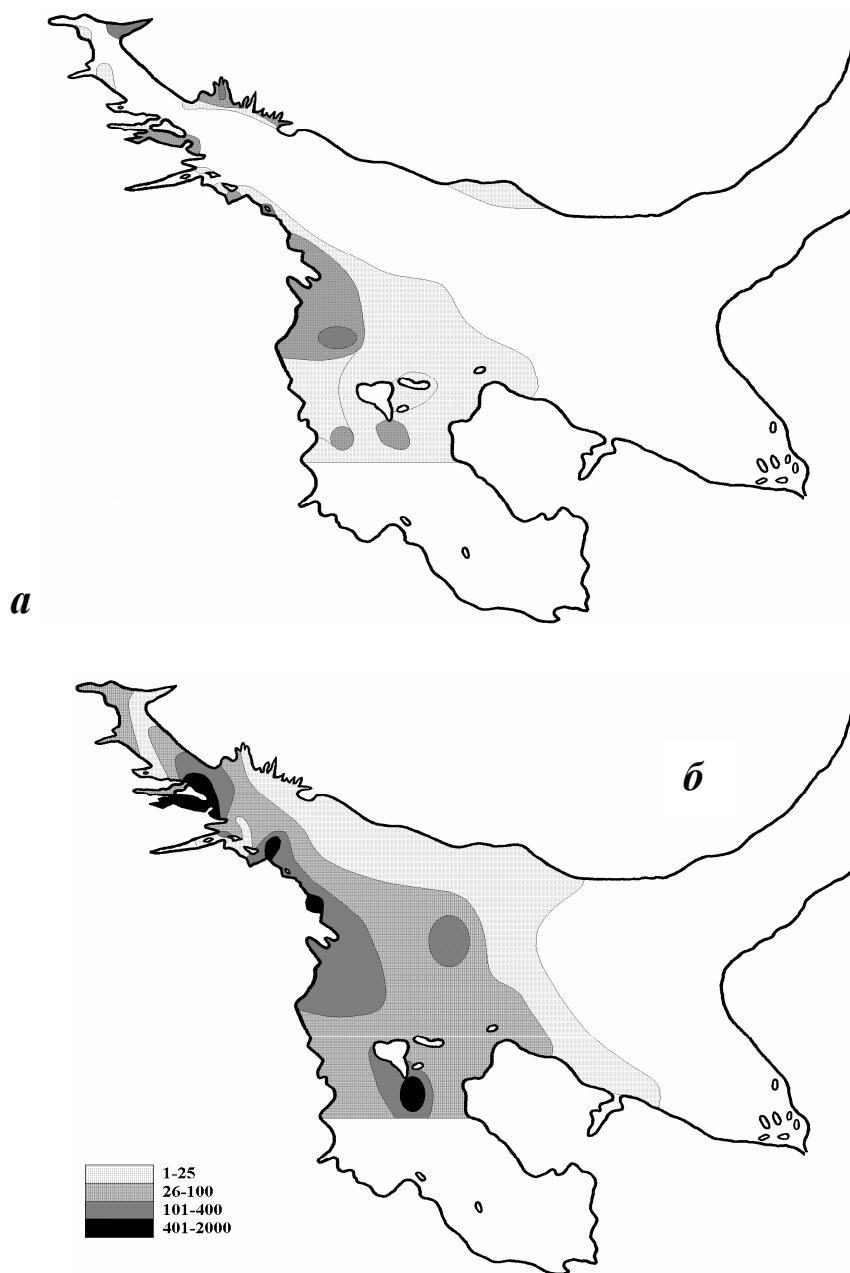


Рис. 1. Распределение численности икринок трески разных стадий развития в Белом море на примере II (а) и IV (б) стадий (по данным ихтиопланктонной съемки 1985 и 1991 г.г.): численность икринок указана в экз./лов в поверхностном слое воды при 10-минутной циркуляции судна с учетом данных вертикальных (косых) ловов.

Многим популяциям атлантической трески свойственны пассивные миграции икринок и личинок с океаническими течениями. Протяженность таких миграций может достигать тысяч километров (лабрадорско-северноньюфаундлендская и аркто-норвежская треска). При этом часть пелагической молоди по окончании дрейфа оседает на мелководьях, входящих в область обитания смежных популяций.



Рис. 2. Схема дрейфа икринок и личинок трески в Белом море

Икринки и личинки, вынесенные с разных нерестилищ, смешиваются в той или иной степени в открытых водах моря. Степень их смешения зависит, главным образом, от особенностей поверхностной циркуляции вод на данной акватории, а также от преобладающего направления весенних ветров. Дрейф и смешение пелагических икринок и личинок с наличием пригодных для оседания молоди мелководий, составляют основу формирования внутрипопуляционных группировок беломорской трески в период раннего онтогенеза.

РАЙОНЫ НЕРЕСТА И ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ТРЕСКИ В БЕЛОМ МОРЕ

Е.А. Бурыкина, Ю.Б. Бурыкин

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского», Москва, Россия, e-mail: burykina.ea@gmail.com,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», Москва, Россия*

Предложенные результаты основаны на данных ихтиопланктонной съемки, проведенной в разные годы.

Распространение икринок трески охватывает значительную область акватории Белого моря (рис. 1): всю акваторию Кандалакшского залива, западную половину Бассейна, северную область Онежского залива и юго-западную часть Двинского. В восточной половине Бассейна, вершинной области Онежского и на большей части акватории Двинского залива икринки отсутствуют. Почти все предличинки и личинки пойманы в пределах области распространения икринок.

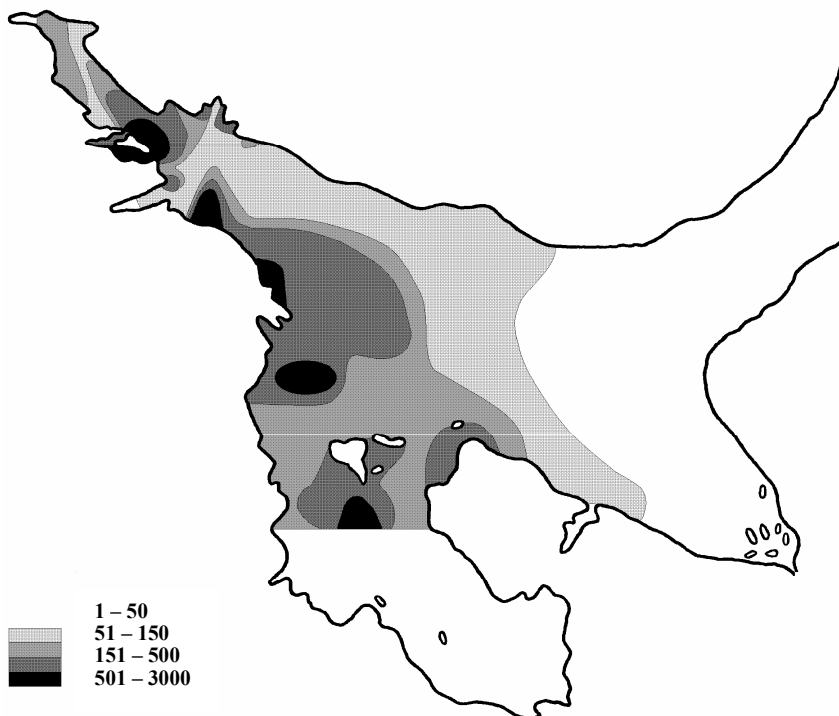


Рис. 1. Распределение общей численности икринок трески в Белом море (по результатам ихтиопланктонной съемки 1985 и 1991 г.г.): численность икринок указана в экз./лов в поверхностном слое воды при 10-минутной циркуляции судна с учетом данных вертикальных (косых) ловов

Области повышенных концентраций икринок (всех стадий развития) включают в себя районы нереста и прилегающие к ним акватории, а также районы накопления (аккумуляции) вынесенных икринок (например, к северу от острова Великий, в антициклонических круговоротах в центре Бассейна, к югу от Соловецких островов и др.).

Икринки на ранних стадиях развития (I–II стадии по: Расс, 1949) распространены преимущественно в мелководной зоне моря. Очевидно, ранние икринки держатся вблизи районов нереста, что позволило по результатам ихтиопланктонной съемки впервые получить для Белого моря достаточно полную карту районов нереста трески, на которой многие из них выявлены впервые (далее отмечены звездочкой) (рис. 2).



Рис. 2. Карта районов нереста трески в Белом море по результатам
ихтиопланктонной съемки

Нерест трески зарегистрирован: а) в губах, проливах и небольших заливах Кандалакшского, Карельского и Терского берегов; б) в открытых мелководных районах вершинной части Кандалакшского и северной части Онежского заливов.

Кандалакшский залив: вершинная часть залива вблизи г. Кандалакша, губы Палкина, Колвица, Нищевская, Порья (с примыкающей акваторией), Тар, Лов*, Пильская, Островская*, Падан*, Малая Пирья, Большая Пирья, Сосновая, Красная, Никольская*, Гридина*, островной район вблизи устья губы Княжая*, район пролива Великая Салма, у юго-восточного берега полуострова Турий*, вблизи мыса Картеш*, район Сонострова*;

Бассейн: губы Калгалакша, Поньгома, у Терского берега вблизи Кузомени*;

Онежский залив: между островами Бол.Соловецкий – Анзерский – Бол.Муксалма*, район Кузовов*, к югу от острова Бол.Соловецкий*, вблизи острова Жужмуй, вблизи острова Жижгин*.

Особое внимание обращает на себя наиболее удаленный от других нерестилищ район Кузомени, находящийся у северного побережья Бассейна, где о нересте трески вообще не было известно.

В результате установленные нами границы зоны нереста трески в Белом море оказались существенно шире, чем считалось ранее.

На основе сезонных изменений численности икринок I стадии развития впервые изучена *динамика нереста* беломорской трески на примере района Великой Салмы (пробы брали в незамерзающей части пролива). Нерест начинается в начале марта при температуре от $-1,6$ до $-1,4$ °C и солености 26–28‰, его наибольшая интенсивность отмечена в апреле–начале мая при повышении температуры воды от $-1,3$ до $+0,4$ °C и снижении солености от 27,5 до 25‰. Пики нереста в разных участках акватории и в разные годы не совпадают, что, очевидно, связано с различием в сроках подхода производителей на нерестилища; продолжительность периода наиболее интенсивного икрометания при этом также различна. Нерест заканчивается обычно в конце мая, в отдельные годы – в начале июня в условиях таяния льда, интенсивного материкового стока и весеннего прогрева вод.

Диаметр *икринок* беломорской трески варьирует от 1,2 до 1,8 мм, составляя в среднем 1,4–1,6 мм. Наиболее часто встречаются икринки диаметром 1,5 мм. Икринки трески в Белом море имеют, в среднем, более крупные размеры, чем в Северном, Норвежском и Баренцевом морях, но они мельче, чем в Балтийском море и заливе Фанди (Канада), что соответствует промежуточной степени опреснения вод Белого моря. У беломорской трески в связи с порционностью икрометания наблюдается сходная с другими популяциями тенденция к уменьшению среднего диаметра икринок от начала к концу нереста (с 1,61 мм до 1,41 мм) с сохранением постоянных средних значений в период наибольшей интенсивности нереста.

Сроки окончания эмбрионального периода развития трески в Белом море сильно варьируют: в годы с теплой весной икринки исчезали в пелагиали к концу мая, а при задержке ледового покрова и весеннего прогрева вод встречались в уловах вплоть до середины июня.

Предличинки беломорской трески в среднем крупнее (2,8–5,8 мм), чем в аркто-норвежской и кильдинской популяциях, но мельче, чем у балтийской трески. При этом диапазон их размерной изменчивости в Белом море самый высокий. *Личинки* же крупнее (на тех же этапах развития), чем у аркто-норвежской популяции.

В пелагиали предличинки беломорской трески встречаются с середины мая до второй половины июня при температуре от 0 до 12 °C и солености от 20 до 26‰, а личиночное развитие длится около 1,5 месяцев с начала июня до второй половины

июля при температуре от 9 до 15 °С и солености от 20 до 26‰ (в районе Великой Салмы). Переход *пелагических мальков* к придонному образу жизни происходит обычно во второй половине июля при длине тела 20–35 мм.

Темп роста предличинок и личинок в зоне хорошо прогреваемых мелководий заметно выше, чем в открытых более холодных водах, он сильно отличается также в разные годы в зависимости от сроков и скорости весеннего прогрева вод Белого моря. Это приводит к разнокачественности молоди в поколении и разнокачественности поколений.

Полученные результаты существенно дополняют наши знания об особенностях экологии важного промыслового вида в условиях Белого моря.

СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИИ БЕЛОМОРСКОЙ ТРЕСКИ, ФОРМИРУЮЩАЯСЯ В ПЕРИОД РАННЕГО ОНТОГЕНЕЗА

Е.А. Бурыкина, Ю.Б. Бурыкин

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского», Москва, Россия, e-mail: burykina.ea@gmail.com,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», Москва, Россия*

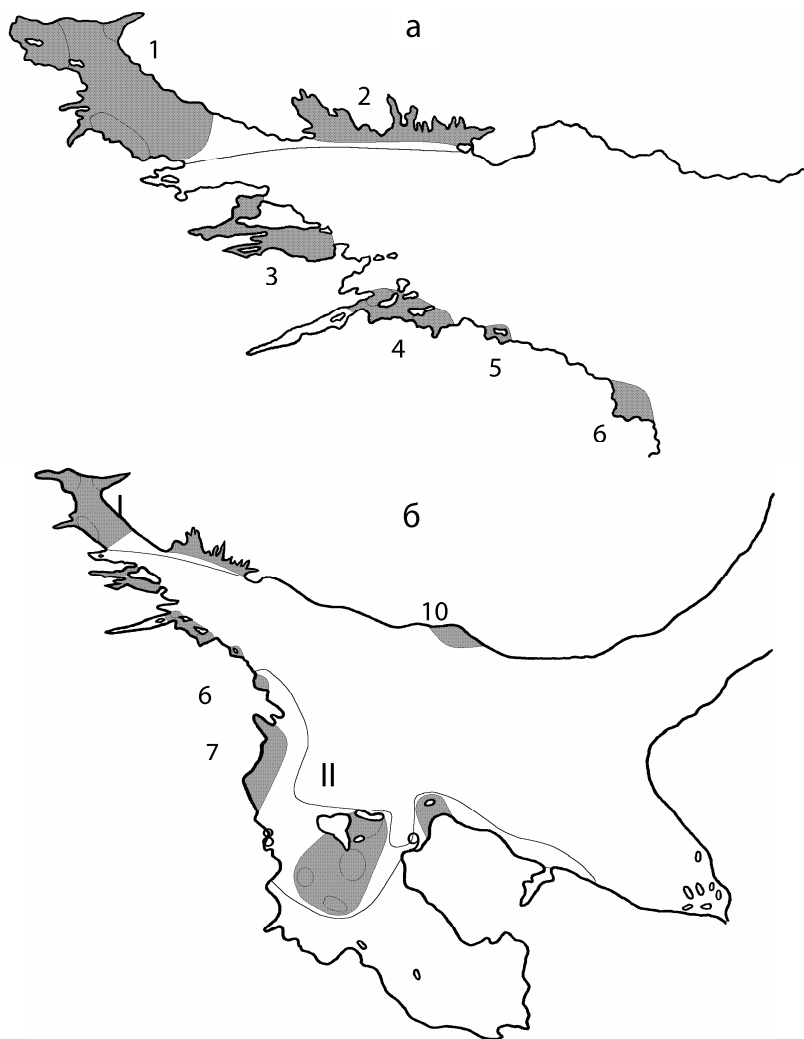
Считается, что беломорскую треску следует рассматривать как репродуктивно единую группировку особей со слабой подразделенностью на субзоляты (Новиков, Карпов, 1982). На основе анализа распределения, дрейфа и смещения икринок и личинок нами впервые предпринята попытка выделения основных группировок молоди беломорской трески, приобретающих, в таком случае, статус внутривидовых популяционных в период раннего онтогенеза.

Дифференциация внутри популяций атлантической трески хорошо известна. Нерестовые группировки у фарерской (Jákupsstovn, Reinhert, 1994), восточно-гренландской (Серебряков, 1967), западно-гренландской (Сидоренко, 1964, Серебряков, 1967), лабрадорско-североньюфаундлендской (Серебряков, 1967; Lear, 1984; Lear, Green, 1984), балтийской (Бирюков, 1970), аркто-норвежской (Маслов, 1952; Тамбс-Люхе, 1956; Ellertsen et al., 1981a, 1989; Bjørke, 1983; Godø, 1984; Godø, Sunnå, 1984; Алдонов, Серебряков, 1983; Serebryakov, 1984; Serebryakov, Aldonov, 1984) и других популяций, как правило, относительно постоянны и тяготеют к одним и тем же местам нереста. При этом не исключается появление на нерестилищах «посторонних» особей, но процент хоминга достаточно высок. Таким образом, постоянные нерестовые и выделяемые морфо-экологические группировки внутри популяций указывают на наличие у взрослой трески определенной внутривидовой структуры, которая начинает формироваться, очевидно, на ранних этапах жизненного цикла.

По результатам проведенных нами ихтиопланктонных исследований в Белом море можно наметить 10 внутривидовых группировок молоди беломорской трески (рис.). Половина из них формируется в пределах одного нерестового района, где оседает молодь местного происхождения (группировки: 3-я, 5-я, 6-я, 9-я, 10-я). При этом в трех районах с закрытыми мелководьями значительная доля икринок удерживается в пределах нерестилища (3-я, 5-я, 6-я), в двух же других – наоборот, вынос икринок, по всей видимости, преобладает над их удержанием в районе нереста (9-я, 10-я).

Остальные группировки формируются на основе нескольких относительно близко расположенных друг к другу нерестовых районов в пределах общей мелководной зоны, где оседает молодь смешанного происхождения. Эта область может быть в той или иной степени отграничена от открытых вод центральной части моря (1-я, 4-я), либо представлять собой обширное открытое мелководье (7-я), либо прибрежную полосу открытых вод, примыкающую к близко расположенным друг к другу губам, в которых проходит нерест (2-я). Область формирования североонежской группировки (8-я) включает в себя несколько близко расположенных открытых нерестилищ, «соединенных» системой сопряженных круговоротов, обеспечивающей почти замкнутый цикл смещения икринок трески в северной части Онежского залива.

Поскольку в мелководную область Кандалакшского залива с южной ветвью антициклонического круговорота попадает большинство икринок, выносимых из северных губ, с последующим оседанием здесь молоди смешанного происхождения, обе формирующиеся здесь группировки молоди можно объединить в *Комплекс группировок северо-западной части Кандалакшского залива* (рис. 1).



Группировки и комплексы группировок молоди трески:
а – в Кандалакшском заливе, б – в Белом море в целом:

Группировки: 1 – вершинной части Кандалакшского залива, 2 – северных губ Кандалакшского залива, 3 – района Великой Салмы, 4 – района мыса Картеш–мыса Шарапов, 5 – района Сонострова, 6 – гридинская, 7 – калгалакшско-поньгомская, 8 – североонежская, 9 – жижгинская, 10 – района Кузомени.
Комплексы группировок: I – северо-западной части Кандалакшского залива, II – юго-западной части Белого моря

В юго-западной же области Бассейна часть икринок из района Гридино выносятся одной из ветвей течений в южном направлении. Проходя через Калгалакшско-Поньгомский район, североонежские и жижгинское нерестилища, течение вбирает в себя дополнительно икринки от местного нереста и устремляется в Двинский залив, принося туда икринки и молодь смешанного происхождения. Следовательно, 4 формирующиеся здесь группировки молоди трески (6-я, 7-я, 8-я и 9-я) определенно связаны друг с другом и образуют в совокупности *Комплекс группировок юго-западной части Белого моря*.

Как известно, в районах оседания молодь атлантической трески остается в течение первых двух лет жизни и только на 3-м году начинает мигрировать на заметные расстояния (Смирнова, Смирнов, 2000). Эти сроки можно принять, предположительно, и для группировок молоди трески в Белом море, что указывает на их устойчивое состояние, по крайней мере, на протяжении двух лет. Несмотря на то, что эти группировки не имеют четких границ, могут отличаться непостоянством и изменчивостью состава и численности входящих в них особей, их несомненно можно рассматривать в качестве структурных элементов популяции на ранних этапах жизненного цикла беломорской трески. Кроме того, установленная более тесная связь между группировками в северо-западной и юго-западной областях моря дает основание для выделения структур более высокого ранга – двух комплексов группировок молоди. Именно они в значительной мере ответственны за формирование численности поколений трески в Белом море.

Основным фактором, определяющим структуру беломорской популяции трески в период раннего онтогенеза, является разобщенность и взаимное расположение районов нереста, каждый из которых, будучи мелководным, становится потенциальным центром образования внутривидовой группировки молоди. Однако, система поверхностной циркуляции вод в Белом море, осуществляя дрейф пелагических икринок и личинок трески и их смешение, вносит усложнение в структуру популяции, объединяя некоторые нерестилища, находящиеся в пределах общей мелководной зоны, в область обитания единой группировки молоди. Система поверхностных течений определяет, кроме того, характер взаимосвязи между группировками, обеспечивая при этом генетическое единство популяции.

ИЗМЕНЕНИЕ АКТИВНОСТИ ЛИЗОСОМАЛЬНЫХ ГЛИКОЗИДАЗ У МИДИЙ *M. EDULIS* ПОД ВЛИЯНИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ

Е.А. Вдовиченко, Р.У. Высоцкая, И.Н. Бахмет

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии
Карельского научного центра Российской академии наук, Петрозаводск, Россия,
e-mail: elizaveta.vdovichenko@gmail.com

Мидии *Mytilus edulis* представляют собой один из важных объектов марикультуры Белого моря и могут использоваться в различных отраслях народного хозяйства: биотехнологии, медицине, фармации (получение биологически активных компонентов), биотестировании и биомониторинге водных объектов. Кроме того, двустворчатые моллюски широко применяются при изучении адаптивных механизмов гидробионтов, в том числе температурных, т.к. они являются обитателями приливо-отливной зоны и приспособлены к резкой смене внешних условий. Углеводы выполняют множество различных функций в организме, в частности у мидий они определяют энергетический обмен. Лизосомальные гликозидазы – ферменты углеводного обмена, проявляющие широкую субстратную специфичность и катализирующие реакции гидролиза и трансгликозилирования. Эта особенность дает возможность предположить, что гликозидазы могут участвовать в приспособительных и защитных реакциях этого вида животных. В то же время, их участие в адаптивных реакциях беспозвоночных гидробионтов не достаточно изучено. В связи с вышесказанным, целью данной работы являлось изучение воздействия изменяющейся температуры на активность лизосомальных гликозидаз (β -глюкозидазы, β -галактозидазы) в разных органах беломорских мидий *M. edulis*.

Эксперименты проводили на ББС «Картеш» Зоологического института РАН. Мидий отлавливали в сублиторальной зоне Чупинской губы Кандалакшского залива Белого моря и помещали в аквариумы с естественными условиями их обитания: морской водой, температурой, световым режимом. После акклимации к лабораторным условиям моллюсков подвергали воздействию температур: так на первую группу мидий действовали повышением температуры в диапазоне 0 – +8 °С (экспозиция 1 и 24 ч), а на вторую – понижением температуры в диапазоне +8 – +4 °С (экспозиция 1 и 24 ч). Затем температуру возвращали к исходным значениям (экспозиция 1, 24 и 72 ч). Пробы отбирали на каждой стадии эксперимента и хранили при –80 °С. Гомогенаты, приготовленные на 0,25 М растворе сахарозы с добавлением ЭДТА и неионного детергента тритона X-100, центрифугировали при 10 000 g на центрифуге с охлаждением. При определении активности β -галактозидазы использовали в качестве субстрата раствор п-нитрофенил- β ,D-галактопиранозида, β -глюкозидазы – раствор п-нитрофенил- β ,D-глюкопиранозида на цитратном буфере (pH 4.0 и 5.0 соответственно). Активность обеих гликозидаз выражали в микромолях п-нитрофенола, освобожденного в условиях реакции за единицу времени. Полученные результаты обрабатывали общепринятыми методами статистики, оценивая достоверность отличий по критерию U Вилкоксона – Манна – Уитни. Различия считали достоверными при $p \leq 0,05$.

При изменении температуры от +8 до +4 °С в гепатопанкреасе активность β -галактозидазы постепенно, а β -глюкозидазы (экспозиция 24 ч) резко снижалась. Это может свидетельствовать об общем снижении метаболизма у мидий в условиях

данного эксперимента. Следует отметить, что в жабрах при понижении температуры наблюдается резкое повышение уровня активности обеих гликозидаз. Это может говорить об активации углеводного обмена в данном органе. В первой серии эксперимента при возвращении к исходной температуре (+8 °C) в гепатопанкреасе активность β -галактозидазы в первый момент снижалась, а затем повышалась до исходного уровня. Активность же β -глюкозидазы сначала повышалась, а потом возвращалась к начальным значениям.

Во второй серии эксперимента при повышении температуры от 0 до +8 °C в гепатопанкреасе активность β -галактозидазы сначала снижалась (экспозиция 1 ч), а затем повышалась (экспозиция 24 ч). Активность же β -глюкозидазы постепенно уменьшалась с ростом времени экспозиции. В жабрах наблюдалась аналогичная зависимость. При возвращении температуры к исходным значениям, в гепатопанкреасе активность β -галактозидазы плавно приближалась к первоначальным значениям, а β -глюкозидазы резко возрастала при экспозиции 24 ч, а затем снижалась. В жабрах отмечена аналогичная зависимость. Возрастание активности β -глюкозидазы связано с тем, что при восстановлении исходных условий фактически происходит понижение температуры от +8 до 0 °C и вовлечение β -глюкозидазы в обеспечение организма энергией.

По содержанию белка отмечена следующая зависимость: в гепатопанкреасе при понижении температуры от +8 до +4 °C происходило резкое повышение содержания белка (экспозиция 1 ч), а затем значительное его снижение до исходных значений (экспозиция 24 ч). В жабрах наблюдалось небольшое снижение содержания белка с увеличением времени экспозиции. При возвращении к исходным значениям температуры в гепатопанкреасе происходило плавное приближение к первоначальному уровню. Аналогичная картина наблюдается и в жабрах.

Во второй серии эксперимента при повышении температуры от 0 до +8 °C в гепатопанкреасе происходило незначительное снижение уровня белка (экспозиция 1 ч), а затем резкий рост его содержания (экспозиция 24 ч). В жабрах происходило небольшое снижение (экспозиция 1 ч), а затем возвращение к исходному уровню (экспозиция 24 ч). Это может свидетельствовать об активации метаболизма с ростом температуры. В гепатопанкреасе при возвращении температуры к 0 °C (экспозиция 1 ч) наблюдалось резкое уменьшение содержания белка, что является следствием снижения общего обмена веществ у моллюсков. В жабрах происходило плавное возвращение к исходному уровню содержания белка.

Полученные данные позволяют сделать выводы о том, что лизосомальные гликозидазы принимают активное участие в адаптивных перестройках метаболизма моллюсков при изменении температуры окружающей среды. Варьирование активности отдельных гликозидаз по отношению к температурным колебаниям зависели от тканевой специфичности, направленности воздействующего фактора (повышение и понижение температуры по сравнению с контролем) и времени экспозиции.

Работа проведена с использованием ЦКП ИБ КарНЦ РАН. Работа проведена при поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Живая природа» (2012–2014 гг.), ОБН РАН «Биологические ресурсы России...» (2012–2014 гг.), Гранта Президента РФ «Ведущие научные школы» НШ-1642.2012.4, ФЦП «Кадры ...» (№ согл. 8050).

ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ЛОСОСЕВЫХ НЕРЕСТОВЫХ РЕК ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА (БАССЕЙН БЕЛОГО МОРЯ)

А.Е. Веселов¹, Д.С. Павлов², Д.А. Ефремов¹, М.И. Сысоева¹,
Г.А. Нагирняк³, М.А. Ручьев¹

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии
Карельского научного центра Российской академии наук, Петрозаводск, Россия,
e-mail: veselov@krc.karelia.ru;

² Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем
экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академии науки, Москва, Россия;

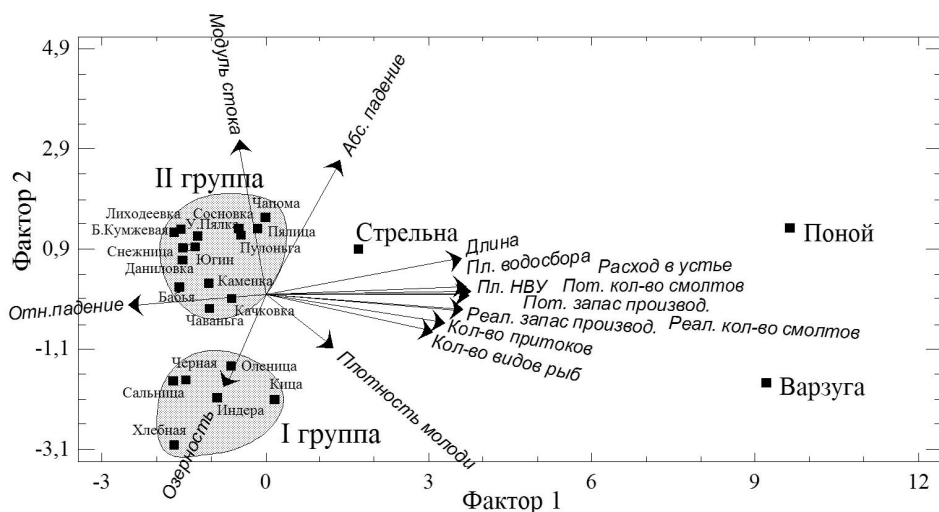
³ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Варзугский НИЦ
полярных экосистем, Варзуга, Мурманская обл., Россия

В юго-восточной части Кольского полуострова расположено 23 реки, в которых происходит нерест атлантического лосося и кумжи. Исследованы реки от Качковки (Горло Белого моря), до реки Черная (мыс Турий). Наиболее крупные из них – это Поной, Варзуга, Стрельна, Оленица, имеющие расход воды в устье 176, 102, 32 и 26 м³/с. Остальные реки относятся к малым, с расходом менее 20 м³/с. В этих реках суммарно воспроизводятся значительные запасы атлантического лосося, ежегодно около 124 тыс. экз. производителей мигрирует на нерест (Зубченко и др., 2007). Вместе с тем, из-за отсутствия дорог, большинство малых рек региона остаются труднодоступными. Поэтому этим рекам, как и обитающим в них популяциям лосося, со стороны исследователей уделялось недостаточно внимания.

Наша задача заключалась в сборе и обобщении имеющихся гидрологических показателей рек, важных для воспроизводства лосося, и некоторых основных популяционных характеристик атлантического лосося, с тем, чтобы провести их инвентаризацию и систематизацию. Из гидрологических показателей оценивались: длина водотока, площадь водосбора, абсолютное и относительное падение, общий коэффициент озерности, модуль стока, расход воды в устье, количество притоков и площадь нерестово-выростных участков (НВУ). Из популяционных и биотических характеристик оценивались: средняя плотность молоди, фактическая и потенциальная численность смолтов и производителей, количество видов рыб, обитающих в реке. Данные частично собраны из литературы (Каталог рек..., 1962; Казаков и др., 1992; Калюжин, 2003; Зубченко и др., 2007; и др.), получены в ходе наших экспедиций (2001, 2005, 2008 гг.) и с помощью расчетов в программе Kosmosnimki.ru.

Для анализа многопараметрической системы данных был использован метод факторного анализа, позволяющий заменить исходные, взаимосвязанные признаки на некоторую совокупность некоррелированных группировок (факторов). Это дало возможность анализировать не отдельные показатели, а группы признаков, охватывающие основные направления исследуемого процесса. Каждый признак вносит определенный вклад в фактор, и количественно эта величина оценивается по так называемому весовому коэффициенту признака или нагрузке (Харин, 1992). В зависимости от сочетания признаков и с учетом величин нагрузок каждому выделенному фактору было дано обобщенное название.

На основе факторного анализа (Харин, 1992) нами проведена систематизация 23 рек по 15 показателям, которые объединились в 2 основных обобщенных фактора (рис.). В факторе 1 (дисперсия 76,2%) основные величины нагрузок пришлось на фактическую продуктивность, потенциальную численность смолтов и площадь НВУ, в связи с чем, данный фактор был назван нами «продуктивность рек». В факторе 2 (дисперсия 13,5%) нагрузки распределились между модулем стока и падением реки. Данный фактор получил название «тип реки». Анализ расположения рек в пространстве обобщенных факторов (1 и 2) позволил выделить 2 группы рек и 3 отдельно расположенные крупные реки. К I группе относятся реки Индера, Кица, Оленица, Сальница, Черная и Хлебная, характеризующиеся высокой степенью озерности, высокой плотностью молоди лосося и достаточной величиной относительного падения. В пространстве эти реки располагаются в области низких значений обоих факторов. Рекам, попавшим во II группу свойственны высокие значения модуля стока и абсолютного падения, что позволяет характеризовать их как типично полугорные и слабо разветвленные речные системы. В среднем абсолютное падение этих рек составляет 211 м, а в реках I группы в два раза ниже – 114 м. Особое положение занимают в пространстве выделенных факторов крупные реки Варзуга, Поной и частично Стрельна (абсолютное падение 220 м). Которые также можно объединить в отдельную группу. Эти реки отличаются высокими значениями фактора продуктивности, оцениваемого по количеству скатывающихся в море смолтов и среднему возврату производителей на нерест.



Распределение нерестовых рек в пространстве обобщенных факторов 1 и 2: стрелками обозначены направления действия и сила факторов; группа I – водотоки озерно-речного типа таежной зоны, группа II – водотоки речного типа тундровой зоны.

Общая площадь НВУ всех исследуемых 23 рек составляет около 44 млн. м². Это значительный нерестово-выростной потенциал, превышающий показатели беломорских рек Карелии. Наиболее значительны площади НВУ в реках Поной

(17,3 млн. м²) и Варзуга (14,7 млн. м²). Остальные реки существенно отстают. Так в русле Стрельны учтено 2,8 млн. м², а на ЧапOME 1,4 млн. м². В реках I и II группы площади варьируют от 99 и до 865 тыс. м². Суммарная площадь НВУ в реках I группы составляет 1,89 млн. м² (6 рек), а во II группе 7,39 млн. м² (14 рек). В крупных реках, Поной, Варзуга и Стрельна, суммарная площадь НВУ достигает 34,8 млн. м², т. е. превышает обе группы почти в четыре раза.

Качественные характеристики НВУ (рельеф, глубины, скорости течения, фракционный состав грунта) отражаются на плотностях молоди лосося (Веселов, Калюжин, 2001). Среди рек исследуемого региона, наибольшие плотности отмечены в реках Качковка (96 экз./100 м²), Поной (78), Пялица и Усть-Пялка (72, 64), Каменка (64) и Кица (62). В остальных реках плотность изменяется в пределах 30–60 экз./100 м², что также считается высоким показателем. Лишь в трех реках – Большая Кумжевая, Лиходеевка и Снежница, плотности ниже 15 экз./100 м². В реках I группы, находящихся в таежной зоне, плотности молоди в среднем составляют 56 экз./100 м², а во второй группе, расположенной в тундровой зоне, показатель ниже – 40 экз./100 м². В крупных реках плотность молоди лосося в среднем 55 экз./100 м², причем в Стрельне – всего 33 экз./100 м². По результатам оценки видно, что в озерно-речных системах, в которые входит I группа рек, Поной и Варзуга (кроме Стрельны), плотности молоди выше 50 экз./100 м². В остальных реках, не имеющих озер в своем русле, показатель может сильно колебаться от 10 до 96 экз./100 м².

Из рек, имеющих высокую продуктивность выделяются реки Поной и Варзуга, из которых ежегодно скатывается на нагул в море более полумиллиона смолтов лосося. Затем следует река Стрельна – около 100 тыс. смолтов. В остальных реках количество мигрирующих на нагул смолтов изменяется в пределах от 2500 экз. (Большая Кумжевая) до 66400 экз. (Пулоньга).

Фактический запас производителей также выделяется в крупных реках Варзуга (более 50 тыс. экз.) и Поной (около 30 тыс. экз.). Еще в две реки – Стрельна (8,5 тыс. экз.) и ЧапOME (5,5 тыс. экз.), мигрирует на нерест достаточно большое количество производителей лосося. В оставшихся реках численность нерестующих рыб изменяется в пределах от 120 экз. (Большая Кумжевая) до 3,3 (Пулоньга) и 3,5 тыс. экз. (Сосновка). В реках I группы в настоящее время мигрирует на нерест 6200 экз., в реках II группы – 24600 экз. По нашим расчетам и данным других авторов, потенциальная численность производителей в реке Варзуга может достигать 179,1 тыс. экз., а в Поное 105,8 тыс. экз. (Казаков и др., 1992; Зубченко и др., 2007). Если учитывать все реки региона, то этот показатель будет около 377 тыс. экз., т. е. в три с лишним раза выше нынешней численности нерестовых мигрантов.

Исследуя видовое разнообразие ихтиофауны рек, отметим, что Юго-Восточная часть Кольского полуострова представлена 18 видами рыб, принадлежащих к 13 семействам. Вместе с тем на НВУ лосося постоянно обитает всего 2–4 вида рыб (молодь кумжи, голянь, хариус, налим). В реках I группы, относящихся к озерно-речным системам, встречаются типичные лимнофилы корюшка, ряпушка и др., которых нет в реках II группы. Такие протяженные и разветвленные реки, как Варзуга (120 притоков I порядка) и Поной (132 притока I порядка), отличаются наибольшим количеством видов – 18. Несколько отстает от них средняя по разме-

рам река Стрельна – 12 видов, что вполне объяснимо практически отсутствием озер (озерность 0,9%) и меньшей разветвленностью гидросистемы (35 притоков I порядка).

Таким образом, факторным методом была проанализирована многопараметрическая система основных абиотических и биотических показателей нерестовых рек юго-востока Кольского полуострова и воспроизводящегося в них популяций атлантического лосося. Исследованные 15 показателей разделились по двум основным обобщенным факторам. Расположение нерестовых рек в факторном пространстве позволило выделить две группы – озерно-речную (I), водотоки которой расположены западнее в таежной зоне, и типичную речную (II), с водотоками в восточной части региона. Обособленно от них распределились две крупные высоко продуктивные реки – Варзуга и Поной, а промежуточное место заняла Стрельна.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Живая природа: современное состояние и проблемы развития» (2012–2014 гг.).

ВЛИЯНИЕ БЕЛКОВ ЦЕЛОМИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТИ МОРСКОЙ ЗВЕЗДЫ *ASTERIAS RUBENS* L. НА НАЧАЛЬНЫЕ СТАДИИ РЕГЕНЕРАЦИИ ТКАНЕЙ МОРСКИХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ И МЛЕКОПИТАЮЩИХ

И.В. Воронкина¹, Н.А. Шарлаимова¹, М.В. Протасов², Б. Хернрот³, Г.П. Пинаев¹

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт цитологии
Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: voronirina@list.ru;

² Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научно-исследовательский
центр Санкт-Петербургского Государственного медицинского университета
им. акад. И.П. Павлова, Санкт-Петербург, Россия;

³ Шведская Королевская Академия Наук, Центр Морских Исследований Свен Ловен, Швеция

Высокая способность быстро и полно восстанавливать различные органы и части тела после их повреждения является одной из главных особенностей морских беспозвоночных, поэтому многие процессы, связанные с регенерацией, изучаются на иглокожих (Candia Carnevali and Bonasoro, 2010; Garsia-Ararras and Dolmatov, 2010). В целомической полости морских звезд *Asterias rubens* находится большое количество циркулирующих клеток – целомоцитов, которым отводится основная роль в процессах, связанных с закрытием раны и регенерацией. При нарушении целостности ткани целомоциты образуют сгусток, закрывающий рану, в то же время они секретируют различные белки, цитокины и факторы роста, что изменяет белковый состав целомиической жидкости (ЦЖ). Известно, что в составе ЦЖ можно найти такие факторы как BMP2, TNF, IL-1, которые могут способствовать ускорению процессов, связанных с восстановлением тканей (Patruno et al., 2001; Ottaviani et al., 2001; Franchini et al., 2006).

Нами была изучена динамика белкового состава ЦЖ в течение первых суток после нанесения раны и показано, что на начальном этапе заживления раны в ЦЖ появляется большое количество пептидов, исчезающих со временем. Были выделены мажорные белки, появляющиеся на начальной стадии заживления раны у морской звезды и изучено действие полученных белков на адгезию, выживаемость, пролиферацию и миграцию различных линий клеток позвоночных в культуре (Воронкина и др., 2000), а также на целомоциты морских беспозвоночных. Кроме этого, было изучено действие этих белков на заживление кожной раны у крыс.

Исследования проводили на клетках млекопитающих линий A-431, HL-60, MT-4, Jurkat, NCTC клон 929, Balb/3T3, U-937, полученных из российской коллекции клеточных культур (Институт цитологии РАН). Работу с морскими звездами проводили на Беломорской биологической станции Картеш (Россия) и на морской биологической станции Кристинеберг (Швеция). Свежепойманным морским звездам наносили стандартные экспериментальные раны, после чего животных помещали в садок до отбора проб. Через различное время после нанесения раны из целомиической полости отбирали ЦЖ, которую немедленно центрифугировали для отбора целомоцитов. Тотальный белок из бесклеточной жидкости осаждали, из целомоцитов готовили лизат, после чего в обоих случаях готовили пробы для форе-реза. Мажорные белки бесклеточной ЦЖ разделяли на гель-хроматографии. В результате получали по меньшей мере три мажорных группы белков, различающихся по активности.

Пролиферативные и адгезивные свойства трех групп белков, выделенных из ЦЖ раненой морской звезды *Asterias rubens*, были также тестированы на целоμοцитах/гемоцитах трех групп беспозвоночных – иглокожих *Asterias rubens*, моллюсков *Mytilus edulis* и туникатов *Ciona intestinalis*. Дополнительно антимикробные свойства белков были тестированы на Грам-отрицательных бактериях *Vibrio parahaemolyticus*. С помощью электрофореза были определены три группы белков по молекулярному весу (Группа I >95 кДа, Группа II: 30-50 кДа, Группа III: 15-30 кДа). Все группы улучшали пролиферацию аутологичных целомоцитов, а Группа I так же действовала на гемоциты *M. edulis*. Группа I также улучшала адгезию всех типов клеток, а Группа III обладала негативным влиянием на адгезию целомоцитов *C. intestinalis*. Группа II показала слабое антипролиферативное влияние на гемоциты *M. Edulis*, а также имела антимикробные свойства. Однако наибольший антимикробный эффект вызывала Группа III. Эта группа, содержащая меньшие белки, может содержать цитокино-подобные молекулы, а также форму лизоцима беспозвоночных, которую ранее нашли у морской звезды (Bachali et al, 2004). Хотя белки, содержащиеся во исследуемых группах, слабо перекрываются по молекулярному весу, все три группы белков были различны по составу белков. Различия в ответе, наблюдаемые у клеток разных филогенетических линий, предполагают участие рецепторов (Holm et al., 2010).

Для изучения изменения состава ЦЖ были также получены поликлональные антитела на различные группы белков, секретируемые в ЦЖ на начальной стадии регенерации. Было проведено окрашивание этими антителами целомоцитов, выделенных из нормальных и предварительно раненых животных. Антитела, полученные на белки, обладающие адгезивными свойствами (Группа I), окрашивали определенную часть целомоцитов, и практически все клетки, полученные из целомиического эпителия. При этом окрашивалась только поверхность нормальных клеток и у ~ 1% клеток окрашивалась цитоплазма. Антитела, полученные на белки, обладающие пролиферативным действием (Группа II), так же окрашивали некоторую часть целомоцитов и клетки целомиического эпителия, но количественно меньше, чем антитела, полученные на белки группы I. Окрашивание было локализовано внутри клеток в цитоплазме. Антитела, полученные на белки, обладающие цитотоксическим действием (Группа III), окрашивали гранулы целомоцитов и лишь некоторые клетки целомиического эпителия. Окрашивание было сосредоточено в гранулах гранулоцитов. Результаты проведенного дополнительного анализа изменений состава ЦЖ методом Вестерн-блота показали, что целомоциты начинают секретировать белки сразу после повреждения ткани. При этом максимум секретиции белков, разных по биологической активности, не совпадают.

Влияние исследуемых белков на миграцию клеток и на скорость деструкции ткани изучали на примере культивируемой ткани целомиического эпителия морской звезды. Для проведения данного эксперимента образцы ткани целомиического эпителия морской звезды от животных, которым предварительно была нанесена рана, и от интактных животных, культивировали *in vitro* в среде L-15 с 2% фетальной сыворотки в течение 8 суток. Действие белков оценивали, вводя их в среду культивирования и наблюдая за состоянием эксплантата эпителиальной ткани и миграцией клеток из него. Подсчитывали количество клеток, мигрировавших из ткани в среду, биохимический состав и протеолитическую активность среды куль-

тивирования оценивали методами электрофореза, Вестерн-блота и зимографии. Количество клеток, мигрировавших из ткани за время культивирования, было существенно выше для образцов ткани, взятых от раненых животных. Из ткани интактных животных клетки мигрировали равномерно в течение всего срока культивирования. Клетки из ткани раненых животных мигрировали в 1,5-2 раза быстрее в течение 3-6 суток, после чего скорость миграции снижалась до уровня, полученного для интактных животных. Одновременно происходило повышение уровня матриксных металлопротеиназ (ММП) в среде культивирования. При этом начальный уровень ММП был значительно выше в ткани от раненых животных (Воронкина и др., 2006).

Для изучения действия полученных белков на скорость деструкции ткани их вводили в среду культивирования (без сыворотки), контролем служила среда культивирования с 2% сыворотки. При этом введение белков I группы снижало скорость деструкции ткани, а белков III группы – повышало ее. При совместном действии различных фракций присутствие белков III группы всегда приводило к повышению скорости деструкции ткани (Воронкина и др., 2006).

Сопоставление результатов исследования, полученных для клеток млекопитающих, и результатов, полученных на клетках и тканях морских беспозвоночных, показало, что действие мажорных компонентов ЦЖ проявляется одинаково как на клетках млекопитающих, так и на клетках морских беспозвоночных (Holm et al., 2010).

Изучение действия компонентов ЦЖ регенерирующей морской звезды на пролиферативную активность и миграцию соматических клеток было продолжено на примере заживления ран у млекопитающих. Ранее нами была разработана модель раны у крыс, позволяющая вводить различные вещества в полость раны и проводить биохимический анализ состава раневого отделяемого одновременно с гистологическим анализом тканей раны на ранних сроках развития раневого процесса (Галибин и др., 2004). Моделирование раны на крысах выполняли в научно-исследовательском центре Санкт-Петербургского государственного медицинского университета. Эксперимент выполняли на 60 особях белых беспородных крыс массой тела 250-300 г, разделенных на 4 группы. Срок наблюдения составлял 1, 2 и 3 суток. В контрольной группе в полость раны вводили 0,9% раствора NaCl, в опытных – белки ЦЖ регенерирующей морской звезды I, II и III групп соответственно. При количественном изучении морфологической структуры тканей раны было выделено несколько параметров: интенсивность нейтрофильной инфильтрации, характеризующей остроту воспалительной реакции; количество фибробластов и фибробластоподобных клеток, отражающее пролиферативную активность; количество капилляров грануляционной ткани, характеризующее формирование грануляционной ткани (Протасов и др., 2008).

Гистологическое изучение тканей раны животных первой опытной группы подтверждают наличие цитопротективных свойств у соответствующих белков целомической жидкости травмированной морской звезды. Это подтверждается статистически достоверной меньшей выраженностью нейтрофильной инфильтрации (как ответа на повреждении тканей) в сравнении с другими группами. Вместе с тем, в эксперименте *in vivo* не подтверждается способность белков I группы замедлять процессы миграции клеток, на что указывает нарастание количества фиб-

робластов, в том числе и за счет миграции из окружающих тканей. Эти изменения, а также более интенсивная сборка капилляров, подтверждают усиление клеточной адгезии, ранее показанное *in vitro*. В то же время данные о том, что увеличение количества фибробластов и капилляров в тканях раны крыс первой опытной группы более выражено, чем во второй опытной группе, позволяют предположить способность белков I группы усиливать и пролиферацию. Способность белков ЦЖ регенерирующей морской звезды II группы усиливать пролиферативную и миграционную активность клеток, установленная в эксперименте *in vitro*, в эксперименте на крысах подтверждена лишь отчасти. Количество фибробластов и фибробластоподобных клеток во второй опытной группе становится статистически достоверно большим, чем в контрольной группе, лишь к третьим суткам. В то же время во второй опытной группе количество фибробластов и фибробластоподобных клеток меньше или недостоверно отличается от остальных опытных групп, количество же капилляров в тканях раны достигает значений контрольной группы лишь к третьим суткам, из чего можно сделать предположение, что белки ЦЖ II группы не влияют на ангиогенез. Цитотоксическое действие на клетки белков ЦЖ регенерирующей морской звезды III группы в эксперименте на крысах (третья опытная группа) подтверждено статистически значимым увеличением выраженности нейтрофильной инфильтрации тканей раны, как ответа на повреждающее действие.

Можно сделать вывод, что белки целомической жидкости морской звезды, вводимые в полость раны крыс, способны изменять течение начальных этапов процесса заживления раны. При этом действие различных групп белков целомической жидкости морских беспозвоночных на заживление ран млекопитающих аналогично их влиянию на те свойства клеток позвоночных *in vitro*, которые необходимы для заживления ран.

Полученные в ходе представленной работы результаты показали, что действие белковых факторов, появляющихся в ЦЖ *Asterias rubens* после ранения, на клетки млекопитающих *in vitro*, сходно с действием этих факторов на клетки морских беспозвоночных *in vitro* (Voronkina et al, 2010, Holm et al, 2010), а также на процесс заживления ран у млекопитающих *in vivo*. Это позволяет предположить, что полученные нами белковые факторы могут быть использованы при изучении процессов регенерации у позвоночных, в частности, человека.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ - гранты 08-04-10090-к, 05-04-08017-офи_а и 07-04-011-90а – научная школа, а также научных фондов Шведской Королевской Академии Наук – гранты FDS06-121 и FOA07B-306 и гранта Adlerbertska forskningsstiftelsen, Швеция.

УЛЬТРАСТРУКТУРА ПАРЕНХИМЫ ДВУХ ВИДОВ ПРЯМОКИШЕЧНЫХ ТУРБЕЛЛЯРИЙ (NEORHABDOCOELA) БЕЛОГО МОРЯ

Г.Р. Газизова, Я.И. Заботин

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
профессионального образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,
Казань, Россия, e-mail: cyanea@mail.ru

Прямокишечные турбеллярии (*Neorhabdocoela*) представляют собой важную в филогенетическом аспекте группу плоских червей, занимающую промежуточное положение между свободноживущими турбелляриями и паразитическими классами (*Neodermata*).

Существуют различные взгляды на систематику *Neorhabdocoela*. Традиционно этой группе придавался ранг отряда в классе турбеллярий (Иванов, Мамкаев, 1973). По мнению У. Элерса (Ehlers, 1985) группа *Neorhabdocoela* является парафилитической и включает таксоны *Typhloplanoida* (в т. ч. *Kalyptorhynchia*), *Dalyellioida* и классы паразитических плоских червей. Согласно последним молекулярным данным, напротив, *Neorhabdocoela* являются монофилитической группой, не связанной близким родством с *Neodermata* (Willems et al., 2006).

Одной из ярко выраженных модульных особенностей организации плоских червей является развитие специфического типа ткани – паренхимы. Поскольку изучение ее морфологии важно для установления филогенетических связей между свободноживущими и паразитическими группами *Plathelminthes*, целью данной работы явилось исследование ультратонкого строения паренхимы двух беломорских рабдоцеллид *Provortex karlingi* (*Dalyellioida*) и *Macrorhynchus crocea* (*Kalyptorhynchia*) в эволюционно-морфологическом аспекте.

Представители *P. karlingi* и *M. crocea* были собраны в июле 2012 г. на литорали островов Керетского архипелага (губа Чупа) Белого моря. Черви фиксировались в 1% глутаровом альдегиде на 0,1 М фосфатном буфере, а затем были обработаны по стандартной методике, принятой в электронной микроскопии. Ультратонкие срезы были исследованы в лаборатории электронной микроскопии кафедры зоологии беспозвоночных и функциональной гистологии Казанского (Приволжского) федерального университета с помощью трансмиссионного электронного микроскопа Jeol JEM-100CX II.

Проведенные исследования позволяют выделить в паренхиме *P. karlingi* три типа клеток. Самыми многочисленными являются клетки I типа (рис. 1а). Это многоотростчатые клетки, для которых характерна электронно-прозрачная цитоплазма, заполненная мелкими везикулами с электронно-прозрачным содержимым. В ней также присутствуют отдельные электронно-плотные липидные капли и крупные вакуоли.

Клетки II типа встречаются значительно реже и собраны в небольшие группы (рис. 1б). Это клетки довольно крупных размеров и полигональной формы. Для них характерно наличие большого количества каналов гранулярного ЭПР, которые близко расположены друг к другу и нередко образуют концентрические структуры.

Клетки III типа отличаются от выше перечисленных типов более широкими каналами гранулярного ЭПР, а также ультраструктурой ядер, имеющих амебoidalную форму и содержащих электронно-прозрачную кариоплазму и крупное плот-

ное ядрышко (рис. 1с). Клетки I и III типов разделены широкими прослойками межклеточного вещества.

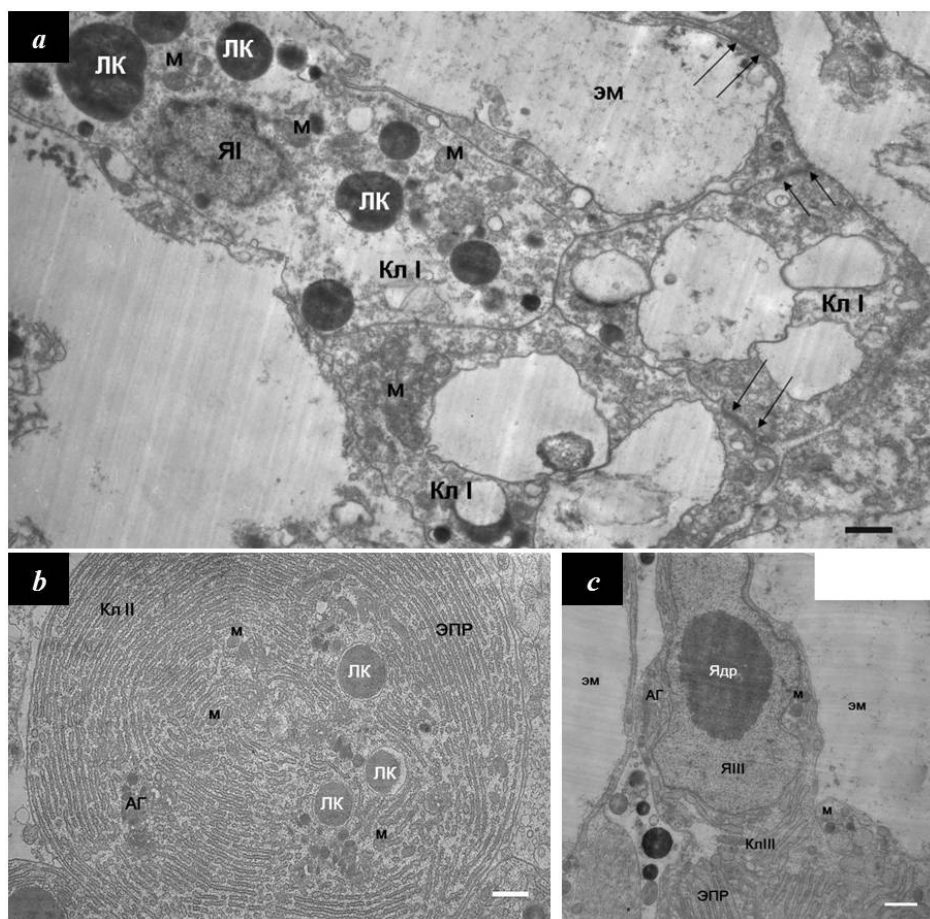


Рис. 1. Паренхима *Provortex karlingi* (a, b, c)

Кл I – клетка паренхимы I типа, Кл II – клетка паренхимы II типа, Кл III – клетка паренхимы III типа, ЯI – ядро клетки I типа, ЯII – ядро клетки II типа, ЯIII – ядро клетки III типа, Ядр – ядрышко, ЭПР – эндоплазматический ретикулум, АГ – аппарат Гольджи, ЛК – липидные капли, м – митохондрии, эм – экстрацеллюлярный матрикс, стрелками указаны межклеточные контакты. Масштаб: 1 μ м

Паренхима *M. crocea* испытывает некоторое упрощение по сравнению с *P. karlingi* и представлена лишь двумя типами клеток. Основной объем паренхимы занимают отростчатые клетки I типа (рис. 2а). Они напоминают клетки II типа *P. karlingi* широкими каналами гранулярного ЭПР. Ядро имеет овальную или полигональную форму и содержит крупные электронно-плотные скопления гетерохроматина.

Клетки II типа паренхимы *M. crocea* отличаются высоким ядерно-цитоплазматическим отношением и не имеют аналогов у *P. karlingi* (Рис. 2b). Клетки данного типа имеют полигональную или вытянутую форму и нередко образуют небольшие группы. Гетерохроматин имеет нитчатую структуру и собран в крупные электронно-плотные скопления. Цитоплазма клеток II типа имеет электронно-плотную гиалоплазму и содержит немногочисленные митохондрии. Межклеточное вещество представлено в виде тонких электронно-прозрачных полосок, залегающих между клетками.

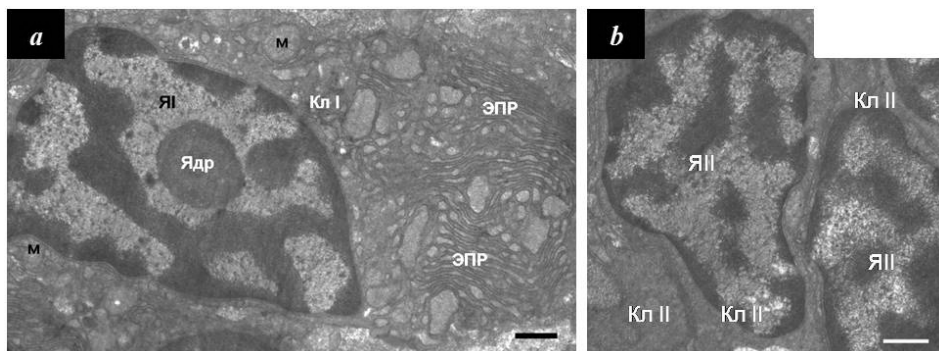


Рис. 2. Паренхима *Macrorhynchus crocea* (a, b)

Кл I – клетка паренхимы I типа, ЯИ – ядро клетки I типа, Кл II – клетки паренхимы II типа, ЯII – ядро клетки паренхимы II типа, Ядр – ядрышко, ЭПР – эндоплазматический ретикулум, м – митохондрии. Масштаб: 1 μ м

У двух исследованных видов наиболее ярко проявляются структурные различия, отражающие функциональную специфику типов клеток паренхимы. У *P. karlingi* клетки паренхимы специализируются на выполнении опорной (клетки I типа), секреторной (клетки II и III типов) и запасующей (клетки I и II типов) функций. У *M. crocea* клетки I типа выполняют опорную и секреторную функции, а клетки II типа, по-видимому, являются необластами.

Заметные различия в строении паренхимы у *P. karlingi* и *M. crocea* свидетельствуют о дивергентной эволюции этой ткани у представителей далиеллиоид и калипторинхий в связи с решением различных морфофункциональных задач. С другой стороны, упрощение строения паренхимы *M. crocea*, проявляющееся в уменьшении клеточного многообразия, напоминает аналогичный процесс у паразитических плоских червей. Это сходство в направлении эволюции паренхимы, по нашему мнению, может рассматриваться как один из критериев филогенетической близости прямокишечных турбеллярий и неодермат.

ОПЫТ ПОСТРОЕНИЯ ТАБЛИЦЫ ВЫЖИВАНИЯ ДЛЯ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ *MYA ARENARIA* L. В БЕЛОМ МОРЕ

А.В. Герасимова, Н.В. Максимович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет»,
Санкт-Петербург, Россия, e-mail: agerasimova64@mail.ru

Для изучения закономерностей динамики численности популяций часто составляют таблицы выживания, содержащие сведения о характере распределении смертности по возрастам. Существует два вида таблиц выживания – динамические и статические. В первом случае для построения таблицы выживания необходимы подробные наблюдения на протяжении всего жизненного цикла за судьбой отдельной генерации (модельно рассматриваемой как когорта – группа особей, отрожденная в популяции за короткий (относительно общей продолжительности жизни изучаемых организмов) промежуток времени). Составить такие таблицы можно только в том случае, когда имеется реальная возможность проследить за индивидуальной судьбой всех членов достаточно большой выборки из определенной генерации. Для долгоживущих и подвижных организмов получить данные для построения динамической таблицы крайне трудно. В отношении водных организмов динамические таблицы выживания составлены на примере в основном прикрепленных организмов, например усоногих раков *Balanus glandula* (Connell, 1970), и в этом случае исследователю потребовались регулярные обследования на протяжении 10 лет. Поэтому весьма часто составляют таблицы выживания на основании краткосрочных наблюдений за смертностью во всех возрастных группах. Такие таблицы называют статическими. Эти таблицы широко применяют в различных демографических исследованиях.

Двустворчатые моллюски *Mya arenaria* L. относятся к массовым формам фауны мягких грунтов бореальной зоны Атлантического океана. В Белом море особи этого вида способны образовывать плотные скопления на илисто-песчаных пляжах осушной зоны (Садыхова, 1979, 1982; Maximovich, Guerassimova, 2003), что делает их удобными объектами в демэкологическом анализе морских двустворчатых моллюсков. Взрослые представители не меняют своего места обитания, а в зависимости от плотности грунта способны зарываться в грунт до 40–50 см (Садыхова, 1982). Это существенно снижает их доступность для хищников и позволяет рассматривать поселения *M. arenaria* как хороший объект для модельных исследований структуры и динамики популяций Bivalvia. В акваториях Керетского архипелага Белого моря (Кандалакшский залив) сотрудниками кафедры ихтиологии и гидробиологии Санкт-Петербургского Государственного Университета проводятся многолетние наблюдения за структурой поселений песчаных ракушек на 4-х типичных литоральных пляжах (Герасимова и др., 2006; Maximovich, Guerassimova, 2003; Gerasimova, Maximovich, 2012). Спецификой поселений данного вида являлось формирование на протяжении многих лет практически одновозрастных скоплений. Одно из изучаемых поселений *Mya arenaria* – на участке литорали в бухте Лебяжья – объект наиболее долговременных наблюдений – с 1980 г., и с 1989 по 2003 г. развитие данного поселения проходило практически как динамика генерации 1988 г. Ее судьбу нам удалось проследить с 1989 г. по

2012 г. (на протяжении 24 лет). Надежность учета количества моллюсков данной генерации была сравнительно высока на протяжении всего периода наблюдений – в основном ошибка оценки численности мий в отдельные даты не превышала 30%. Эти показатели и послужили основой для создания динамической таблицы выживания. Таким образом, основная задача данного исследования – анализ характера распределения смертности *Mya arenaria* по возрастам.

В первой графе таблицы выживания (табл.) указан возраст моллюсков (t), во второй – число особей N_t , доживших до возраста t . В последующих графах – значения следующих вычисленных по данным первых двух граф параметров: доля особей, доживших до возраста t , $l_t = N_t/N_0$, где N_0 – число особей начального, «нулевого», возраста, в данном случае за N_0 принимали численность моллюсков в возрасте 1 год, она составила 2156 экз./м²; число особей, погибших в течение интервала от t до $t+1$, $d_t = N_t - N_{t+1}$; удельная смертность в пределах каждого возрастного класса $M_t = d_t/N_t$.

Таблица выживания *Mya arenaria* в нижнем горизонте литорали б. Лебяжья

Возраст, годы	Число живых особей в момент учета, N_t экз./м ²	Доля особей, доживших до возраста t , l_t	Число особей, погибших в течение интервала от t до $t+1$, d_t	Удельная смертность в пределах каждого возрастного класса, M_t , год ⁻¹
1	2156,0	1,000	1032	0,48
2	1124,0	0,521	206	0,18
3	918,0	0,426	324	0,35
4	594,0	0,276	39	0,07
5	555,0	0,257	55	0,10
6	500,0	0,232	84	0,17
7	416,0	0,193	156	0,38
8	260,0	0,121	64	0,24
9	196,4	0,091	87	0,44
10	109,3	0,051	11	0,10
11	98,0	0,045	13	0,13
12	84,8	0,039	22	0,25
13	63,2	0,029	5	0,08
14	58,4	0,027	4	0,08
15	54,0	0,025	37	0,68
16	17,2*	0,008	2	0,11
17	16,3	0,008	2	0,12
18	15,3	0,007	1	0,06
19	14,4	0,007	1	0,06
20	13,5	0,006	2	0,14
21	12,5*	0,006	2	0,14
22	11,6	0,005	1	0,07
23	10,8	0,005	6	0,56
24	4,8	0,002	–	–

* В эти годы учет мий не проводили, а помещенные в таблицу и использованные для дальнейших расчетов цифры представляют собой средние величины из оценок за предыдущий и последующий годы, остальные обозначения в тексте.

Оказалось, что величина удельной смертности мий на протяжении периода исследований менялась более чем в 10 раз (от 0,06 до 0,68 год⁻¹). При этом строго закономерных изменений данного показателя не наблюдалось. Предполагаемая

ранее U-образная зависимость уровня смертности от возраста (или размера) моллюсков, когда смертность достаточно велика в младших возрастных группах, понижается в средних и снова возрастает в старших (Maximovich, Guerassimova, 2003), очевидно, не является адекватной аппроксимацией данных на протяжении всего цикла наблюдений (рис. 1). Периоды низкого уровня смертности чередовались с резкими повышениями степени элиминации. Сопоставление изменчивости уровня смертности моллюсков с динамикой биомассы особей генерации 1988 г. (рис. 2) на протяжении периода наблюдений позволяет предложить следующую интерпретацию результатов.

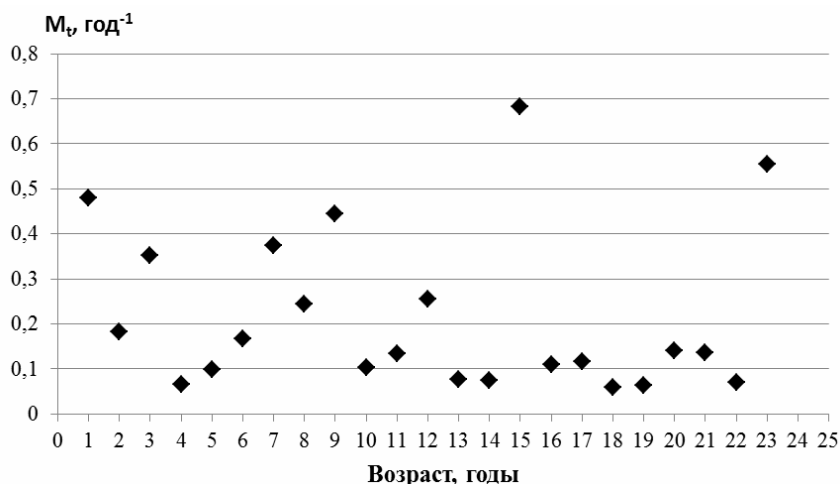


Рис. 1. Изменчивость удельной смертности *Mya arenaria* в пределах каждого возрастного класса, M_v , год⁻¹, в зависимости от возраста моллюсков

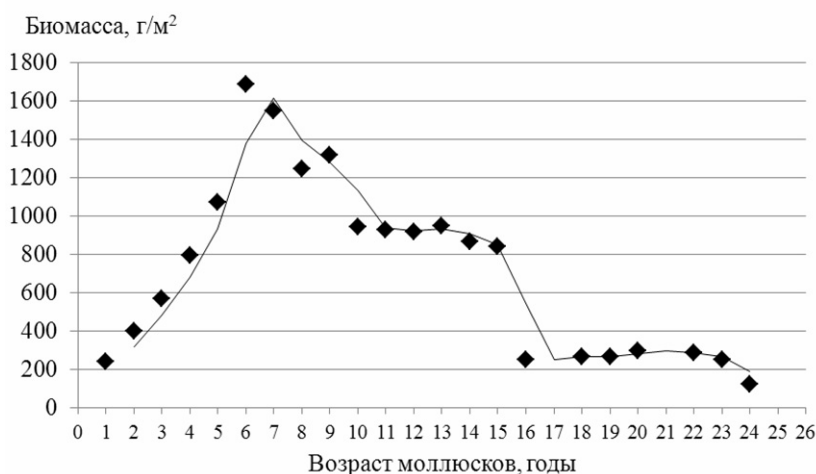


Рис. 2. Динамика биомассы *Mya arenaria* генерации 1988 г. в нижнем горизонте литорали бухты Лебяжья в 1989–2012 гг.

Высокая скорость элиминации моллюсков в первые годы жизни, возможно, связана с выпадением из состава генераций нежизнеспособных особей при их обитании в приповерхностном слое грунта, т. е. в условиях динамичной среды. Известно (Кулаковский, Флячинская, 1993), что, например, в личиночном пуле двустворчатых моллюсков *Mytilus edulis* губы Чупа большое число особей обнаруживают визуально различимые нарушения в развитии. Относительную стабилизацию количества особей в возрасте 4–6 лет (около 500 экз./м²) логично представить как следствие большей защищенности моллюсков (глубина закапывания особей составляет 5–10 см) и сбалансированности количества доступного корма и пищевых потребностей особей поселения. Однако этот период являлся также и периодом активного роста животных (около 5 мм в год), вследствие чего происходило резкое увеличение биомассы мий на участке, достигшей к шестилетнему возрасту моллюсков, по-видимому, предельной для данного биотопа величины – свыше полутора килограммов (см. рис. 2). Дальнейшее увеличение темпов снижения численности могло отражать, например, усиление конкуренции особей за пищу при увеличении их размеров. Очередной этап стабилизации численности моллюсков в возрасте 10–15 лет, по-видимому, результат установившегося окончательного баланса между экологической емкостью среды и массой моллюсков (см. рис. 2). Скорость роста *Mya arenaria* в этот период менее 1,5 мм в год, моллюски способны закопаться на глубину 30–40 см, и таким образом мало доступны для хищников. Резкое возрастание уровня смертности в возрасте 15 лет (см. Рис. 1), возможно, обусловлено достижением большинством представителей генерации 1988 г. средней продолжительности жизни. Менее 10% особей (относительно их численности в 1989 году) оказались способны перейти 15-летний возрастной рубеж. В результате сформировалась группа долгожителей, отличавшаяся низкой численностью и низким темпом роста (около 1 мм в год), которая в почти неизменном составе достигла, вероятно, близкой к максимальной продолжительности жизни *Mya arenaria* – 23–24 г.

Таким образом, в результате проведенного анализа можно предварительно выделить несколько причин повышения уровня смертности *Mya arenaria* на протяжении онтогенеза:

- А) элиминация нежизнеспособных особей на начальных этапах жизни
- Б) усиление внутривидовой конкуренции вследствие быстрого роста моллюсков
- В) достижение средней продолжительности жизни
- Г) достижение максимальной продолжительности жизни.

ВЗВЕШЕННОЕ ВЕЩЕСТВО В ГУБЕ ЧУПА, КАРЕЛЬСКОЕ ПОБЕРЕЖЬЕ БЕЛОГО МОРЯ

М.В. Герасимова, М.В. Митяев

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Мурманский морской
биологический институт Кольского научного центра Российской академии наук,
Мурманск, Россия, e-mail: gerasimova@mmbi.info*

Систематические наблюдения изменений содержания взвешенного вещества (ВВ) в губе Чупа Белого моря проводились в летне-осенний период 2007–2012 гг. Исследовалось пространственное распределение ВВ в поверхностном и придонном слоях воды за сутки, в зависимости от фазы приливно-отливного цикла. За весь период исследований получено и обработано 374 пробы ВВ. Параллельно с отбором проб фиксировались: фаза приливоотливного цикла, температура и соленость морской воды, метеоусловия. Содержание взвеси определялось с точностью до 0.1 мг. Отбор и обработка проб осуществлялись по апробированным методикам (Шевченко и др., 1994).

В губе Чупа содержание ВВ в поверхностном слое воды изменяется не более чем в 2 раза. Зафиксированный диапазон изменений содержания взвеси по заливу составляет 0.43 мг/л, максимально зафиксированное содержание взвеси 1.86 мг/л. Содержание взвеси в придонном слое воды, так же как и в поверхностном, изменяется не более чем в 2 раза, но диапазон латеральных изменений содержания взвеси более широкий (зафиксирован в 0.71 мг/л). Латеральное распределение содержания ВВ, подчинено одной общей закономерности: максимальные концентрации прижаты к бортам залива, а минимальные – к центральной части. У южно-го борта залива содержание взвеси выше, чем у северного борта, как в поверхностном, так и придонном горизонте. Это может быть вызвано действием силы Кориолиса на воды поступающие в залив из салмы Большой Керетский рейд. В салме воды обогащены ВВ, так как она соединяется с губой Кереть, куда впадает крупнейшая в районе одноименная река (Долотов и др., 2002). В узкой прибрежной полосе губы Чупа концентрации взвеси не опускаются ниже 0.55 мг/л, а в осевой – не превышают 1.5 мг/л (Митяев, Герасимова, 2010а). Изменение содержания ВВ в латеральном направлении происходит не только при удалении от береговой линии, но и при изменении солености морской воды.

Внутри водной толщи ВВ распределено так же неравномерно. Наиболее часто встречаются два типа распределения ВВ по вертикали. Первый тип – постепенное увеличение концентраций взвеси с глубиной (разновидность данного типа: равномерное распределение ВВ в фотическом слое с возрастанием его в придонном слое). Второй тип – снижение концентрации ВВ от поверхности к термоклину, с последующим резким увеличением содержания ВВ в придонном слое (разновидность данного типа: в придонном горизонте содержание ВВ не изменяется или увеличивается незначительно по сравнению с содержанием на термоклине). В губе Чупа в летне-осенний период наблюдался только второй тип распределения ВВ по вертикали водного столба. Первый тип распределения наблюдался в зимний период.

Подобное распределение ВВ по вертикали свидетельствует об отсутствии концентрации частиц на скачке плотности воды. В губе Чупа в летне-осенний период

постоянно существует стратификация водной толщи, наиболее характерен термоклин, который постепенно повышается с 20–15 м в начале лета до 5–10 м в сентябре, в конце осени устанавливается гомотермия водного столба (Бабков, 1998). Отбор проб воды над термоклинном показал, что на нем концентрирование ВВ не происходит, хотя нередко наблюдается увеличение содержания ВОВ. Можно предположить, что концентрирование ВВ на скачке плотности это характерная особенность открытых морских акваторий, где в составе ВВ резко доминирует автохтонное ОВ, в заливах, где в составе ВВ преобладают (в весовом отношении) литогенные частицы, максимальные концентрации ВВ приурочены к поверхностному и придонному слоям воды.

Запас ВВ («валовой») в толще воды определяется тремя факторами: концентрацией ВВ, вертикальным распределением ВВ и глубиной моря. Главным, а подчас и просто определяющим фактором выступает глубина моря. В общей картине распределения запаса взвеси, следует отметить следующее: всегда максимальный запас ВВ приурочен к глубоководной части залива. В латеральном направлении, запас ВВ изменяется от сотен миллиграммов в прибрежной зоне, до десятков грамм в осевой части залива. В губе Чупа запас ВВ не превышает 80 г/м². Сравнение запаса ВВ с веществом осевшим в седиментационных ловушках, позволяет оценить долю ВВ участвующую в вертикальном потоке. В губе Чупа более 80% ВВ не участвует в вертикальном потоке, но выносится ли оно из залива? Расчет «чистого» запаса ВВ в придонном горизонте и горизонтального потока ВВ под действием приливно-отливных течений позволяет оценить количество ВВ перемещающегося вглубь заливов в приливную фазу и в сторону открытой акватории моря в отливную фазу. В губе Чупа постоянно в латеральных направлениях перемещается 64–65% ВВ. За полный приливно-отливный цикл, в сторону открытой акватории моря из губы Чупа перемещается 22–25% от общего запаса ВВ. Таким образом, за сутки осаждается и выносится из губы Чупа более четверти (25–28%) валового запаса ВВ.

Имеющиеся данные позволяют оценить межгодовые изменения летнего периода. В губе Чупа средние концентрации ВВ в период июнь–август составляли в 2009 г. – 0.88 ± 0.03 ($n = 57$), в 2010 г. – 0.69 ± 0.04 ($n = 33$), в 2011 г. – 0.77 ± 0.08 ($n = 21$), в 2012 г. – 0.83 ± 0.06 ($n = 30$). Межгодовое изменение среднего содержания взвеси в летний период не превышает 30%. Так же можно оценить межгодовые изменения осеннего периода. Средние концентрации взвеси в период сентябрь–октябрь составляли в 2009 г. – 0.65 ± 0.04 ($n = 13$), в 2010 г. – 0.66 ± 0.07 ($n = 12$), в 2011 г. – 0.68 ± 0.06 ($n = 12$) в 2012 г. – 0.81 ± 0.08 ($n = 18$). Таким образом, межгодовые изменения содержания взвеси в осенний период менее 20%, а в течение 3 лет не превышали 5%.

Для губы Чупа можно отметить снижение средних концентраций ВВ от начала летнего сезона до конца осеннего сезона. Минимальные содержания взвеси наблюдаются зимой в подледных условиях, а максимальные весной в период схода снежного покрова с суши и льда в море. Более высокие содержания ВВ летом, по сравнению с осенним сезоном, вероятно связаны как с погодными условиями (в первую очередь сменой преобладающих направлений ветра с нагонных, на сгонные), так и с летним цветением планктона (Бабков, 1998, Долотов и др., 2004, Лукашин и др., 2003, Медведев, Кривоносова, 1968, Митяев, Герасимова, 2010).

В губе Чупа в летне-осенний период среднее изменение концентрации ВВ за сутки (в абсолютных значениях) составляет $19 \pm 2.7\%$ ($n = 47$) (несколько выше в летние месяцы – $20 \pm 3.5\%$ ($n = 35$), чем в осенние – $16.5 \pm 2.9\%$ ($n = 12$)). Вероятность (p) изменения концентрации ВВ на 0–27% в губе Чупа составляет 0.926, наиболее часто содержание изменяется на 3–12% ($p = 0.489$). Изменения содержания ВВ более чем на 35% события единичные (особенно в осенние месяцы) и вызваны погодными аномалиями.

Анализ полученных данных позволяет утверждать, что одним из основных факторов влияющим на изменение содержания ВВ в губе Чупа, за сутки, являются приливно-отливные течения. В отливную фазу концентрация ВВ в среднем повышается на $17.8 \pm 5.6\%$ ($n = 23$), в фазу прилива в среднем уменьшается на $8.2 \pm 4.0\%$ ($n = 24$). Повышение концентрации ВВ происходит быстро, часто скачкообразно, а снижение постепенно.

Не менее интенсивные, а порой и более значительные изменения концентрации ВВ в одной и той же точке залива происходят за половину фазы прилива и отлива. В летне-осенний период, среднее короткопериодическое изменение концентрации ВВ по всей толще воды составляет $17.2 \pm 2.3\%$ ($n = 30$). Вероятность короткопериодического изменения концентрации ВВ на 0–32% составляет 0.867, наиболее часто содержание ВВ изменяется на 2–10% ($p = 0.497$). Изменение содержания ВВ более чем на 35% события единичные. Если определить среднее изменение содержания взвеси с учетом повышения (+) и понижения (–) значений, то оно составит $0.4 \pm 4.0\%$ ($n = 30$), то есть, концентрация взвеси за 12–24 часа практически не изменялась. В поверхностном горизонте воды среднее короткопериодическое изменение содержания ВВ составляет $15.8 \pm 3.8\%$ ($n = 10$), с учетом повышения и понижения значений $0.3 \pm 6.8\%$. В фазу отлива $+0.7 \pm 9.7\%$ ($n = 6$), и – $0.2 \pm 12.3\%$ ($n = 4$) в фазу прилива. На глубине 15 м – $19.0 \pm 3.9\%$ ($n = 10$), с учетом повышения и понижения значений $3.9 \pm 7.6\%$. Фаза отлива $+9.7 \pm 7.7\%$ ($n = 6$), фаза прилива – $-4.8 \pm 12.3\%$ ($n = 4$). В придонном горизонте – $16.9 \pm 5.0\%$ ($n = 10$), с учетом повышения и понижения значений $-3.1 \pm 7.7\%$. Фаза отлива $+5.3 \pm 11.3\%$ ($n = 6$), фаза прилива – $-15.6 \pm 8.1\%$ ($n = 4$). Необходимо отметить, что в июне не наблюдалось одновременных увеличений или понижений содержания ВВ на всех горизонтах, а в сентябре все изменения были синхронными.

Таким образом, в губе Чупа самые незначительные изменения содержания ВВ наблюдаются в поверхностном горизонте воды. В фазу отлива на всех горизонтах содержание ВВ повышается, в фазу прилива □ понижаются. За 12 часов в поверхностном горизонте воды содержание ВВ практически не изменяется, на глубине 15 м незначительно увеличивается, и почти настолько же снижается в придонном горизонте. В июне средние короткопериодические изменения содержания взвеси – $16.2 \pm 2.9\%$ ($n = 21$), с учетом повышения и понижения значений $+2.1 \pm 4.7\%$ ($n = 20$), в сентябре – $19.7 \pm 4.3\%$ ($n = 9$) и $-3.7 \pm 8.4\%$ ($n = 9$) соответственно. Таким образом, основное отличие короткопериодических изменений содержания ВВ в июне от изменений в сентябре следующее: в июне концентрация ВВ постепенно повышалась, в сентябре – понижалась.

Таким образом, внутри залива ВВ распределено неравномерно, как на акватории, так и в толще воды, а его содержание постоянно изменяется во времени. В латеральном направлении, различие в содержании ВВ внутри залива не редко дос-

тигают одного порядка, в толще воды – изменяются в 1.5–2 раза, редко более. Высокие содержания ВВ приурочены к бортам залива и зонам смешения вод разного генезиса, а так же к придонному, реже поверхностному горизонту воды. Постоянные временные изменения содержания ВВ фиксируются на всех уровнях, от короткопериодических изменений до межгодовых различий.

Анализ гидрологических и метеорологических факторов, влияющих на временные изменения содержания ВВ, показал, что универсальным фактором являются приливно-отливные течения. В прилив содержание ВВ понижается, а в отлив – увеличивается. Выявлена сильная обратная корреляционная связь содержания ВВ с соленостью морской воды (-0.63 ($n = 62$), коэффициент корреляции Спирмана (гсп), уровень значимости (p) 0.99). Соленость морской воды фактор, действующий не однонаправлено, он влияет на содержание ВВ в поверхностном горизонте, где изменения солености явление регулярное. Третий фактор – температура воды. Выявлена положительная корреляционная связь содержания ВВ с температурой морской воды (гсп $= 0.53$ ($n = 62$), $p = 0.99$). На всех горизонтах в губе Чупа содержание ВВ зависит от температуры морской воды (гсп от 0.55 до 0.59 ($n = 12$), $p = 0.95$). Четвертый фактор – скорость ветра. В губе Чупа содержание ВВ имеет отрицательную корреляционную связь со скоростью ветра (гсп $= -0.37$ ($n = 50$), $p = 0.99$). Скорость ветра влияет на содержание ВВ в фотическом слое воды ($0-15(20)$ м). Пятый фактор – количество атмосферных осадков. В губе Чупа выявлена слабая положительная корреляционная связь содержания ВВ и количества атмосферных осадков (гсп $= 0.22$ ($n = 50$), $p = 0.95$).

Авторы благодарят заведующих ББС «Картеш» В.Я. Бергера и А.А. Сухотина за возможность работать на биостанции, Е.И. Лихареву за помощь в проведении полевых работ. Авторы благодарны академику Г.Г. Матишову и профессору П.Р. Макаревичу за научную поддержку, В.П. Шевченко за ценные консультации.

ВКЛАД МОРСКИХ И КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ В СОСТАВ АТМОСФЕРНЫХ ВЫПАДЕНИЙ НА ОСТРОВНОЙ ЧАСТИ БЕЛОГО МОРЯ

Т.Т. Горбачева, С.И. Мазухина

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем
промышленной экологии Севера Кольского научного центра Российской академии наук,
Апатиты, Россия, e-mail: gorbacheva@inep.ksc.ru*

Тенденции увеличения уровня загрязнения морских экосистем, отмечаемые в настоящее время, определяют необходимость оценки их современного состояния и прогноза экологической ситуации с целью нормирования антропогенного воздействия на морскую среду. Целью данной работы являлась оценка вклада морских и континентальных источников в состав атмосферных осадков в виде дождя в зоне совокупного влияния морских аэрозолей и аэротехногенной нагрузки (на примере островной части Белого моря).

В июне 2001 г. на островной части Кандалакшского залива Белого моря (о. Тонная Луда; 67°06'60''N; 32°24'12''E) были заложены площадки интенсивного мониторинга с установкой стационарных осадкоприемников. Согласно классификации Бреслиной (1987), основанной на литолого-геоморфологических характеристиках и структуре растительного покрова, *лудой* называется залесенный остров с неизрезанной береговой линией и узкой прибрежной полосой с приморской луговой растительностью. Луды как острова морского ряда формируются на скальных породах в условиях открытого моря. Микроклиматические особенности на них проявляются в повышении влажности, более низкой температуре и сильных порывистых ветрах.

Выбор мониторинговой площадки и размещение на нем оборудования проводены согласно Руководству по методам и критериям согласованного отбора проб, оценки, мониторинга и анализа влияния загрязнения воздуха на леса в рамках Международной программы ICP-forests (<http://www.icp-forests.net>). Осадкоприемники дождевых вод представляли собой трубы из поливинилхлорида черного цвета, диаметр трубы составлял 14.5 мм, что соответствовало площади водосбора 0.0165 кв.м. Внутри трубы помещался полиэтиленовый пакет вместимостью до 3 литров, закрепляемый специальным колпаком. Поверхность трубы перед креплением колпаком покрывалась съемной мелкоячеистой сеткой из синтетического материала для предотвращения попадания растительного опада, насекомых и прочих крупнодисперсных частиц. Минимально допустимое число осадкоприемников на одной мониторинговой площадке – 6 (по три повторности на открытом месте и по три – в подкроновых пространствах).

Отбор дождевых вод проводился ежемесячно в течение вегетационного периода 2001 и 2002 гг. Первый отбор проб был произведен в августе 2001 г. – через месяц после стационарной установки оборудования для пробоотбора, последний – в сентябре 2002 г. В полевых условиях с помощью пластиковой мерной посуды измерялся объем дождевых вод, скопившихся в осадкоприемнике за месячный период, затем отбиралась аликвотная часть пробы (250–300 мл) для проведения химического анализа. В день поступления проб в лабораторию определяли pH вод потенциометрическим методом без предварительной фильтрации. Хранение проб осуществлялось в морозильной камере при –18 °C. После размораживания каждая

проба аналитической партии фильтровалась через бумажный фильтр «синяя лента» (диаметр пор 1–2.5 мкм). Анализ фильтрата проводили методами атомно-эмиссионной (K, Na) и атомно-абсорбционной (Ca, Mg, Zn, Mn, Cu, Ni, Al, Fe) спектрометрии, общего P, P фосфатов, Si и NH_4^+ – методом фотоколориметрии, общего углерода – бихроматным методом; анионный состав вод, включающий NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , – методом ионообменной хроматографии.

Оценка влияния морских аэрозолей на состав атмосферных выпадений проводилась на основе сравнения с межрегиональным или глобальным фоном, определенным в работе Свистова и др. (2009) по многолетним данным о химическом составе осадков на станциях фонового мониторинга на территории РФ. За региональный фоновый состав осадков принимается диапазон минерализации 3–7 мг/л с верхним пределом 12.5–15 мг/л. Концентрация хлорид-ионов на фоновых станциях РФ не выходит за пределы 0.5–1.2 мг/л, доля осадков с $\text{pH} \leq 5.0$ не превышает 15% общего числа измерений. Максимальные фоновые значения средневзвешенных концентраций катионов и анионов по территории РФ составляют: NH_4^+ – 0.64 мг/л; Na^+ – 1.14 мг/л; K^+ – 0.51 мг/л; Ca^{2+} – 1.38 мг/л; Mg^{2+} – 1.62 мг/л; SO_4^{2-} – 3.25 мг/л; NO_3^- – 2.28 мг/л. Мониторинг содержания тяжелых металлов (ТМ) в осадках не ведется.

Средние значения минерализации атмосферных осадков, отобранных на о.Тонная луда, составляли 5.2 мг/л, что соответствует фоновым значениям. Максимальные значения минерализации (8.7 мг/л) отмечены в июле 2002 г, что также не выходит за верхний предел фоновых значений. Средние ($n = 15$) концентрации основных ионов за период исследования также не превышали фоновые значения: NH_4^+ 0.41 мг/л; K^+ 0.26 мг/л; Ca^{2+} 0.77 мг/л; Mg^{2+} 0.22 мг/л; SO_4^{2-} 1.90 мг/л; NO_3^- 0.16 мг/л. Концентрация Cl^- в атмосферных выпадениях варьировала в пределах 0.5–3.4 мг/л, что указывает на возможное превышение фонового уровня в 2.5–3 раза. Концентрации Cl^- в атмосферных выпадениях тесно коррелировали с концентрациями Na ($r = 0.85$; $n = 15$). Отношение нормальных концентраций Na/Cl, близкое к 1, указывает на морское происхождение этих ионов в составе дождевых вод (Clarke et al., 2008). Концентрации K, Ca, Mg, а также сульфат-ионов, хотя и не выходили за рамки измерений на фоновых станциях РФ, но существенно превышали фоновые значения, отмеченные на отдаленных от моря территориях, что указывает на их возможное происхождение как из антропогенных источников, так и из морских аэрозольных частиц. Максимальные значения концентраций Sr более чем на 2 порядка превышали фоновые, а общего фосфора – в 4 раза, что также позволяет предполагать влияние различных источников на их содержание в дождевых водах.

В отношении содержания ТМ и Al, являющихся одними из основных компонентов выбросов региональных точечных источников, в качестве контрольных параметров были использованы опубликованные результаты определения состава атмосферных выпадений в виде дождя в отдаленных от моря районах Финляндии (Reimann et al., 1997)., принимаемые авторами данной работы за региональный фон. Нами отмечено превышение концентраций Al, Cu, Ni, Cd, Co на порядок по сравнению с фоновыми значениями, что указывает на совокупное влияние выбросов медно-никелевого, алюминиевого и других производств, расположенных в регионе. В Мурманской области сосредоточены крупнейшие в стране предприятия

цветной металлургии: Кольская ГМК, Кандалакшский алюминиевый завод; черной металлургии: ОАО «Олкон» и ОАО «Ковдорский ГОК»; химической промышленности: ОАО «Апатит». Согласно опубликованным данным, в конце двадцатого века на поверхность Белого моря выпадало 4–6% их годовой эмиссии промышленными предприятиями Мурманской области (Виноградова и др., 2008). Всего в Мурманской области в 2002 г. насчитывалось 5.5 тыс. источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников и автотранспорта в регионе за период исследования составили около 523.2 тыс. тонн, в том числе сажи 7.7 тыс.т, диоксида серы 249.4 тыс. т, окиси углерода –154.2 тыс. т, окислов азота 38.0 тыс. т, углеводородов – 28.5 тыс. т, прочих – 2.5 тыс. т (Доклад..., 2002). Средние содержания ТМ (Zn, Pb, Mn), являющихся незначительной частью примесей в выбросах медно-никелевого производства, в атмосферных выпадениях на исследуемой территории не выходили за пределы фоновых значений. Концентрации Fe и Si, относящихся к типоморфным почвенным элементам, соответствовали фоновым значениям, что свидетельствует о стабильности почвенного покрова на острове и отсутствии пыления.

Для оценки вклада морских и континентальных источников в состав атмосферных выпадений используются различные методики, основанные на сопоставлении с исходным составом морской воды. Практически все они основаны на том допущении, что Na^+ в составе атмосферных выпадений, подверженных действию морских аэрозолей, имеет происхождение из морской воды. Как показано выше, отношение нормальных концентраций Na/Cl в исследованных нами водах, близкое к 1, указывает на морское происхождение этих ионов в составе дождевых вод, что позволяет признать такое допущение обоснованным. В данной работе мы применяли метод оценки, приведенный в работе Riley (1975). Для определения вклада в ионный состав атмосферных выпадений континентальных и морских источников используются долевые факторы FM_{cont} и FM_{ocean} , где FM_{cont} – доля массовой концентрации ионов континентального происхождения, а FM_{ocean} – доля массовой концентрации ионов, имеющих происхождение из морской воды. Эти два фактора связаны соотношением $\text{FM}_{\text{cont}} + \text{FM}_{\text{ocean}} = 1$.

Фактор FM_{ocean} i -компонента вычисляется по формуле:

$$\text{FM}_{\text{ocean}} = k_i M_x / M_i, \text{ где}$$

M_i – концентрация i -компонента в составе атмосферных выпадений;

M_x – концентрация Na^+ в составе атмосферных выпадений;

$k_i = M_{\text{iw}} / M_{\text{xw}}$ – отношение концентрации i -компонента к концентрации Na^+ в морской воде.

Коэффициент k_i определялся по результатам анализа вод Белого моря, отобранных в районе устья р. Лувеньга в январе 2012 г. в рамках исследования пространственного варьирования гидрохимических показателей на мелководьях вершины Кандалакшского залива (Хайтов и др., 2012). Координаты точек отбора $67^{\circ}06'46,72''\text{N}$; $32^{\circ}38'39,18''\text{E}$ и $67^{\circ}05'47,74''\text{N}$; $32^{\circ}42'18,85''\text{E}$. Отбор проб морской воды в зимний период позволил избежать существенного влияния процесса распреснения на ионный состав за счет речных вод. Об этом свидетельствует сопоставимость рассчитанных нами коэффициентов с коэффициентами, рассчитанными по данным для океанических вод (Бруевич, 1948; Химия морей и океанов, 1995).

Полученные нами результаты указывают на существенный вклад морских аэрозолей в формирование основного ионного состава атмосферных выпадений в виде дождя на островной части Белого моря. Максимальный вклад ионов морского происхождения отмечен для Mg (среднее 31% ($n = 15$), максимум 46%) и SO_4^{2-} (среднее 20% ($n = 15$), максимум 31%). Далее следуют K (9%), Ca (4.6%), Ni (1.5%), Si (0.8%), NH_4^+ (0.5%), Mn (0.3%), Al, Fe и Cu (по 0.2% на каждый элемент). Происхождение в дождевых водах таких ТМ, как Cd, Pb, Cr, Co однозначно можно отнести к антропогенным источникам (вклад > 99.8%). Неожиданно низким оказался вклад морских аэрозолей в концентрации компонентов, потенциально характеризующих водорастворимое органическое вещество: Собщ (0.003%) и Робщ (0.004%). Согласно сделанным предположениям, это связано с хорошо известным фактом доминирования взвешенной формы органического вещества в составе морских аэрозолей, основная часть которой исключается из рассмотрения в условиях пропускания вод через фильтр.

В целях прогнозирования направления трансформации атмосферных выпадений при возможном усилении аэротехногенной нагрузки нами применен метод физико-математического моделирования ионного состава вод с использованием программы Селектор. Данная программа успешно опробована нами в прежних работах в отношении прогнозирования распределения ТМ и АІ по формам миграции в водах Кандалакшского залива (Хайтов и др., 2012). В состав модели добавлены термодинамические параметры органических соединений, наиболее значимых в составе атмосферных выпадений, в частности, низкомолекулярных алифатических кислот. Результаты моделирования свидетельствуют о доминировании простых катионных форм ТМ, связанных с анионами как минеральных, так и органических кислот, что предполагает их высокую лабильность и потенциальную токсичность для гидробионтов Белого моря.

Полевые работы проведены под руководством и при непосредственном участии проф. Никонова В.В. и д.б.н. Лукиной Н.В. Авторы выражают искреннюю признательность заместителю директора Кандалакшского заповедника Корякину А.С. за всестороннюю техническую поддержку в ходе проведения исследовательских работ.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ И ПОПУЛЯЦИОННО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ У АККЛИМАТИЗИРОВАННОЙ В БАССЕЙНЕ БЕЛОГО МОРЯ ГОРБУШИ

Н.В. Гордеева¹, Е.А. Салменкова¹, С.В. Прусов²

¹ *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова Российской академии наук, Москва, Россия, e-mail: ribka04@mail.ru;*

² *Федеральное государственное унитарное предприятие «Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича», Мурманск, Россия*

Акклиматизация тихоокеанского лосося горбуши в бассейне Белого моря представляет уникальный материал для исследования вопросов комплексных адаптаций анадромных лососевых, попытки трансплантаций которых, как правило, оказывались безуспешными (Ricker 1972; Withler 1982; Narache 1992), в основном, из-за чувствительности к пресноводным условиям воспроизводства. Интродукции горбуши в 1956–1979 гг., проводившиеся преимущественно из южных популяций Дальнего Востока, потерпели неудачу (Карпевич и др., 1991) из-за того, что вселенцы, унаследовавшие сроки размножения от родительских популяций, нерестились слишком поздно и развивающаяся икра в массе погибала с наступлением холодов (Дягилев, Маркевич, 1979). В дальнейшем, выбор в качестве донора более северной популяции р. Олы (Магаданская обл.) подтвердил наличие наследственно закрепленных локальных адаптаций горбуши к термическому режиму в нерестовых реках. Интродукция из р. Олы в 1985 г. положила начало успешно воспроизводящейся популяции линии нечетных лет (у горбуши, из-за строго двухлетнего жизненного цикла однократного нереста, популяции, размножающиеся в четные и нечетные годы, представляют собой репродуктивно изолированные линии). Иная картина наблюдается с акклиматизацией четной линии – после интродукций из р. Олы численность её быстро сократилась в первом же поколении и в настоящее время в четные годы в реки заходит незначительное количество производителей. В наших предыдущих работах с использованием комплекса морфологических и репродуктивных признаков, параметров жизненного цикла, а также генетических маркеров, имеющих различную селективную ценность, удалось показать существенные изменения во внешней морфологии, плодовитости, жизненном цикле, а также в популяционно-генетических характеристиках вселенцев по сравнению с донорской популяцией (Гордеева и др., 2003; 2005; 2006; Gordeeva, Salmenkova, 2011). Кроме того, были проанализированы причины большего успеха нечетной линии и предложен способ восстановления поколения четных лет в бассейне Белого моря (Гордеева, 2010).

Настоящая работа продолжает мониторинг биологических и популяционно-генетических показателей у акклиматизированной горбуши линии нечетных лет. Материал был собран в 2011 г. в течение нерестового хода горбуши в р. Умбу (72 экз.) и в 2012 г. в ходе ската молоди из рек Индера (100 экз.) и Поной (66 экз.) (Терский берег Кольского п-ва). Методики анализа материала подробно описаны ранее (Зубченко и др., 2004; Gordeeva, Salmenkova, 2011).

Новые наблюдения показывают, что сроки хода и ската в отдельных реках не меняются. Начало нерестовой миграции и пик её, как правило, сдвинуты на более ранние сроки, чем в родительской популяции р. Олы. За период с 1987 по 2011 гг. в течение нерестового хода в реку Умбу было отмечено существенное преобладание самок (58.5–77.5%), тогда как среднемноголетняя доля самок в популяции р. Олы составляет 53% (Голованов, 1982). Такое неравновесие, по всей видимости, отражает неблагоприятные условия воспроизводства популяции; в естественных популяциях горбуши увеличение доли самок обычно наблюдается в периоды депрессии (Голованов, 1982; Чебанов, 1991). Скатывающаяся молодь в среднем оказывается крупнее, чем в р. Оле; скорее всего, размеры молоди определяются возможностью нагула в отдельных реках нового ареала. У производителей горбуши в шести исследованных поколениях из р. Умбы происходит снижение веса до значений, характерных для популяции р.Олы (рис. 1). Несмотря на это, коэффициент корреляции линейных и весовых показателей у умбской горбуши значимо выше ольской (0.910 против 0.817; t -тест $P = 0.0071$), что свидетельствует о более высоких темпах весового роста в новом ареале. Дисперсия и средние значения рассчитанных коэффициентов упитанности по Фультону между ольской и умбской горбушей также различались высоко значимо. Таким образом, наши данные указывают на хорошие кормовые условия для вселенцев, а снижение размеров производителей за последние поколения может указывать не на их ухудшение, а скорее на сокращение времени нагула.

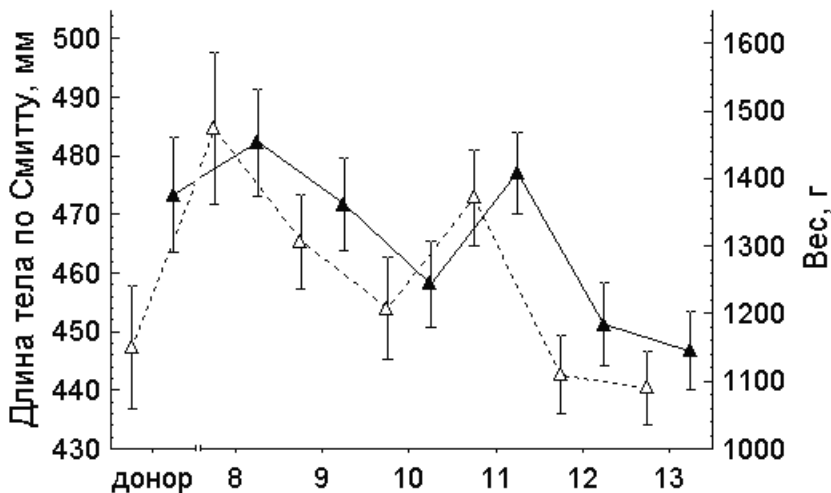


Рис. 1. Длина (черные треугольники – среднее значение с 95% доверительным интервалом) и масса тела (белые треугольники) у производителей горбуши р. Умбы в 2001–2011 гг. (поколения 8–13 от г. интродукции). Приведены также среднемноголетние показатели у горбуши донорской популяции р. Олы (Марченко и др., 2004)

Несмотря на заметное снижение веса самок в р. Умбе, скоррелированная с ним абсолютная плодовитость существенно не изменилась. В пяти исследованных поколениях варiances и средние значения плодовитости колебались незначимо, за

исключением выборки 2005 г. Кроме того, на протяжении всего периода наблюдений оставались стабильными дисперсии и средние значения гонадо-соматического индекса (рис.2).

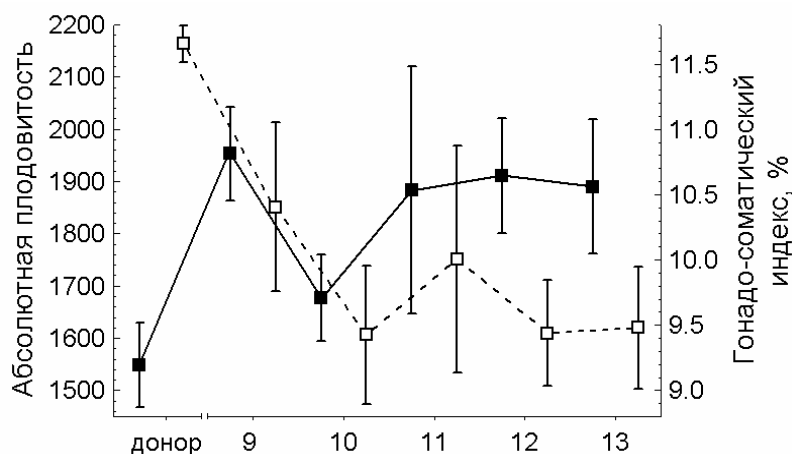


Рис. 2. Динамика средней абсолютной плодовитости (черные квадраты – среднее значение с 95% доверительным интервалом) и гонадо-соматического индекса (белые квадраты) у самок горбуши в р. Умбе в 2003–2011 гг. (поколения 9–13 от г. интродукции). Приведены также среднемноголетние показатели у горбуши донорской популяции р. Олы (Марченко и др., 2004; Волобуев и др., 2005)

В среднем за пять поколений плодовитость самок горбуши из р.Умбы оказалась выше среднемноголетней плодовитости ольской горбуши на 20.5%, тогда как масса гонад стала меньше на 18%. Увеличение плодовитости у лососевых связывают с хорошими условиями нагула (Bromage et al., 1992; Jonsson et al., 1996). Одновременное снижение массы гонад означает уменьшение энергетических затрат на генеративный обмен; сходная картина может наблюдаться в случае увеличения продолжительности преднерестовых анадромных миграций (Beacham, Muttay, 1993; Kinnison et al., 2001).

Оценки генетической изменчивости (аллельного разнообразия и гетерозиготности микросателлитных маркеров) у вселенцев остаются стабильно низкими на протяжении шести поколений. Как можно видеть на рис. 3, генетическая дивергенция вселенцев от популяции-донора со временем увеличивается, при этом внутри ареала наблюдается локальная дифференциация (обособление выборок р. Сояны Мезенского берега Белого моря). Вычисленные разными способами оценки генетически эффективной численности (т. е. числа особей, передающих свои гены следующему поколению) оказались невелики: в р. Умбе (за шесть поколений) 48–59 особей, в р. Сояне (за 2 поколения) 15–20 особей, в р. Индере (за четыре поколения) 60–69 особей.

Таким образом, наши данные свидетельствуют о благоприятных условиях для роста вселенцев в новом ареале. В то же время небольшие эффективные численности при увеличении репродуктивного потенциала сформировавшихся популяций, подразумевают достаточно напряженные условия воспроизводства, и, скорее

всего, дифференциальную выживаемость потомства отдельных семей. Наблюдается увеличение генетической дивергенции вселенцев, связанной с сокращением генетической изменчивости. Все вместе указывает на направленные процессы адаптации к новым условиям.

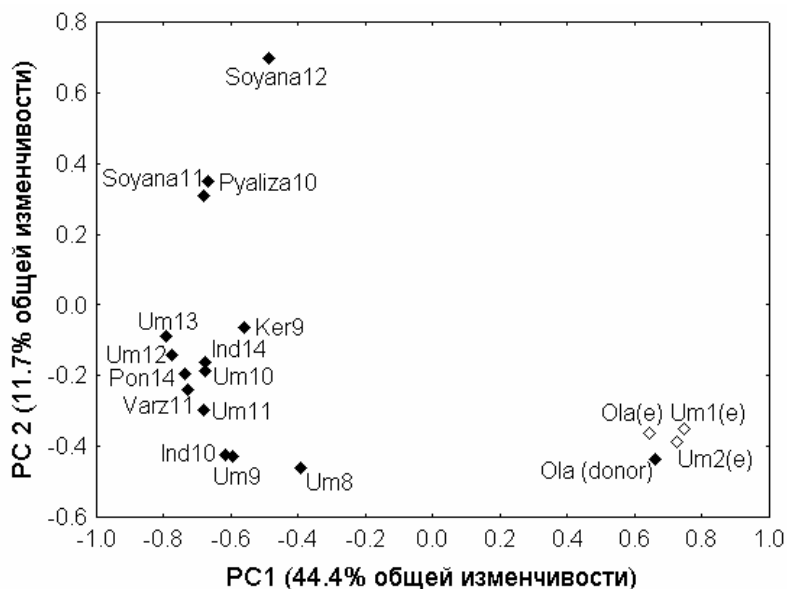


Рис. 3. Локализация выборок акклиматизированной горбуши и донорской популяции р. Олы (Магаданская обл.) согласно оценкам генетических угловых расстояний (хорд-дистанций; Cavalli-Sforza, Edwards, 1967) в пространстве главных компонент. Черные ромбы – линия нечетных лет нереста, белые ромбы – линия четных лет. Цифры означают номер поколения от г. интродукции (1985 г. для линии нечетных лет, 1998 г. для линии четных лет). Обозначения рек: Um – Умба, Var – Варзуга, Ker – Кереть, Ind – Индера, Pon – Поной, Pyaliza – Пялица, Soyana – Сояна, Ola – Ола

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 10-04-00866) и Президиума РАН (Программа «Живая природа»).

**СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ СТАТУС БАКТЕРИАЛЬНОГО СИМБИОНТА
БЕЛОМОРСКОЙ ГУБКИ *HALISARCA DUJARDINI*
(PORIFERA, DEMOSPONGIAE)**

А.А. Гудкова, А.Э. Вишняков

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет»,
Санкт-Петербург, Россия, e-mail: alina.goudkova@gmail.com*

Губки (Porifera) – уникальная группа многоклеточных беспозвоночных животных, у всех представителей которой имеются симбиотические бактерии, более или менее равномерно распределённые по всему телу.

Наличие у губок бактериальных симбионтов было показано с помощью электронной микроскопии ещё в 70-х годах XX в. Молекулярно-филетический анализ, проведённый целым рядом исследователей в 2000-х, выявил кластеры бактериальных штаммов, специфичные для отдельных семейств губок. Впоследствии большинство из этих штаммов были обнаружены в пробах морской воды из соответствующих местообитаний (N. S. Webster et al., 2009), однако есть цитологические и молекулярно-биологические свидетельства вертикальной передачи симбиотических бактерий от материнских особей губок дочерним, что трактуется как поддержание симбиоза.

Актуальность настоящей работы, посвящённой первичной характеристике бактериального симбионта беломорской губки *Halisarca dujardini*, обусловлена несколькими причинами. Во-первых, несмотря на то, что морфологические и молекулярно-биологические исследования к сегодняшнему дню охватывают большое число видов морских губок, среди изученных преобладают губки тропического и субтропического поясов, в то время как губки умеренных широт редко являются объектами исследования.

Во-вторых, в морских губках в большинстве случаев обнаруживается несколько видов симбионтов, и для изучения симбиоза с каждым из видов требуется предварительное определение не только всего видового состава симбиотических бактерий, но и экологических и метаболических взаимоотношений между ними, что сопряжено с рядом методологических трудностей. По этой причине губки, в которых показан один вид симбиотических бактерий, представляют особый интерес, являясь оптимальной моделью для изучения симбиоза.

Ещё одна причина, обуславливающая актуальность темы, связана с тем, что ареалы обитания большинства губок достаточно широки и содержат естественные преграды, создающие обособленные друг от друга популяции губок одного вида. Сравнение видового состава и генотипов бактериальных симбионтов в таких популяциях представляет интерес как с точки зрения эволюции симбиоза губок и бактерий, так и с точки зрения влияния факторов внешней среды на видовой состав симбионтов губок и на жизнедеятельность последних.

Морская губка *Halisarca dujardini* (Johnston, 1842) встречается преимущественно на глубине 1–20 метров в бассейнах умеренных широт: в Северной Атлантике – вдоль европейского побережья от пролива Ла-Манш до Белого моря, а также вдоль атлантического побережья США; в Северной Пацифике – в Беринговом

море, Авачинском заливе и вдоль российского берега Японского моря; в Южной Пацифике – у берегов Новой Зеландии; часть ареала охватывает северо-запад Средиземного моря (Ereskovsky et al., 2011). Основным субстратом для губки служат водоросли *Fucus vesiculosus*, *Fucus serratus*, *Ascophyllum nodosum* и *Laminaria saccharina* (Ereskovsky et al., 2011).

На губках *Halisarca dujardini* из Белого, Баренцева, Японского и Северного морей показано, что в мезохиле встречаются бактериальные симбионты только одного морфотипа, одинакового для губок из перечисленных бассейнов (Ereskovsky et al., 2011). На беломорских губках продемонстрирована вертикальная передача симбионтов от материнских особей дочерним (Ereskovsky et al., 2005).

На сегодняшний день симбиоз губок и бактерий рассматривается как динамическое равновесие между конфликтными и кооперационными взаимоотношениями его участников (Thacker, Freeman, 2012). Динамичность определяется климатическими условиями, доступностью питательных веществ, численностью популяций симбионта и хозяина, взаимоотношениями с другими участниками биоценоза. При изменении этих факторов могут меняться механизмы реализации симбиоза и его исход, то есть, будучи мутуалистическими в одних условиях, взаимоотношения могут трансформироваться в комменсальные или паразитические в других (Thacker, Freeman, 2012).

Губка *Halisarca dujardini* составляет заметную часть биомассы прибрежных акваторий Белого моря и является седиментатором, осуществляющим фильтрацию больших объёмов воды. Выяснение характера её взаимоотношений с симбиотическими бактериями позволит получить дополнительные сведения не только о самой губке, но и, возможно, о её роли в сообществе литорали и литоральном биоценозе, в целом.

В рамках описываемой работы из образца *Halisarca dujardini*, взятого в районе острова Средний Кандалакшского залива Белого моря в июне 2012 г., нами была выделена последовательность бактериальной 16S рПНК с целью предварительного установления систематического статуса бактериального симбионта. Последовательность была просеквенирована с использованием автоматической капиллярной системы MegaBACE 1000 DNA Analysis System (Amersham Biosciences). Результаты секвенирования были загружены в базу данных BLAST (<http://blast.ncbi.nlm.nih.gov>) для проведения сравнительного анализа с имеющимися в базе последовательностями 16S рПНК. Сначала был проанализирован перечень последовательностей с 88 и более процентами гомологии по отношению к последовательности бактериального симбионта, прочтённой в прямом направлении. Из этого перечня были исключены штаммы из наземных местообитаний, а также штаммы, встречающиеся в экстремальных нишах водных биоценозов. Оставшиеся штаммы мы сравнили с теми, которые вошли в перечень последовательностей, высокоомологичных последовательности бактериального симбионта, прочтённой в обратном направлении. В итоговый список высокоомологичных бактериальных штаммов мы включили такие, которые встретились в обоих упомянутых перечнях.

Из 17 штаммов итогового списка 14 (82%) принадлежат к классу Alphaproteobacteria, что позволяет предполагать, что к этому же классу относится

и бактериальный симбионт *Halisarca dujardini*. Из 14 альфапротеобактериальных штаммов 8 (57%) принадлежат к порядку Rhodospirillales, 2 – к порядку Sneathiellales, 1 – к порядку Rhizobiales, для остальных штаммов порядок не определен.

На представителей класса Alphaproteobacteria приходится 7% видового разнообразия симбионтов морских губок (Hentschel et al., 2006). Этот класс представлен микроорганизмами, сильно различающимися своей экологией и метаболическими путями. По этой причине на данном этапе нашего исследования не представляется возможным сделать даже приблизительные предположения относительно роли бактериальных симбионтов *Halisarca dujardini*.

В ходе анализа последовательностей, высокоомологичных последовательности бактериального симбионта *H. dujardini*, были выявлены штаммы, являющиеся симбионтами других беспозвоночных животных. Так, более чем 90%-ную гомологию с последовательностью симбионта *H. dujardini* имеет последовательность 16S рРНК симбионта олигохеты *Inanidrilus leukodermatus* из регионов Бермудских и Багамских островов (Blazejak et al., 2006). Аналогичную степень гомологии демонстрирует последовательность 16S рРНК некультивируемой бактерии, выделенная из глубоководных бентосных фораминифер класса Xenophyophorea.

Остальные штаммы, последовательности 16S рРНК которых высокоомологичны таковой симбионта *Halisarca dujardini*, являются свободноживущими. На 90% идентична последовательности этого симбионта последовательность 16S рРНК штамма нитрифицирующей бактерии *Oceanibaculum indicum* gen. nov., sp. nov. (Q. Lai et al., 2009) из семейства Rhodospirillaceae. Интересно то, что эта бактерия была выделена из вод Индийского океана, не входящего в ареал *H. dujardini*.

91% процент гомологии с последовательностью 16S рРНК бактериального симбионта *H. dujardini* имеет последовательность, выделенная из некультивируемой альфапротеобактерии, встречающейся в арктических осадках (F. Tian et al., 2009).

Из числа культивируемых микроорганизмов наибольшую степень гомологии последовательности 16S рРНК с таковой симбионта *H. dujardini* имеет относящаяся к семейству Rhodospirillaceae бактерия *Pelagibius litoralis*, gen. nov., sp. nov., выделенная из прибрежных вод вдоль восточного побережья Южной Кореи (D. H. Choi et al., 2009).

Упомянутые данные отражают большой географический размах в распределении бактериальных штаммов, высокоомологичных симбионту *H. dujardini* по последовательности 16S рРНК. В этой связи мы в дальнейшем планируем проанализировать эти последовательности у губок *Halisarca dujardini* из других регионов её ареала. Параллельно будут выделены дополнительные образцы из беломорских губок для подтверждения и уточнения полученных результатов. Кроме того, учитывая тот факт, что анализ на основе только лишь 16S рРНК не может дать однозначного результата на уровне вида, мы считаем целесообразным использование и других последовательностей для сравнительного анализа.

Работа поддержана грантом РФФИ № 11-04-01610-а.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАКРОЗООБЕНТОСА У КАРЕЛЬСКОГО БЕРЕГА ОНЕЖСКОГО В КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВОВ

Н.В. Денисенко, К.Л. Биягов

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Зоологический институт
Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: ndenisenko@zin.ru*

Несмотря на длительное и весьма интенсивное изучение зообентоса в Белом море, наши знания об особенностях распределения донных организмов в этом водоеме остаются весьма неполными. Одной из причин отсутствия какой-либо информации для многих участков моря является их недоступность для исследования из-за сложной геоморфологии дна. Если глубоководные районы, более доступные для сбора проб с борта судна, обследовались детально и неоднократно (Кудерский, 1957; Бабков, Голиков, 1985; Белое море... 1995 и др.), то сведений о зообентосе прибрежных отмелей не так много. Наиболее детально изучены мелководья Кандалакшского залива (Голиков и др. 1985; Удалов и др., 2004; Чертопруд и др., 2003; Наумов и др. 2009; Naumov, 2012 и др.). Прибрежье Карельского берега Онежского залива обследовалось мало в связи с его труднодоступностью даже для небольших судов из-за сильной изрезанности рельефа морского дна в большинстве мелких заливов. Комплексные исследования прибрежья Карельского берега, выполненные в начале 2000-х годов, позволили получить сведения об особенностях распределения зообентоса в Кемской губе и оценить влияние разных факторов среды в условиях воздействия интенсивного речного стока (Денисенко, 2009).

Целью настоящей работы является изучение распределения зообентоса на мелководье в шхерных районах Онежского залива и на приглубом открытом побережье Кандалакшского заливов при отсутствии опреснения, а также выявить влияние разных факторов окружающей среды на видовой состав и количественное развитие донной фауны.

Материалом для исследования послужили количественные пробы зообентоса, собранные в ходе комплексной экспедиции в августе 2006 г. на НИС «Эколог» Института водных проблем Севера Карельского научного центра РАН. Зообентос был собран на четырех разрезах, расположенных перпендикулярно к линии берега. В Онежском заливе глубина на большинстве станций была небольшой (от 8 до 25 м), только в одном случае она превышала 50 м. Разрез 4 на открытом участке прибрежья Кандалакшского залива характеризовался резким понижением дна от 8 до 78 м и слабой расчлененностью рельефа. Весь район можно рассматривать как морской, поскольку придонная соленость изменялась от 26.7 до 28.6 ‰. Градиент придонной температуры вдоль разрезов был более значительный. Если в южной части района исследований он составлял в шхерном районе 5 °C от 6.5 до 13.3 °C, в то время как в приглубой части Кандалакшского залива температура менялась от 0.3 до 6.2 °C.

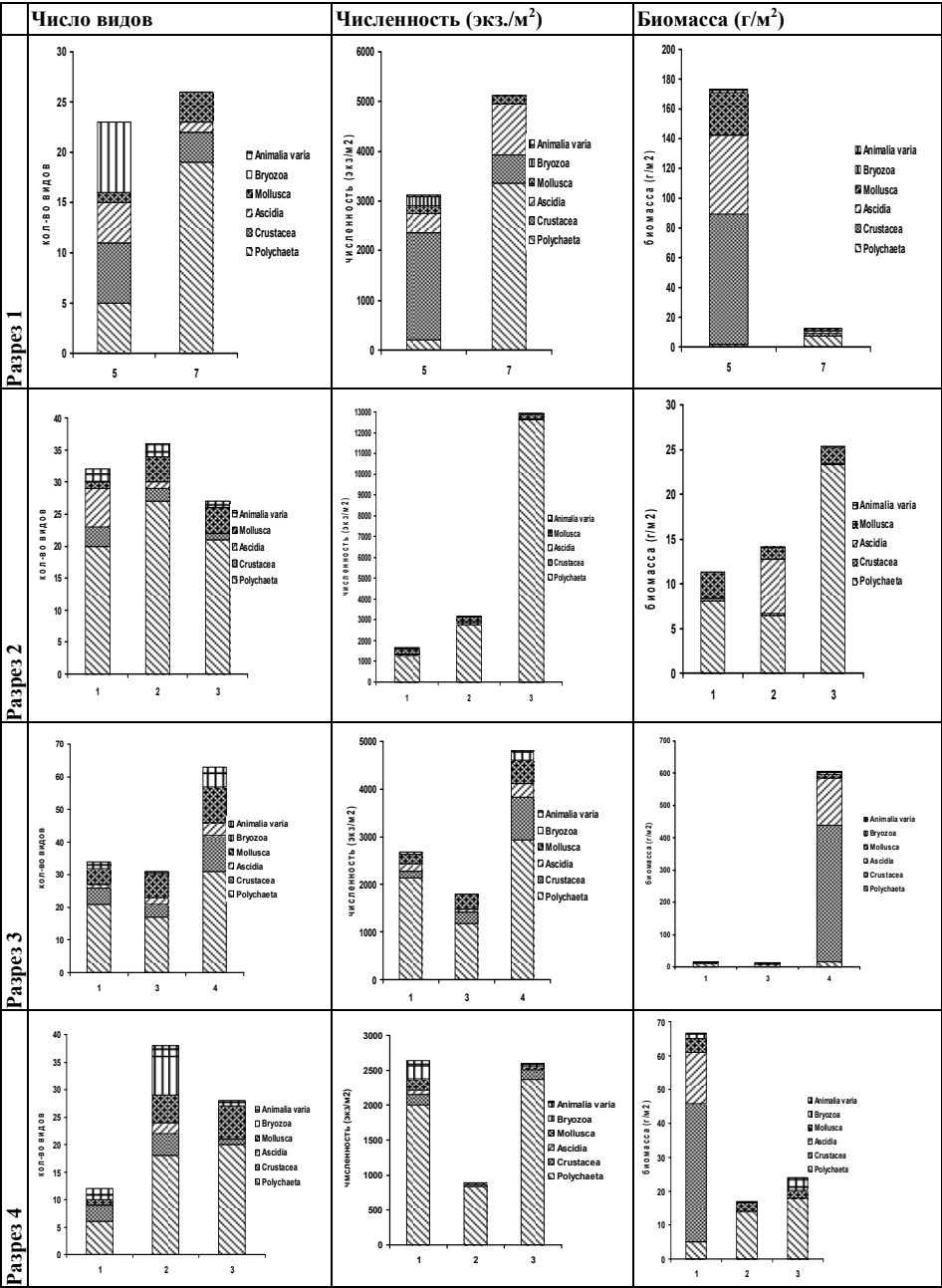
Всего собрано 36 количественных проб на 11 станциях. В приглубых участках пробы отбирали с борта судна, а на мелководье со шлюпки, используя дночерпатель Петерсена с площадью захвата 0.025 м². Пробы промывали на борту судна через капроновое сито с размером ячеек 1 мм и фиксировали 4% формальдегидом, нейтрализованным гексамином. Камеральная обработка заключалась в отделении

животных от остатков грунта, разборки по крупным таксонам и видовой идентификации беспозвоночных. Кроме того, для каждого вида в пробах было подсчитано число особей и определена их масса с точностью до 0.001 г. Для дальнейших расчетов масса животных и их численность были пересчитаны на 1 м².

Видовой состав. В результате выполненных наблюдений обнаружено, что в районе исследования донная фауна представлена 141 видом, относящихся к типично морским организмам. Наиболее разнообразными в видовом отношении были полихеты (68 видов), фауна моллюсков была беднее более чем в два раза (29 видов), ракообразных и мшанок найдено примерно одинаковое число таксонов (19 и 17 видов соответственно), асцидии, гидроиды, иглокожие, немуртины были представлены 1–6 видами. Распределение числа видов было неоднородным не только между разрезами, но и между станциями каждого из разрезов и варьировало от 10 до 65 на разных станциях (рис.). Общей чертой фауны в районе исследования было доминирование полихет, хотя их видовой состав и доля в общей фауне менялись от станции к станции и от разреза к разрезу. В целом по району число видов этой группы в пробах варьировало от 5 до 31 вида. Значительно различался видовой состав и других систематических групп. Максимальное число видов моллюсков и ракообразных было найдено в пробах, собранных на мористых станциях Разрезов 2 и 3 в Онежском заливе (по 11 видов каждой группы). На станциях, расположенных в приглубой зоне Кандалакшского залива, моллюсков найдено почти в два раза меньше (6 видов), а ракообразных – в три раза меньше (4 вида). Бедность фауны мшанок в пробах в районе исследования сопряжена с отсутствием подходящих субстратов и грунтов для развития их колоний. Большинство видов этой группы были найдены только на двух станциях (Станция 5, Разрез 1 и Станция 4, Разрез 3) в количестве 7 и 5 видов соответственно, где отмечалось обилие грубообломочного материала.

Численность и биомасса. Анализ изменений общей численности в поселениях донных беспозвоночных показал, что в районе исследования наблюдается тенденция к увеличению ее значений от побережья к открытым более глубоким участкам дна. В Онежском заливе численность на станциях изменялась от 1612 до 122910 экз./м². Резкое повышение численности, зарегистрированное на Станции 3 разреза 2, совпадает с зоной аккумуляции седиментационного материала. В Кандалакшском заливе колебания общей численности зообентоса были менее значительными от 890 до 2600 экз./м², при этом ее минимальные значения были зарегистрированы на участке дна, где отмечалось резкое понижение температуры (Станция 2 разрез 4) (рис.), что, возможно, связано с сокращением доли тепловодных элементов в фауне. Среди крупных таксонов на большинстве станций по численности доминировали полихеты, составлявшие от 70 до 90% в зависимости от местоположения станции в пределах района исследований. Но в районе с высокой гидродинамикой (Станция 5 Разреза 1) численность полихет была весьма низкой (5% от общего количества животных). На этой станции доминировали усоногие ракообразные, доля которых в общей численности зообентоса превышала 70%.

Общая биомасса зообентоса в районе исследования распределялась также неравномерно как вдоль берега с юга на север, так и по глубинам. Однако тенденция ее увеличения вдоль разрезов от берега к взморью наблюдалась только на двух разрезах (Разрезы 2 и 3), на двух остальных разрезах было зарегистрировано



Пространственная динамика видового богатства, численности (экз./м²)
и биомассы (г/м²) в районе исследования

уменьшение биомассы организмов на более удаленных от берега станциях (Разрезы 1 и 4) (рис.). Сравнительно высокие биомассы отмечали на станциях с доминированием усоногих ракообразных и асцидий (Станция 5, Разрез 1 и Станция 4, Разрез 3) (рис.), где общая биомасса зообентоса превышала 150 и 600 г/м² соответственно. На Станции 1 Разреза 4 общая биомасса зообентоса была также достаточно высока (70 г/м²), там доминировали также ракообразные, но из отрядов Cumacea и Amphipoda. Но на большинстве станций, где по биомассе доминировали полихеты, ее значения были относительно невелики и колебались от 12 до 25 г/м² (рис.).

Как показали расчеты коэффициентов корреляции Пирсона, распределение зообентоса в районе исследования определяется влиянием нескольких факторов. Как видовой состав, так и количественное развитие зообентоса зависят от таких факторов окружающей среды как глубина, температура, скорость течений и связанная с ней структура донных осадков. Кроме того, величины общей биомассы и численности зависят от содержания хлорофилла в придонном слое водной толщи и количества взвеси.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (грант № 06-05-00658).

ПАЗАРИТОФАУНА ХАРИУСА ИЗ БАССЕЙНА РЕКИ С. ДВИНА

Г.Н. Доровских, В.Г. Степанов

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сыктывкарский государственный университет»,
Сыктывкар, Россия, e-mail: dorovsk@syktsu.ru

В ихтиофауне бассейна р. Северная Двина хариус *Thymallus thymallus* (L.) является одним из самых распространенных видов. Его паразитофауна здесь изучена достаточно хорошо, но данные разбросаны по разным источникам (Дубинин, 1936; Кудрявцева, 1957; Доровских, Степанов, 2010, 2012).

Цель работы – обзор фауны паразитов хариуса из бассейна р. С. Двина.

Сбор паразитов из бассейна р. Пинега (Дубинин, 1936), р. Сухона (Кудрявцева, 1957), р. Емца (Богданова, 1971), бассейна р. Вычегда, рр. Луженьга, Шарденьга, Вага и Пинега (Доровских, Степанов, 2010, 2012; Крюкова, 2012) произведен методом полного паразитологического вскрытия (Быховская-Павловская, 1985).

В бассейне С. Двины у хариуса зарегистрировано 33 вида паразитов (табл. 1, 2) из 9 систематических групп (*Protozoa incertae sedis* – 1, *Myxosporidia* – 2, *Ciliophora* – 2, *Monogenea* – 3, *Cestoda* – 3, *Trematoda* – 11, *Nematoda* – 5, *Acantocephala* – 2, *Hirudinea* – 1, *Crustacea* – 3). Не подтвердили (Доровских, 1997а) находку у молоди хариуса из р. Емца возбудителя вертежа лососевидных рыб *Myxosoma cerebrale* (Богданова, 1971). Сложный цикл развития имеют 23 вида, простой – 10. Специфичны для рыб рода *Thymallus* 7 видов – *Myxobolus neurobius*, *Tetraonchus borealis* f. *typica*, *T. borealis* f. *minor*, *Gyrodactylus thymalli*, *Proteocephalus thymalli*, *Cystidicoloides ephemeridarum*, *Salmincola thymalli*. Для лососевых и сиговых характерны 5 видов – *Diphyllbothrium dendriticum*, *Crepidostomum farionis*, *Phyllodistomum conostomum*, *Cystidicola farionis*, *Argulus coregoni*. Остальные 21 вид паразитов приурочены к широкому кругу хозяев.

Во всех обследованных районах найдены *Tetraonchus borealis* f. *typica*, *Proteocephalus thymalli*, *Crepidostomum farionis*, *Phyllodistomum simile*, *Diplostomum spathaceum*, *Cystidicoloides ephemeridarum*, *Raphidascaris acus* и *Neoechinorhynchus rutili*. Эти паразиты составляют ядро паразитофауны хариуса Северодвинского бассейна.

Зараженность рыб миксоспоридиями, трематодами, нематодами, скребнями свидетельствует о том, что хариус, в основном, питается бентосными организмами. Однако в его рацион входит зоопланктон и мелкая рыба, о чем говорит его инвазированность цестодами.

Паразитофауна хариуса из р. С. Двина характеризуется высоким видовым богатством (33 вида), которое сопоставимо с разнообразием паразитов хариуса из других регионов – бассейн р. Печора – 31 вид (Доровских, Степанов, 2010), озерно – речная система Паанаярви – Оланга – 34 (Румянцев, Пермяков, 1994; Барская, Новохатская, 2003; Барская, Иешко, 2005; Барская, 2005), Онежское озеро – 32 (Румянцев и др. 1984; Румянцев, 1996), выше чем в бассейне р. Мезень – 21 вид (Степанов, Доровских, 2008) и ниже чем в водоемах Кольского полуострова – 50 видов (Митенев, Шульман, 1984; Митенев, 1997).

Итак, в бассейне р. С. Двины у хариуса зарегистрировано 33 вида паразитов из 9 систематических групп.

Таблица 1

Паразитофауна хариуса из бассейна р. Вычегды (бассейн р. С. Двина)

Вид паразита	Р. Вычегда (верхнее течение) n = 21	Бассейн р. Вычегда (среднее) течение n = 20	Бассейн р. Сысола n = 25	Бассейн р. Вызь n = 28
<i>Apiosoma sp.</i>	—	—	—	1(5.9)
<i>Myxobolus neurobius</i>	2(10.2)	4(2.3)	2(1.0)	13(50.2)
<i>M. albovae</i>	—	1(0.1)	3(0.2)	—
<i>Tetraonchys borealis f. typica</i>	20(6.3)	17(4.3)	22(3.7)	17(22.1)
<i>Tetraonchys borealis f. minor</i>	—	2(0.1)	5(0.4)	—
<i>Gyrodactylus thymalli</i>	—	—	?(0.1)	?(0.4)
<i>Proteocephalus thymalli</i>	4(0.4)	1(0.3)	1(0.04)	6(0.4)
<i>Triaenophorus nodulosus pl.</i>	2(0.09)	1(0.5)	—	4(0.3)
<i>Crepidostomum farionis</i>	5(0.4)	1(0.1)	6(0.6)	9(0.5)
<i>Phyllodistomum simile</i>	1(0.09)	1(0.1)	3(0.1)	4(0.3)
<i>Bunodera luciopercae</i>	7(4.2)	—	—	—
<i>Diplostomum spathaceum l.</i>	5(0.4)	—	2(0.1)	3(0.1)
<i>D. pungiti l.</i>	—	1(2.6)	—	—
<i>D. volvens l.</i>	—	—	—	2(0.9)
<i>Cystidicoloides ephemeridarum</i>	21(11.1)	13(7.1)	7(0.6)	18(80.6)
<i>Raphidascaris acus l.</i>	7(0.1)	17(2.8)	8(1.8)	15(1.8)
<i>Neoechinorhynchus rutili</i>	1(0.3)	4(0.5)	1(0.04)	—
<i>Piscicola geometra</i>	—	—	1(0.04)	—
<i>Salmincola thymalli</i>	1(0.05)	—	—	11(3.1)
<i>Argulus coregoni</i>	—	?(0.3)	—	—

Здесь и в табл. 2: n – число вскрытых рыб; перед скобками – число зараженных рыб данным видом паразита; в скобках – индекс обилия; ? – паразиты собраны из осадка в материальной банке, в которой рыба хранилась до вскрытия.

Таблица 2

Паразитофауна хариуса из бассейна р. С. Двины

Вид паразита	Р. Сухона (Кудрявцева, 1957) n = 20	Рр. Шарденга, Луженьга n = 45	Р. Вага n = 15	Бассейн р. Пинега (Дубинин, 1936; свои данные) n = 125
1	2	3	4	5
<i>Trichodina domerguei</i>	—	—	—	+
<i>Myxobolus neurobius</i>	—	14(199.7)	—	—
<i>Myxobolus sp.</i>	—	—	—	2(0.02)
<i>Dermocystidium sp.</i>	—	2(2.2)	—	—
<i>Tetraonchys borealis f. typica</i>	9(1.2)	23(12.9)	2(0.2)	46(0.6)
<i>Tetraonchys borealis f. minor</i>	—	3(0.4)	—	—
<i>Gyrodactylus thymalli</i>	—	?(0.4)	—	—
<i>Triaenophorus nodulosus pl.</i>	1(0.05)	1(0.02)	—	—
<i>Proteocephalus thymalli</i>	8(2.0)	5(0.2)	7(3.7)	7(1.6)
<i>Proteocephalus sp.</i>	2(0.9)	—	—	—
<i>Diphyllbothrium dendriticum pl.</i>	—	—	—	3(0.04)
<i>Crepidostomum farionis</i>	—	6(0.4)	—	29(0.3)
<i>Sphaerostomum bramae</i>	—	1(0.04)	—	—
<i>Phyllodistomum folium</i>	—	—	—	1(0.01)

112 XII Международная конференция с элементами школы
для молодых ученых и аспирантов

<i>Phyllodistomum simile</i>	–	6(0.3)	1(0.6)	1(0.04)
<i>Phyllodistomum conostomum</i>	–	–	–	7(0.05)
<i>Rhipidocoryle campanula l.</i>	–	4(0.55)	–	–
<i>Tylodelphys clavata l.</i>	1(0.05)	–	–	–
<i>Diplostomum spathaceum l.</i>	4(0.3)	29(1.7)	–	38(0.3)
<i>D. volvens l.</i>	–	2(0.04)	–	–
<i>Cystidicola farionis</i>	–	–	–	1(0.01)
<i>Camallanus lacustris</i>	1(0.1)	–	–	–
<i>Cystidicoloides ephemeridarum</i>	(1.8)	29(104.5)	15(33.5)	67(48.0)
<i>Rhabdochona denudata</i>	–	3(0.08)	–	40(1.0)
<i>Raphidascaris acus l.</i>	–	15(2.0)	8(0.9)	3(0.02)
<i>Neoechinorhynchus rutili</i>	–	5(0.2)	6(2.4)	7(0.1)
<i>Pseudoechinorhynchus borealis</i>	–	–	–	1(0.01)
<i>Salmincola thymalli</i>	–	–	–	4(0.1)
<i>Lernaea esocina</i>	1(0.05)	–	–	–
<i>Argulus coregoni</i>	–	2(0.04)	–	–

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛОСОСЕВЫХ РЫБ, АККЛИМАТИЗИРОВАННЫХ В МОРСКИХ И ОЗЕРНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

Е.А. Дорофеева

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Зоологический институт
Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: salmo@zin.ru

Успешная акклиматизация различных видов лососевых, т. е. возникновение устойчивой самовоспроизводящейся популяции, как правило, сопровождается адаптацией к новой среде. Успех акклиматизации зависит от степени соответствия биологических особенностей интродуцентов, условий нового водоема и способности их адаптироваться к предлагаемым условиям. Интродукция лососевых в водоемы разного типа практикуется в рыбном хозяйстве относительно широко; особое распространение она получила в начале прошлого века. Однако результаты ее неоднозначны. Многие пересадки были весьма успешными, другие, наоборот, кончились полной неудачей.

Ранее неоднократно отмечалось (Карпевич, 1998), что, несмотря на близкое родство и большую физиологическую пластичность, разные виды и роды проявляли неодинаковые адаптивные способности. Многочисленные попытки акклиматизации европейских и тихоокеанских лососевых в разных странах с целью получить самовоспроизводящиеся стада (Карпевич, 1975) в течение почти века терпели или неудачу, или формирование самовоспроизводящихся даже малочисленных стад проходило в течение длительного времени. Большие усилия были приложены для расселения в Европе видов тихоокеанских лососей, а в Америке и Австралии – атлантических. Икру тихоокеанской горбуши перевозили на рыбоводные заводы Белого и Баренцева морей, икру кеты, горбуши и кижуча – на заводы Каспийского моря, тихоокеанского стальноголового лосося – в питомники Черного, Каспийского и Балтийского морей. В то же время европейская форель *Salmo trutta*, первоначально используемая для искусственного воспроизводства на американском континенте широко расселилась вплоть до берегов Чили и сформировавшей там эстуарные проходные популяции. Однако, переселение атлантического лосося (*Salmo salar*) в тихоокеанский бассейн американского континента, а также в Новую Зеландию было безуспешным.

Особый интерес представляют удачные интродукции проходных лососевых в моря географически удаленные от нативного ареала исследованных видов. Таких видов среди лососевых сравнительно немного, т. к. большинство проходных форм удачно акклиматизируются в водоемах, находящихся в пределах ареала данной проходной формы или в непосредственной близости от естественного ареала, например, южнее границы ее распространения.

На основании имеющихся у нас материалов кумжа, акклиматизированная на американском побережье не претерпела сколько бы значимых морфологических, в том числе остеологических, изменений, характеризующих вид *Salmo trutta*, и не отличается от европейских популяций.

В то же время интродуцированная с начала 1956 г. в Белое море горбуша сформировала к настоящему времени самовоспроизводящуюся популяцию нечетной линии, отличающуюся от тихоокеанских популяций некоторыми особенностями

как во внешнем облике, так и в остеологических признаках. У нее стало меньше позвонков и чешуй в боковой линии, уменьшилась голова и, соответственно, ее пропорции (Суркова, 1970). В целом статистически достоверными оказались измененными 17 пластических признаков (Гордеева, 2003). Что касается остеологических признаков, которые, как известно, более постоянны, то они, хотя и имеют некоторые особенности, но отличаются лишь на популяционном уровне и не выходят за границы видовых признаков *Oncorhynchus gorbuscha* (Дорофеева, 2007). Эти изменения касаются в основном элементов скелета головы. При этом форма некоторых костей беломорской горбуши сочетает признаки, характерные для популяций горбуши из разных точек ареала, в том числе р. Большая, Камчатка, Фирсовка (Сахалин), р. Анадырь. Таким образом, у сформировавшейся в Белом море горбуши проявляются признаки, свойственные другим как более северным (р. Анадырь), так и более близким к донору (р. Ола) географическим популяциям. Например, супраэтноид беломорской горбуши по форме сходен с горбушей р. Камчатки, а по глубине вырезки с горбушей из реки Анадырь (рис. 1).

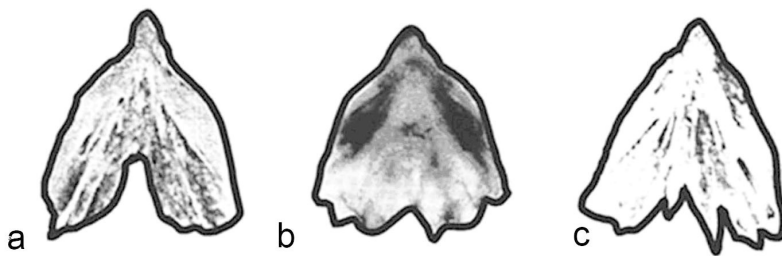


Рис. 1. Супраэтноид (supraethmoideum) *Oncorhynchus gorbuscha*: а – р. Большая (Камчатка); б – р. Кереть (Белое море); с – р. Анадырь

Как известно, акклиматизация горбуши на европейском севере столкнулась со значительными трудностями. Рыбы, завезенные в основном из рек Сахалина (1956–1980 гг.) практически не прижились, и лишь горбуша, интродуцированная из северных популяций (Магаданская обл., р. Ола) привела к возвратам высокой численности, но только нечетной линии.

В связи с этим вопрос о натурализации горбуши в Белом море до сих пор подвергается сомнению (Зубченко и др., 2004). Возникает вопрос, почему самопроизвольное расселение кумжи на американском побережье произошло легко, а горбуша в Белом море с таким трудом? Вероятно, помимо многих причин, связанных с условиями обитания в новых водоемах (температурный режим, места для нерестилищ, условия нагула молоди и т. д.) большую роль играет степень «генерализованности» вида-интродукта, и, следовательно, широта его нормы реакции. Кумжа – самый генерализованный вид рода *Salmo*, она не имеет ни одного уникального признака по сравнению с другими видами рода. Горбуша – наиболее специализированный вид рода *Oncorhynchus*, имеющий сложную внутривидовую структуру. Четные и нечетные линии этого вида имеют существенные морфологические различия и отличаются даже на генетическом уровне, причем нечетная линия отличается от четной меньшей степенью специализации (Гордеева, 2003; Гордеева и др., 2003). Именно этой причиной можно объяснить, что только нечетная линия горбуши смогла приспособиться к новым условиям.

Особый интерес представляют результаты вселения лососевых рыб в озера, поскольку в замкнутых озерных экосистемах создаются особые условия для сравнительно быстрой, по историческим меркам, дифференциации вселенца.

В 1923 г. молодь проходной сима (*Oncorhynchus masou*) была пересажена в оз. Бива на о-ве Хонсю в Японии. В 1926 г. половозрелые рыбы стали входить для нереста во впадающие в оз. Бива реки, таким образом, проходная сима превратилась в жилую (Oshima, 1935). Считается, что вселение было удачным, т. к. до сих пор в этом озере существует число озерная форма, которую многие исследователи рассматривают в качестве самостоятельного подвида или даже вида (Kato, 1991; Matsuura et al., 2000). По пластическим признакам эта форма отличается от проходной по всем средним показателям. Главным же ее отличием от других пресноводных форм сима являются красные пятна на боках тела. На основании остеологических исследований (Дорофеева, 2008) были установлены существенные отличия и в костных элементах. Сошник жилой сима из оз. Бива имеет ряд особенностей (боковые «крылья», длинный ряд зубов на рукоятке), присущие только этой форме. Супраэтноид имеет уникальный признак – боковые отростки. Такая форма этой кости встречается только у видов рода *Salmo* («древний признак») (рис. 2). На основании остеологических и биологических особенностей озерной сима из оз. Бива можно сделать вывод о ее подвидовом статусе.

В этой связи весьма показательны результаты другой успешной акклиматизации озерной форели *Salmo ischchan* из оз. Севан (Армения), в оз. Иссык-Куль (Киргизия). В 1930-36 гг. одна из экологических форм севанской форели – гегаркуни была интродуцирована в оз. Иссык-Куль. В результате в оз. Иссык-Куль сформировалось стадо форелей, существенно отличающееся как биологически, так и морфологически от исходного гегаркуни (Лужин, 1956), что позволило рассматривать этих рыб в ранге подвида *Salmo ischchan issikogegarkuni* Lushin, 1951. Проведенные в последние годы исследования подтвердили эти данные и на остеологическом уровне (Никольская, 2001; Дорофеева, 2008). У иссык-кульских форелей изменилась форма сошника, язычной и нижнечелюстной костей и супраэтноида (рис. 3). Особо следует отметить появление переднего «зубовидного» отростка на межчелюстной кости, наличие которого характерно для *Salmo trutta* («древний признак»). Появление этого отростка скорее всего связано с переходом иссык-кульской форели на питание рыбой, в то время как гегаркуни питается гамарусом.

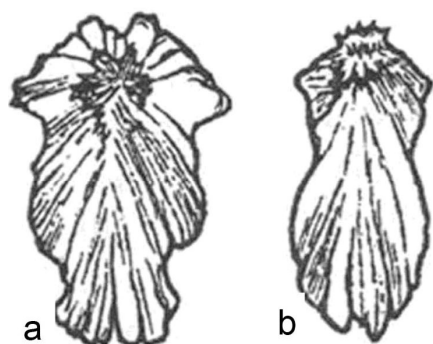


Рис. 2. Супраэтноид (supraethmoideum) *Oncorhynchus masou*:
а – оз. Бива; б – р. Утка (Камчатка)

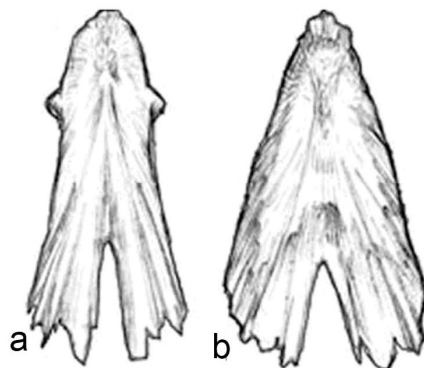


Рис. 3. Супраэтноид (supraethmoideum) *Salmo ischchan gegarkuni*:
а – оз. Иссык-Куль; б – оз. Севан

Подводя итоги проведенных исследований можно сделать следующее заключение. При акклиматизации лососевых рыб в морских водоемах у интродуцентов наблюдается изменение внешнеморфологических и остеологических признаков на уровне популяций и мозаичное их распределение по отношению к донорским популяциям, но при этом все видовые характеристики полностью сохраняются. При интродуцировании лососевых рыб (проходных и пресноводных) в озерные экосистемы на фоне повышенной изменчивости появляются уникальные для данного вида остеологические признаки, которые обычно характеризуют географические расы (подвиды).

**РАЗМЕРНО-ВОЗРАСТНАЯ СТРУКТУРА ТРЕХИГЛОЙ КОЛЮШКИ
GASTEROSTEUS ACULEATUS L. НА НЕРЕСТИЛИЩАХ В БЕЛОМ МОРЕ**

П.Н. Ершов, А.А. Сухотин

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Зоологический институт
Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: peteryershov@yandex.ru*

Морская колюшка является одной из наиболее многочисленных рыб в Белом море и играет важную роль в системе трофических связей гидробионтов (Абдель-Малек, 1963; Мухомедияров, 1966; Ершов, 2010 а, б). В начале 60-х годов XX века численность колюшки в Белом море сократилась катастрофически (Летописи природы, 1964–1969; Бергер, 2007). В качестве одной из причин резкого исчезновения колюшки могла являться гибель зостеры в Белом море в 1960–1961 гг. (Колеватова, 1963, Кузнецов, Матвеева, 1963), в зарослях которой она нерестилась. В середине 1970-х годов колюшка в незначительном количестве подходила в губы Карельского берега Белого моря, однако позже она практически полностью исчезла из уловов (Летописи природы, 1970–1997; Зюганов, 1978). В 1997 г. впервые было отмечено увеличение доли трехиглой колюшки в уловах прибрежных видов рыб (Отчет, 1998), и с тех пор ее численность быстро возрастает (Иванова и др., 2007; наши наблюдения). К настоящему времени численность колюшки увеличилась настолько, что она вновь стала основным объектом питания трески и керчака в Кандалакшском заливе Белого моря (Ершов, 2010 а, б). Несмотря на большое значение колюшки в пелагических и донных биоценозах Белого моря, сведения об особенностях ее биологии, включая такие важные популяционные характеристики как продолжительность жизни, возрастная структура, сроки наступления половозрелости и рост, крайне скудны. Имеются некоторые данные о беломорской колюшке до начала популяционной депрессии 1960-х годов. Так, В.В. Кузнецов (1954; 1960) полагал, что колюшка в Белом море нерестится в возрасте 1 г. и после нереста погибает. По данным Ф.Б. Мухомедиярова (1966), который определял возраст колюшки по жаберной крышке и отолитам, возраст производителей колеблется от 2 до 5 лет, а половое созревание у самцов и самок наступает в возрасте 2 г. Кроме того, Ф.Б. Мухомедияров (1966) привел сведения по максимальным размерам и размерному составу колюшки в уловах, что дает представление о росте этих рыб. Данные о структуре популяции колюшки после окончания периода депрессии ее численности практически отсутствуют. Цель настоящей работы заключалась в изучении размерно-возрастного состава современной популяции трехиглой колюшки Белого моря. Такого рода сведения необходимы для оценки состояния популяции, расчета продукционных параметров, а также для понимания экологических процессов, происходящих в прибрежных экосистемах в последние десятилетия.

Материалом для исследования послужили наблюдения и сборы, проведенные поблизости от Беломорской биостанции ЗИН РАН в прибрежных участках губы Чупа, Кандалакшский залив, Белое море (66° 20' с.ш., 33° 40' в.д.). Лов половозрелых рыб осуществляли ежегодно с 29 июня по 7 июля в течение трех лет 2009–2011 гг. на одних и тех же нерестилищах с помощью небольшого невода и ловушек.* Всего проана-

* Авторы приносят свою благодарность сотрудникам СПбГУ Т.С. Ивановой, Д.Л. Лайусу, М.В. Иванову за помощь в сборе материала.

лизировано 1437 половозрелых особей. У всех пойманных рыб измеряли общую (LT) длину тела с точностью до 1 мм. Общая масса тела (MT) и масса гонад (MG) у свежеспойманных самцов и самок были определены с точностью до 0,001 г. Гонадосоматический индекс, вычисленный как процентное отношение массы гонад к общей массе тела рыбы, был определен у 337 самок и 108 самцов. Возраст рыб определяли по годовым кольцам на костях жаберной крышки (*operculum*), взятых с обеих сторон головы (Мухомедияров, 1966). С помощью пинцета *operculum* извлекали из головы выловленных рыб. После этого кость погружали на несколько секунд в стакан с горячей водой, а затем протирали с обеих сторон влажной материей для удаления эпителия. После высыхания кость просматривали в проходящем свете, помещая ее перед источником света без использования оптики. У мелких рыб кости просматривали под биноклем. Для контроля полученных результатов возраст всех рыб был определен дважды с помощью одного оператора (П.Н. Ершов). Все пойманные половозрелые рыбы были в нерестовом состоянии. Пол рыб определяли визуально по характерным признакам окраски самцов и самок в брачный период и контролировали визуальным анализом гонад после вскрытия особей. Статистическая обработка результатов проведена стандартными методами. Парное сравнение средних размеров особей разных возрастов, а также сравнение с литературными данными проводили, используя критерий Стьюдента (t -test). Сравнение возрастных распределений и соотношений разных возрастов осуществляли с помощью критерия χ^2 .

Возрастной состав мигрирующих производителей был представлен рыбами в возрасте от 2 до 5 лет. Значительную часть общего вылова (>90%) составили особи возрастных групп 2 и 3 г. (табл. 1). Четырехгодовики были малочисленны среди рыб каждого пола. Максимальный возраст 5+ был отмечен только для одной самки (LT 76 мм, MT 5.2 г). Набор возрастных классов в разные годы наблюдений оказался сходным, а доминировали в выборках производители возраста 3 г. (от 58% до 70%). Беломорская колюшка начинает нереститься в возрасте 2 г. Трехгодовики (оба пола) после нереста вскоре погибают и лишь незначительная доля выживших колюшек нерестится на следующий год. По обобщенным данным соотношение двух наиболее представленных возрастных групп (2- и 3-х годовики) у самцов и самок достоверно различалось (χ^2 , $p < 0.05$). Среди самцов доля особей в возрасте 2 (45%) и 3 (52%) г. была сходна, а среди самок значительно доминировали трехгодовики – 70% (табл. 1). Интересно, что у самцов относительная численность двух- и трехгодовиков достоверно различалась в разные годы наблюдений (χ^2 , $p < 0.05$). У самок достоверное преобладание трехгодовиков наблюдалось ежегодно, а межгодовая изменчивость возрастного состава была выражена слабо (χ^2 , $p > 0.05$). Очевидно, что в возрасте 2 г. созревает только часть самок одного поколения, а остальные особи становятся половозрелыми на следующий год. Подавляющее большинство самцов и самок нерестится 1–2 раза в жизни. Помимо взрослых рыб в неводных уловах на нерестилищах единично присутствовали неполовозрелые особи в возрасте 1 г.

Таблица 1

Возрастной состав уловов (%) производителей колюшки из губы Чупа (2009–2011 гг.)

Пол	Возраст, годы				Экз.
	2+	3+	4+	5+	
Самцы	44.6	51.8	3.6	–	444
Самки	24.7	69.6	5.6	0.1	993
Оба пола	30.8	64.1	5.0	0.1	1437

Абсолютная длина LT половозрелых рыб (оба пола) в уловах колебалась от 52 до 89 мм (среднее 72 ± 0.2 мм), а масса MT – от 1.4 до 7.9 г (среднее 3.8 ± 0.03 г). Максимальные размеры рыб, пойманных в разные годы, оказались очень близки. Самки были крупнее самцов во всех возрастных группах (t -test, $p < 0.05$) (табл. 2). Необходимо заметить, что в таблице приведены данные по размерам колюшки, выловленной в период нереста. Среди самцов в выборке доминировали особи длиной 64–70 мм, а среди самок – особи длиной 74–80 мм. Размерные классы от 80 мм были представлены исключительно самками. Размерно-частотный состав полов в разные годы варьирует в зависимости от численности отдельных возрастных классов. Отмечена высокая индивидуальная изменчивость рыб по LT и MT внутри каждого возрастного класса (табл. 2). Минимальный размер LT , при котором рыбы начинают созревать, не различался у самок и самцов и составил 52 мм. Гонадосоматический индекс у самок в среднем составил $24.6 \pm 0.3\%$ и был значительно выше, чем у самцов $3.1 \pm 0.1\%$ (t -test, $p < 0.05$). Это обстоятельство необходимо учитывать при анализе особенностей весового роста беломорской колюшки разного пола. Соотношение полов среди производителей на нерестилищах в период нереста характеризовалось преобладанием самок и колебалось в пределах от 2:1 до 4:1. По мере отхода отнерестившихся самок с нерестилищ в море доля самцов в прибрежных уловах увеличивалась.

Таблица 2

Длина и масса тела трехиглой колюшки разного возраста из губы Чупа Кандалакшского залива Белого моря (2009–2011 гг.). Указаны средние значения (M) и стандартные ошибки (m)

Возраст, годы	экз.	Пол	Длина (LT), мм		Масса (MT), г	
			Размах варьирования	$M \pm m$	Размах варьирования	$M \pm m$
1+	2	Оба пола	34–39	36	0.41–0.53	0.47
2+	245	Самки	52–83	68 ± 0.3	1.9–7.7	3.3 ± 0.06
	198	Самцы	52–76	64 ± 0.2	1.4–3.9	2.5 ± 0.03
3+	691	Самки	64–89	77 ± 0.1	2.1–7.9	4.6 ± 0.03
	230	Самцы	58–77	68 ± 0.2	2.0–4.4	3.0 ± 0.03
4+	56	Самки	71–85	78 ± 0.4	3.4–7.6	5.0 ± 0.13
	16	Самцы	66–79	71 ± 0.7	2.8–4.2	3.4 ± 0.10
5+	1	Самки	–	76	–	5.2

Сравнение полученных данных со сведениями Ф.Б. Мухомедиярова (1966) показало, что общий диапазон возрастных групп (2–5 лет) и состав модальных возрастных классов (доминирование 3-х годовиков) среди производителей не изменились после восстановления численности колюшки в Белом море. Однако по осредненным данным между “прежней” и “современной” популяциями колюшки обнаружены достоверные различия по относительной численности возрастных классов (χ^2 , $p < 0.05$). Современная популяция характеризуется омоложенным составом производителей, в то время как в 1957–59 гг. доля возрастной группы 3+ в нерестовом стаде была выше. Кроме того, средние размеры (LT и MT) особей возраста 2+ и 3+ среди обоих полов оказались выше в современной популяции (уловы 2009–2011 гг.) по сравнению с рыбами из уловов 1957–59 гг. (t -test, $p < 0.05$). Известно, что за последние 50 лет сроки наступления гидрологического лета в верхних слоях воды в Кандалакшском заливе Белого моря сдвинулись на более ранний

период (Usov et al., 2013). Прогревание до $+8^{\circ}\text{C}$ стало происходить приблизительно на 20 дней раньше, чем в 1960-е годы. По данным Ф.Б.Мухомедиярова (1966) нерестовые стада колюшки появляются в прибрежье в начале июня, когда температура воды в верхних слоях достигает $+6-8^{\circ}\text{C}$. Половозрелая мигрирующая колюшка в этот период активно питается (Абдель-Малек, 1963). Возможно, что в современных гидротермических условиях период морского нагула и роста у колюшки стал более продолжительным, что и привело к увеличению среднего размера производителей. По-видимому, более быстрый рост неполовозрелой колюшки в местах нагула в свою очередь привел к ускорению полового созревания части особей и, соответственно, к омоложению общего возрастного состава нерестового стада по сравнению с популяцией, обитавшей в Белом море 50 лет назад.

ПОЛОВОЙ ДИМОРФИЗМ В РОСТЕ У ТРЕХИГЛОЙ КОЛЮШКИ *GASTEROSTEUS ACULEATUS* L. БЕЛОГО МОРЯ

П.Н. Ершов, А.А. Сухотин

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Зоологический институт
Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: petyershov@yandex.ru

Трехиглая колюшка *Gasterosteus aculeatus* Linnaeus, 1758 имеет широкий ареал распространения и образует пресноводные, проходные и морские популяции (Wootton, 2009). Между отдельными популяциями обнаружены отличия по ряду признаков, включая скорость роста. В качестве причин наблюдаемой межпопуляционной изменчивости рыб исследователи выделяют как абиотические, так и генетические факторы (McPhail, 1977; Snyder, 1991, Baker, 1994). Сведения о внутривидовой изменчивости касаются прежде всего половых различий в скорости роста у колюшки. Большинство авторов отмечают более крупные размеры самок по сравнению с самцами в выборках и внутри возрастных классов (Heuts, 1947; Munzing, 1959; Penczak, 1962; van Mullem, van der Vlugt, 1964; Coad, Power, 1973; Hoffmann, Borg, 2006; Patimar et al., 2010 и др.). Следует заметить, что у колюшки довольно широко обнаружен половой диморфизм по признакам внешней морфологии – длине головы, челюстей, рыла и т. д. (Jones et al., 2006; Reimchen, Nosil, 2006; Aquirre et al., 2008), который имеет генетическую основу (Kitano et al., 2007; Leinonen et al., 2011). В литературе обсуждается роль экологических приспособлений в эволюции полового диморфизма у колюшки. В связи с этим очевидна важность углубленного и всестороннего изучения особенностей роста у самцов и самок колюшки из разных водоемов для решения различных микроэволюционных проблем вида. У беломорской колюшки, по данным Ф.Б. Мухомедиярова (1966), "самцы всегда мельче самок" (с. 460). Однако автор специально рост не анализирует и не приводит статистической оценки наблюдаемых различий между полами. Цель настоящей работы заключалась в изучении половых особенностей линейного и весового роста у трехиглой колюшки Белого моря.

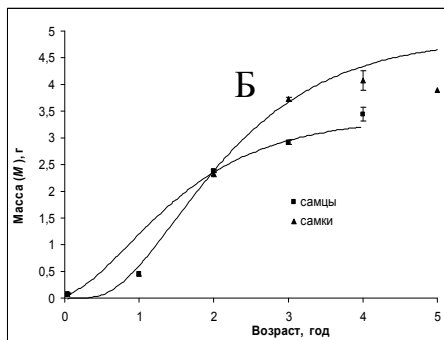
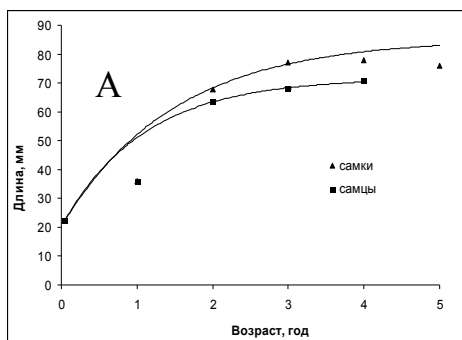
Сбор материала для исследования проводили в прибрежных участках губы Чупа-Кандалакшского залива. Производители колюшки ($n = 1437$) были пойманы в нерестовый период с 29 июня по 7 июля 2009–2011 гг. с помощью небольшого невода и ловушек. В неводных уловах на нерестилищах единично присутствовали неполовозрелые особи в возрасте 1 г. Сеголетки ($n = 100$ экз.) были пойманы 8 августа 2011 г. у причала Беломорской биостанции с помощью сачка (50х50х55 мм, ячей 2 мм). Возраст рыб определяли по годовым кольцам на костях жаберной крышки (*operculum*), взятых с обеих сторон головы (Мухомедияров, 1966). Все пойманные половозрелые рыбы были в нерестовом состоянии. Пол рыб определяли визуально по характерным признакам окраски самцов и самок в брачный период и контролировали визуальным анализом гонад после вскрытия особей. Пол неполовозрелых сеголетков и годовиков не был определен. У всех пойманных взрослых самцов и самок измеряли общую (LT) длину, массу тела (MT) и массу гонад (MG) с точностью до 1 мм и 0,001 г соответственно. Рост колюшки был изу-

чен на основе анализа эмпирических данных по длине и массе неполовозрелых и нерестовых рыб разного возраста. Для описания роста рыб в длину было использовано уравнение Берталанффи $L_t = L_{\infty} (1 - e^{(-k(t-t_0))})$, где L_t – длина рыбы (мм) в возрасте t (лет); L_{∞} , k и t_0 – коэффициенты. По нашим данным, гонадосоматический индекс у самок беломорской колюшки в среднем составляет около 25% и значительно превышает аналогичный показатель для самцов – 3% (Ершов, 2011; наши данные). Для корректного расчета и сравнения параметров уравнений роста массы тела колюшки были использованы данные по массе самцов и самок без учета массы гонад ($M = MT - MG$). Такой подход позволяет избежать влияния индивидуальных вариаций массы гонад нерестовых рыб на общую массу их тела. Рост массы тела рыб был описан уравнением нелинейной регрессии, производным от уравнения Берталанффи $M_t = M_{\infty} (1 - e^{(-k(t-t_0))})^3$, где M_t – масса рыбы (г) без гонад в возрасте t (лет); M_{∞} , k и t_0 – коэффициенты. Для описания зависимости M от LT тела рыбы использовали степенное уравнение $M = a LT^b$, где LT – длина особи (мм), M – масса тела (г) без гонад, a и b – константы. Уравнения роста рыб сравнивали путем сопоставления остаточных дисперсий отдельных рядов и регрессии, построенной по объединенной выборке. Средние размеры рыб разных возрастов сравнивали по критерию Стьюдента (t -test).

Абсолютная длина (LT) половозрелых рыб (возраст 2–5 лет) в уловах колебалась от 52 до 89 мм (среднее 72 ± 0.2 мм), а масса MT – от 1.4 до 7.9 г (среднее 3.8 ± 0.03 г). Отмечена высокая индивидуальная изменчивость рыб по LT и MT внутри каждого возрастного класса. Взаимосвязь длины и массы тела у колюшки описывается уравнениями $M = 8.5 \cdot 10^{-6} LT^{3.019}$ для самцов и $M = 9.6 \cdot 10^{-6} LT^{2.958}$ для самок, которые достоверно различаются между собой ($F = 78.5$, $p < 0.001$). Одно-размерные половозрелые самцы, как правило, тяжелее самок при сравнении рыб без массы гонад. Это может быть обусловлено половыми различиями в форме тела, а также в размерах отдельных его частей, например головы (Spoljaric, Reimchen, 2008; Aquirre, Akinpelu, 2010; Kitano et al., 2012). Кривые роста рыб показаны на рисунке, а параметры уравнений Берталанффи для обоих полов приведены ниже:

$$\begin{aligned} \text{Самки: } L_t &= 85.2 (1 - e^{(-0.67(t+0.41))}); \\ \text{Самцы: } L_t &= 71.6 (1 - e^{(-0.91(t+0.36))}); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_t &= 4.88 (1 - e^{(-0.85(t-0.19))})^3 \\ M_t &= 3.37 (1 - e^{(-0.95(t+0.30))})^3 \end{aligned}$$



Линейный (А) и весовой (Б) рост трехиглой колюшки из Кандакшского залива Белого моря

Самки растут в целом быстрее самцов, уравнения регрессий линейного, а также весового роста достоверно различались ($F = 275.7$ и $F = 81.8$, соответственно, $p < 0.001$). Наиболее быстрый рост в длину у колюшки обоих полов происходит в первые 2 г. жизни (около 30–35 мм в год), а затем замедляется. Наибольший прирост массы тела (без гонад) отмечается на втором году жизни, а после наступления полового созревания также замедляется. Среди половозрелых самцов и самок различия по длине LT отмечены во всех трех возрастных группах, а по массе тела без гонад (M) только среди особей в возрасте 3 и 4 г. (t -test, $p < 0.05$). Следует заметить, что при анализе половых различий по массе тела с гонадами (MT) половозрелые самки (возраст 2–4 г.) были достоверно крупнее (тяжелее) самцов того же возраста во всех сравниваемых возрастных группах (t -test, $p < 0.05$).

Полученные данные свидетельствуют о наличии половых различий в скорости линейного и весового роста у морской трехиглой колюшки Белого моря. Самки растут в целом быстрее самцов и достигают к периоду размножения более крупных размеров. Возможно, эти различия имеют генетическую основу и связаны с различной ролью самок и самцов на репродуктивной стадии их жизненного цикла. В дальнейшем определенный интерес представляет изучение морфоэкологических особенностей роста самцов и самок колюшки Белого моря.

Работа выполнена при поддержке Программы Фундаментальных исследований ОБН РАН «Биологические ресурсы России: оценка состояния и фундаментальные основы мониторинга».

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В БЕЛОМ МОРЕ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ РАДИОЛОКАЦИИ

А.В. Зимин¹, И.Е. Козлов², Б. Шапрон², Ф.Ю. Мохнаткин², А.Г. Мясоедов²,
О.А. Атаджанова²

¹ Санкт-Петербургский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института океанологии им. П.П. Шишова Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: zimin2@mail.ru;

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский государственный гидрометеорологический университет», Санкт-Петербург, Россия

До настоящего времени сведения о характеристиках короткопериодных внутренних волн (ВВ) в Белом море основывались на результатах контактных наблюдений. В исследованиях отмечались различия характеристик внутренних волн, регистрируемых в разных районах моря. В глубоководной части Бассейна Белого моря регистрировались плавные случайные короткопериодные колебания небольших амплитуд (1–2 м). В мелководных шельфовых районах волны часто имели цуговую структуру, характеризовались значительной высотой (до 17 м) и соответствовали критериям интенсивных внутренних волн. Такие волны приводят к сильной пространственно-временной изменчивости гидрофизических полей, с чем и связана важность их изучения в интересах решения научных и прикладных задач освоения океана и обеспечения жизнедеятельности морских экосистем. Например, группы короткопериодных внутренних волн в мелководных районах могут вносить значительный вклад в перемешивание по вертикали, что в свою очередь влияет на характеристики теплового баланса и соответственно на климатические характеристики моря в целом. Однако оценок особенностей распределения характеристик короткопериодных внутренних волн на всей акватории моря ранее не выполнялось.

Целью работы являлась оценка пространственной изменчивости характеристик внутренних волн в Белом море на основе использования спутниковых радиолокационных изображений (РЛИ). Для этого были использованы РЛИ ENVISAT ASAR в С-диапазоне и режимах съемки WSM (ширина полосы обзора 400×400 км, пространственное разрешение 75×75 м) и IMP (примерно 100×100 км и 12,5×12,5 м соответственно) при различной поляризации радиолокационного сигнала. Необходимые для обработки данные были заказаны из роллинг-архива Европейского Космического Агентства за период с мая по сентябрь 2010 г. Всего было получено 130 РЛ-снимков, при этом практически для всех районов Белого моря частота покрытия РЛ-съемкой в среднем составила 55–65 снимков за данный период. Чаще всего снимки покрывали район Горла и Бассейн Белого моря, а меньшее количество снимков (25–30) приходилось на район Воронки, Мезенского залива.

Методика определения основных параметров ВВ состояла из нескольких основных этапов и реализовывалась на основе специально разработанного ПО INTERWAVE: в начале пакеты ВВ детектировались на РЛ-снимках визуально и проводилось сечение поперек пакета ВВ в направлении его распространения, далее полуавтоматическим способом определялись параметры ВВ и РЛ-сигнала

вдоль сечения, а также фоновые гидрометеорологические условия. За весь рассматриваемый период на РЛ-снимках было обнаружено 217 пакетов внутренних волн из них: 27 в мае, 42 в июне, 61 в июле, 72 в августе и 15 в сентябре.

В результате анализа собранного архива РЛИ обнаружено, что на спутниковых снимках в основном проявляются короткопериодные внутренние волны преимущественно в виде пакетов ВВ. Основные характеристики волн приведены в табл.

Основные статистические значения параметров внутренних волн

Параметр ВВ	Максимальное значение	Минимальное значение	Среднее значение	Медиана
Длина гребня (км.)	89,01	2,1	18,29	14,87
Площадь пакета (км ²)	853,67	0,53	37,52	16,94
Длина волнового пакета (км)	11,58	0,11	1,49	1,18
Количество волн в пакете	9	1	2,71	2
Максимальная длина волны (км)	2,56	0,08	0,55	0,48

Места поверхностных проявлений короткопериодных внутренних волн по спутниковым данным представлены на рисунке 1. Внутренние волны наиболее часто встречались на границе Бассейна и Горла. В самом Горле ВВ наблюдались редко, но на фронте Беломорского течения, образуемого пресным стоком реки Северная Двина, отмечено максимальное число проявлений. Несколько реже встречались внутренние волны в районе того же фронта в Двинском заливе и приливного фронта в Соловецких заливах. Не наблюдалось проявлений внутренних волн в Кандакшском заливе, Мезенской губе, Воронке Белого моря, центральной части Горла.

Наибольшие по площади охвата волновые пакеты встречаются в центральной части Бассейна. Они включают 2–3 волны длиной 0,6–0,8 км при ширине фронта лидирующей волны 40–50 км. Вблизи Соловецких островов и в Двинском заливе волновые пакеты встречаются чаще, но охватывают площади меньших размеров, включая от 3 до 5 волн длиной 0,2–0,4 км при ширине фронта лидирующей волны 10–20 км. В Онежском заливе площади пакетов еще меньшие, так как цуги волн содержат в себе не более 2–3 волн; там же часто встречаются солитоны.

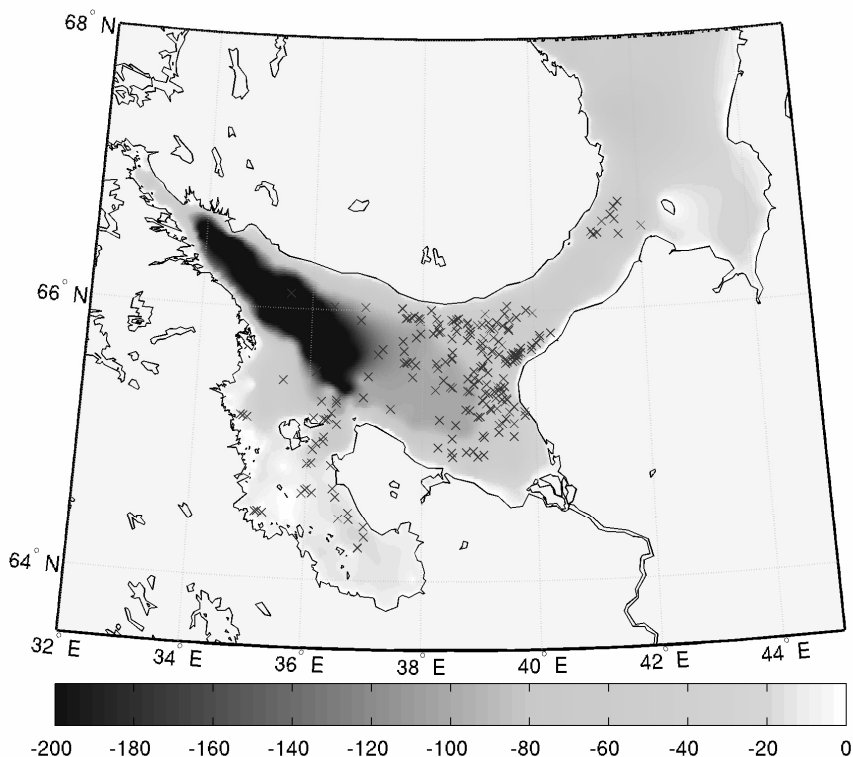
Направление распространения пакетов было различным для исследуемых районов: в Онежском заливе преобладало западное направление распространения, в Двинском доминировали северное и западное направление, в Бассейне Белого моря встречались все направления, но преобладающим являлось юго-западное.

Остается несколько не решенных вопросов. Почему внутренние волны не проявляются в Кандакшском заливе и насколько сильна взаимосвязь поверхностных проявлений внутренних волн и колебаний пикноклина в Двинском заливе, где значительное влияние на характеристики внутреннего волнения должны оказывать процессы, связанные с взаимодействием речного стока и прилива.

На основании результатов спутниковых наблюдений можно выделить два очага регистрации короткопериодных ВВ:

– граница между Бассейном и Горлом, где максимальное число проявлений отмечено на фронте Беломорского течения, образуемого пресным стоком реки Северная Двина (участок шельфа вблизи проливной зоны с двухслойной стратификацией.);

– шельф около Соловецких островов и в Двинском заливе (мелководные районы шельфа с глубинами 30–50 метров).



Местоположение проявлений на поверхности внутренних волн (крестики) по данным радиолокатора с синтезированной апертурой Envisat ASAR, совмещенные с картой глубин Белого моря

Так же выделены районы моря, где проявление короткопериодных внутренних волн носит случайный характер:

– Бассейн и Канда拉克шский залив (Глубоководные участки моря, где приливной поток слабо взаимодействует с дном, и внутренние волны приходят туда редко из других районов);

– центральная часть Горла и Онежского залива (Мелководные участки шельфа, в которых воды полностью перемешаны под влиянием приливных процессов, в связи с чем внутренние волны там и не проявляются).

Регулярность наблюдений пакетов ВВ позволяет сделать вывод о преимущественно приливном характере их образования, что позволяет определить ключевые предпосылки районирования акватории по возможности появления короткопериодных ВВ. Это районы около проливных зон, со свалами глубин 30–50 м и районы фронтальных разделов.

ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ РОСТ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЖЕМЧУЖНИЦЫ *MARGARITIFERA MARGARITIFERA* (BIVALVIA, MARGARITIFERIDAE)

А.А. Зотин

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии
развития им. Н.К. Кольцова Российской академии наук, Москва, Россия,
e-mail: aazotin@mail.ru*

Европейская жемчужница *M. margaritifera* – пресноводный двустворчатый моллюск – до середины XX в. представляла собой фоновый вид для рек Европы и Европейского севера России и являлась основным объектом традиционного промысла жемчуга и перламутра для поморов беломорского побережья. В связи с значительным загрязнением рек и уменьшением численности рыб-хозяев для паразитирующих личинок (глохидиев) жемчужниц к настоящему времени количество популяций моллюсков катастрофически сократилось, и вид был внесен в Красную Книгу РФ.

В настоящее время наиболее значимые запасы европейской жемчужницы сосредоточены в реках бассейна Белого моря. Наибольшая численность (около 6 млн особей) наблюдается в бассейне р. Варзуга.

В связи с необходимостью проведения мероприятий по восстановлению численности *M. margaritifera* актуальным становится изучение биологии этого вида.

Следует отметить, что некоторые особенности жизненного цикла жемчужниц делают ее уникальным объектом для исследований, касающихся закономерностей роста животных. Как у всех двустворчатых моллюсков на поверхности раковины жемчужниц формируются кольца, связанные с задержкой роста в зимний период. Причем, уже сформированные кольца не изменяют своих размеров на протяжении последующей жизни, что позволяет ретроспективно определять размеры моллюска для разных возрастов. Большая продолжительность жизни жемчужниц (более 100 лет) позволяет отслеживать индивидуальный линейный рост на протяжении длительного промежутка времени и проводить анализ этого процесса с большой степенью достоверности.

Исследование индивидуального роста жемчужниц явилось предметом данной работы.

Материалы и методы

Створки раковин погибших жемчужниц, вынесенных весенним половодьем, собирали в устьевой зоне р. Пана на правом берегу в августе 2012 г. Для визуализации годовых колец верхний конхиолиновый слой убирали с помощью обработки 1 М раствором КОН при кипячении в течение 5 мин. Створки высушивали и сканировали с помощью сканера HP Scanjet 5400c (Hewlett-Packard, Китай).

Полученные изображения внедряли в программу Excel (Microsoft Office 2003) и увеличивали в 2 раза. Измеряли длины последовательных годовых колец у 14 экземпляров раковин, начиная с первого хорошо различимого кольца с точностью 0.1 мм. Для каждой раковины было измерено не менее 18 годовых колец.

Коэффициенты уравнения роста Берталанфи: $L_t = L_\infty(1 - \exp(-kt))$ (L_t – длина кольца для возраста t ; L_∞ – предельная длина; k – константа роста) рассчитывали с помощью аппроксимации данных рекуррентной формой этого уравнения (уравнение Форда-Валфорда): $L_{t+1} = cL_t + d$ (L_t и L_{t+1} – длины текущего и следующего годовых колец; $c = \exp(-k)$, $d = L_\infty(1-c)$). Пригодность использования уравнения Форда-Валфорда оценивали с помощью критерия нелинейности. Сравнение коэффициентов проводили методом регрессионного анализа.

Возраст первого измеренного годового кольца (t_1) определяли обратным расчислением по уравнению Берталанфи: $t_1 = -1/k \ln(1 - L_1/L_\infty)$ (L_1 – длина первого годового кольца).

Относительную скорость линейного роста (dL/Ldt) определяли после сглаживания полученных данных кубическими сплайнами с использованием программы Matlab (версия 7.3.0.267, разработана компанией The MathWorks, Inc, США).

Основной тренд и биоритмы относительной скорости линейного роста индивидуальных моллюсков выявляли методом сингулярного спектрального анализа с помощью программы «Гусеница» (версия 3.40, разработана компанией GistaT Group, Россия). При применении программы были выбраны следующие параметры: длина окна (длина «гусеницы») – 7; без центрирования. Для каждого биоритма определяли период, амплитуду и возраст выявленных локальных максимумов.

Результаты и обсуждение

Расчеты показывают, что линейный индивидуальный рост европейской жемчужницы в пределах исследованной популяции идет по одной и той же кривой для разных моллюсков. Средние значения коэффициентов уравнения Форда-Валфорда составляют $c = 0.954 \pm 0.002$; $d = 4.99 \pm 0.13$. Коэффициенты уравнения Берталанфи соответственно равны $k = 0.0472 \text{ год}^{-1}$; $L_\infty = 108.2 \text{ мм}$.

Кривая роста, описываемая уравнением Берталанфи в целом совпадает с основным трендом, выявленным при сингулярном спектральном анализе.

Выявлено также 2 биоритма относительной скорости линейного роста индивидуальных моллюсков. Эти биоритмы имеют одинаковые периоды как на протяжении постэмбрионального онтогенеза отдельных жемчужниц, так и для разных моллюсков. Причем, локальные максимумы биоритмов у разных животных приходятся на один и тот же возраст, что свидетельствует об их эндогенном характере.

Более низкочастотный биоритм имеет период равный в среднем $7.2 \pm 0.4 \text{ г}$.

Этот биоритм – затухающий. Его амплитуда постепенно уменьшается от $9.4 \pm 1.6 \text{ год}^{-1}$ (для возрастной группы 6–13 лет) до $1.1 \pm 0.3 \text{ год}^{-1}$ (для возрастной группы 34–41 лет)..

Более высокочастотный биоритм имеет период равный в среднем $4.5 \pm 0.1 \text{ года}$.

Этот биоритм также затухающий. Его амплитуда постепенно уменьшается от $5.5 \pm 1.7 \text{ год}^{-1}$ (для возрастной группы 6–11 лет) до $1.4 \pm 0.7 \text{ год}^{-1}$ (для возрастной группы 42–47 лет).

Таким образом, каких-либо различий в индивидуальном линейном росте европейской жемчужницы в популяции р. Пана не выявлено.

Причины колебаний относительной скорости линейного роста не ясны. Мы полагаем, что подобные биоритмы могут получить наиболее адекватное объясне-

ние с позиций термодинамики необратимых процессов, которая рассматривает организмы как диссипативные структуры, т. е. определенным образом организованные стабильные структуры, характерной особенностью которых является повышенная по сравнению с окружающей средой диссипация энергии. Формирование таких структур возможно только в открытых системах определенного уровня неравновесности. При этом диссипативные структуры находятся в так называемом неравновесном стационарном состоянии, в котором термодинамические потоки и силы не остаются строго постоянными, а колеблются вокруг некой величины.

Работа осуществлена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 12-04-00397-а, 12-04-00594-а) и Президиума РАН (программы «Живая природа: современное состояние и проблемы развития» и «Организация научных экспедиций и содержание научных стационаров»).

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ФАУНЫ ПАЗАРИТОВ РЫБ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

Е.П. Иешко, Л.В. Аникиева, Д.И. Лебедева

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии
Карельского научного центра Российской академии наук, Петрозаводск, Россия,
e-mail: Ieshko@krc.karelia.ru

Исследования проведены на 3-х водоемах Северной Карелии: Костомукшское, Окуновое и Койвас в 2009–2012 гг. Озеро Костомукшское – верхний водоем системы р. Кенти (частный водосбор реки Кеми) преобразовано в технологический водоем (хвостохранилище) и используется для хранения отходов и оборотных вод Костомукшского горно-обогатительного комбината. Техногенные воды в результате попусков воды из хвостохранилища вместе с фильтрационными водами и водами отводных каналов поступают в верхние водоемы системы р. Кенти – Окуновое (площадь 0.3 км², средняя глубина 2.6 м) и Койвас (площадь 21.4 км², средняя глубина 4 м) и отражаются на ионном составе воды, содержании нитратов, азота органического и лития. Сбор и обработка паразитологического материала проводились стандартными методами (Быховская-Павловская, 1985).

У сига *Coregonus lavaretus* было найдено 4 вида гельминтов: цестода *Proteocephalus longicollis* и 3 вида трематод *Diplostomum gasterostei*, *D. spathaceum*, *Tylodelphys clavata*. По сравнению с разнообразной фауной гельминтов водоемов системы р. Каменной (Малахова, Иешко, 1977; Иешко и др., 1998) фауна эндопаразитов сига в хвостохранилище крайне обеднена. В ее составе отсутствуют специфичные для лососевидных рыб виды: цестоды *Triaenophorus crassus* и *Cyathocephalus truncatus*, трематоды *Phyllodistomum umblae* и *Crepidostomum farionis*, нематода *Pseudocapillaria salvelini*, а также паразиты, для которых сиговые не являются типичными хозяевами – трематода *Allocreadium isoporum* (паразит карповых), нематода *Camallanus lacustris* (паразит окуневых). Из 11 видов паразитов пищеварительного тракта сигов, обнаруженных в водоемах системы р. Каменной, у сигов хвостохранилища найден только один – цестода *P. longicollis*. Индекс обилия цестоды *P. longicollis* в хвостохранилище превышает соответствующие показатели из естественных водоемов в сотни раз (Аникиева и др., 2012).

У щуки *Esox lucius* найдено 9 видов паразитов. Исследованные рыбы сохранили типичную для естественных озер зараженность узкоспецифичными видами простейших – микоспоридиями *M. liberkuhni*, *Chl. isocinum* и триходиной *Trichodina nigra*. Моногеней *T. monenteron* и цестода *T. nodulosus* – также облигатные паразиты щуки, занимают в составе паразитофауны щуки хвостохранилища доминирующее положение по встречаемости и численности. Из других гельминтов обнаружены только личинки трематод, паразитирующие в глазах. Отмечена относительно высокая зараженность метацеркариями *Diplostomum gasterostei* и *Tylodelphys clavata* и низкая для *Diplostomum spathaceum* и *T. podicipina*. Последний вид является редким для водоемов Фенноскандии и был найден только у ряпушки в оз. Ладожском (Румянцев и др., 2001). Предположительно этот вид встречался у окуневых рыб и щуки Ладожского озера ранее как *Diplostomum attenuatum* и *Neodiplostomum sp.* (Барышева, 1949; Барышева, Бауер, 1957).

Плотва *Rutilus rutilus* заражена практически всеми массовыми видами эктопаразитов – миксоспоридиями (5 видов) и моногенеями (4 вида), характерными для водоемов Северной Карелии (табл.). Показатели встречаемости указывают на то, что миксоспоридии имеют более низкие значения встречаемости по сравнению с естественными озерами. Из эндогельминтов обнаружены только личинки трематод родов *Diplostomum* (2 вида) и *Tylodelphys* (2 вида). Из них наиболее распространены метацеркарии *Diplostomum spathaceum*, инвазирующие хрусталик глаза, которые обнаружены у всех вскрытых рыб с высокой интенсивностью инвазии. Также все исследованные рыбы заражены паразитами внутренних сред глаза – *D. gasterostei*. Часто встречается *Tylodelphys clavata*. *T. podicipina* – редкий вид.

**Зараженность плотвы массовыми видами паразитов
в различных озерах Костомукшского района (%)**

Вид паразита	Озера системы р. Каменной (Иешко и др., 1982)	оз. Костомукшское (хвостохранилище)	оз. Койвас
<i>Myxidium rhodei</i>	82,4–100	13,3	53,3
<i>Zschokkella nova</i>	19,8–36	6,7	6,7
<i>Chloromyxum fluviatile</i>	4–33,7	6,7	–
<i>Myxobolus pseudodispar</i>	20–80	33,3	60
<i>M. mulleri</i>	32–52	26,7	53,3
<i>Dactylogyrus crucifer</i>	42,9–81,1	80	86,7
<i>D. nanus</i>	12–35,1	33,3	40
<i>D. similis</i>	10,8–33,3	40	66,7
<i>Diplozoön homoion</i>	16,5–28,	40	6,7

Сопоставление полученных нами данных с материалами по паразитофауне рыб в озерах системы реки Каменной, незатронутых хозяйственной деятельностью (Малахова, Иешко, 1977; Иешко и др., 1982), показало, что техногенное загрязнение водоемов вызывает существенные изменения в фауне паразитов рыб. В техногенных водоемах отсутствуют специфичные виды эндогельминтов, исчезающие в связи с вымиранием их хозяев – лососевидных рыб (лосося, ряпушки, хариуса), карповых (язя, ельца, голяна, леща), окуневых (окуня, ерша): цестоды *Cyathocephalus truncatus*, *Caryophyllaeus laticeps*, *Caryophyllaeides fennica*, трематоды *Azygia lucii*, *Crepidostomum farionis*, *Bunodera luciopercae*, *Allocreadium isoporum*, нематоды *Pseudocapillaria tomentosa*, *P. salvelini*, *Raphidascaris acus*, *Haplonema hamulatum*. Однако не только исчезновение рыб – окончательных хозяев перечисленных видов обуславливает обеднение паразитофауны. Важной особенностью трансформации водоемов является обеднение видового разнообразия планктонных и бентосных сообществ. Эти изменения касаются не только численности, но и биомассы гидробионтов. На примере пресноводного зоопланктона показано, что реакция гидробионтов на изменение ионного состава воды эволюционно обусловлена и определяется исторически сформировавшимися адаптационными возможностями видов. Виды, характерные для северных водоемов со слабоминерализованной водой, проявляют отрицательную реакцию на увеличение минерализации. В частности *Eudiaptomus gracilis* и *Heterocopa appendiculata* погибают при концентрации калия выше 50 мг/л. Виды, имеющие широкое географическое распространение (представители семейств Cyclopidae, Daphniidae, Bosminidae и класса Rotatoria) не только более толерантны к минеральному загрязнению, но и проявляют положительную реакцию на поступление в водоем минеральных компонентов (Калинкина и др., 2003).

В целом, проведенные исследования показали, что антропогенная трансформация сказывается главным образом на разнообразии эндогельминтов рыб за счет относительно специализированных видов, занимающих узкую экологическую нишу. Исчезают виды, находящиеся на северной периферии ареала – все паразиты карповых рыб, связанные своим происхождением с теплолюбивым верхнетретичным фаунистическим комплексом. Снижается разнообразие гельминтов сегов и щуки – типичных компонентов фауны северных олиготрофных озер. Изменяется структура разнообразия паразитов. Исчезают нематоды, личиночные стадии которых какое-то время находятся в воде, и трематоды, имеющие наиболее сложные среди гельминтов циклы развития с участием представителей зообентоса.

В условиях загрязнения водоема отходами горнорудной промышленности преимущество получают гельминты с широкой экологической валентностью, жизненный цикл которых связан с веслоногими ракообразными сем. Cyclopidae и моллюсками рода *Lymnaea*, высоко устойчивыми к минеральному загрязнению. Именно участие этих групп беспозвоночных в жизненных циклах паразитов обуславливает сохранение и массовый характер заражения рыб цестодами и метацеркариями родов *Diplostomum* и *Tylodelphys*. При высокой концентрации кальция создаются оптимальные условия для существования моллюсков рода *Lymnaea*, и соответственно процветания их паразитов. Дополнительным фактором является способность личинок, созревших в моллюсках, долгое время активно двигаться в воде и нападать на рыб, когда они питаются в мелководной литорали. В водоеме формируются условия для стабильного цикла развития этих паразитов, определяющие их высокую численность. Сопряженность популяций паразитов и хозяев обуславливает устойчивость паразитарных систем сохранившихся видов в изменившихся внешних условиях.

Важной особенностью фауны паразитов техногенного водоема является высокая доля специфичных видов миксоспоридий и моногеней. У плотвы и щуки были обнаружены практически все массовые виды, которые составляют основу паразитофауны в естественных водоемах региона. Полученные данные позволяют считать их относительно устойчивыми к минеральному загрязнению. В первую очередь это относится к найденным видам рода *Dactylogyrus*, которые имеют прямой цикл развития.

Миксоспоридии, согласно современным представлениям, имеют сложный цикл развития, в котором промежуточными хозяевами выступают олигохеты. Современное состояние бентоса хвостохранилища связано с высокой мутностью воды, что следует выделить как существенную особенность трансформации водоема. Интенсивное оседание мелкодисперсной взвеси и высокое осадконакопление обусловило угнетение (заиление) бентосных сообществ. Только с 1993 г. при стабилизации уровня воды в хвостохранилище началось формирование литоральных комплексов фито-, зоопланктона и бентоса, однако их продуктивность минимальна и соответствует дистрофным водоемам. Видимо, низкая биомасса и численность олигохет определяют наблюдаемые невысокие значения встречаемости миксоспоридий.

Работа выполнялась при финансовой поддержке программ ОБН РАН «Биологические ресурсы России: Динамика в условиях глобальных климатических и антропогенных воздействий», Президиума РАН «Живая природа: современное состояние и проблемы развития», Грант Президента РФ (НШ-1642.2012.4), ФЦП Гос. контракты № 02.740.11.0700, № согл. 8101, гранта РФФИ № 12-04-00022.

ИЗМЕНЕНИЯ В СТРУКТУРЕ ИХТИОФАУНЫ СЕВЕРНЫХ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ИХ ХОЗЯЙСТВЕННОГО ОСВОЕНИЯ

Н.В. Ильмаст, О.П. Стерлигова

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии
Карельского научного центра Российской академии наук, Петрозаводск, Россия,
e-mail: ilmast@krc.karelia.ru*

Изменения в пресноводных экосистемах происходят как под влиянием климатических факторов (стойкие и длительные изменения температуры и водности), так и человеческой деятельности. Водоемы Северо-Запада России сравнительно молоды, немногим более 10 тыс. лет прошло с момента окончания последнего оледенения. Большинство озер в этом регионе относятся к олиготрофному типу. Наиболее существенные изменения в рыбной части сообщества пресноводных экосистем Карелии вызваны такими антропогенными факторами, как промысел, вселение новых видов, загрязнение водоемов и товарное рыбоводство (Решетников и др., 1982; Алимов, 2001, Дгебуадзе, 2003; Криксунов и др., 2005 и др.).

Интенсивное освоение территории Северо-запада Карелии связано с разработкой Костомукшского железорудного месторождения. Целью работы явилось изучение изменений в структуре рыбного населения пресноводных экосистем района расположения Костомукшского горно-обогатительного комбината.

Анализ состояния экосистем оз. Каменного, Костомукшского водохранилища и оз.Койвас показал, что водоемы характеризуются низкими показателями содержания в воде органических соединений и не высокими количественными показателями планктона и бентоса. С трофической точки зрения они относятся к олиготрофным водоемам. В составе ихтиофауны всех водных объектов по численности и биомассе доминируют рыбы бореального равнинного комплекса.

Вместе с тем, изучаемые водоемы значительно отличаются уровнем и степенью антропогенной нагрузки. Экосистема озера Каменного практически не затронута хозяйственной деятельностью. Сравненный анализ гидробиологических данных за последние 40 лет показывает значительное сходство в качественном составе и количественных показателях планкто- и бентоценозов. Ихтиофауна представлена 13 видами, среди которых преобладают окунь, сиг, ряпушка и щука. В структуре рыбного населения отмечается большое число рыб старших возрастных групп (что говорит об отсутствии промысла), средние размерно-весовые показатели рыб в озере наибольшие по сравнению другими водоемами изучаемого бассейна. Таким образом, экосистема озера Каменного сохраняет естественное состояние и близка к ненарушенным природным экосистемам.

Костомукшское водохранилище и озеро Койвас относятся к системе реки Кен-ти. Костомукшское водохранилище наиболее сильно подвержено антропогенному влиянию. Строительство плотины привело к изменению гидрологических показателей водоема. Его площадь увеличилась с 5 до 34 км² (Пальшин и др., 1994). По существующей на Костомукшском ГОКе технологии водоем служит для захоронения мелкодисперсной взвеси (хвостов обогащения) и оборотного водоснабжения, в результате чего его литоральная зона практически лишена высшей водной растительности. До строительства комбината воды озера относились к маломине-

рализованном. Общая минерализация в 1978 г. составляла в среднем 25 мг/л, в настоящее время она достигла 600 мг/л.

Исследования показывают, что техногенное загрязнение водоема (главным образом минеральное) привело к упрощению структуры водных сообществ, а именно к снижению видового разнообразия, исчезновению стенобионтных видов как в составе планктона и бентоса, так и в рыбном населении. Обедненность видового состава и низкие количественные показатели сообществ свидетельствуют об их угнетенном состоянии. Ихтиофауна водоема представлена 5 видами. К мирным рыбам относятся уклея (плантофаг), сиг (смешанный тип питания – планктон, бентос), плотва (детритофаг), хищными являются щука и налим. Для сравнения ихтиофауна озер, расположенных в районе исследования, представлена 12–16 видами рыб. В хвостохранилище отсутствуют окуневые виды – типичные представители низележащих озер системы р. Кенти. Данные С.В. Герда (1949) по распространению промысловых видов рыб в 800 озерах Карелии свидетельствуют, что ерш и окунь являются широко распространенными видами, встречающимися в 60–96% озер. Отсутствие окуневых рыб в водоеме может быть связано как с особенностями его гидрохимического режима, так и практически с отсутствием условий для их воспроизводства (слабое развитие макрофитов). Доминирующий вид хвостохранилища – плотва отличается низким темпом роста и плодовитостью, что объясняется в первую очередь ограниченностью кормовых ресурсов в водоеме. Известно, что обеспеченность рыб пищей является существенным элементом, определяющим их популяционные показатели (структура, рост, численность). Следует отметить, что видимых морфологических изменений и нарушений наружных и внутренних органов у рыб не отмечено. Вместе с тем, факт выживания и размножения популяций рыб в техногенном водоеме, свидетельствует об их высоком адаптивном потенциале в крайне неблагоприятных условиях обитания.

Анализ многолетней динамики изменения качества вод системы реки Кенти показал, что оно находится в непосредственной зависимости от состава поступающих в нее техногенных вод. В озеро Койвас идет сток вод Костомукшского водохранилища. Общая минерализация воды оз. Койвас в настоящее время составляет около 400 мг/л. Исследования 2012 г. показали, что ихтиофауна озера Койвас в отличие от Костомукшского водохранилища представлена 10 видами (6 семейств): сиг, ряпушка, налим, плотва, язь, щука, уклея, ерш, подкаменщик и окунь. Массовыми видами являются плотва, окунь, щука. На озере ведется любительский лов рыб. Надо отметить, что рыбы озера Койвас и Костомукшского водохранилища имеют близкие биологические показатели (длина и масса тела).

Таким образом, можно отметить, что изменение среды обитания в северных пресноводных экосистемах под воздействием различных форм хозяйственной деятельности обуславливает адекватные изменения в их видовом разнообразии и численности.

Работа выполнялась при финансовой поддержке программ ОБН РАН «Биологические ресурсы России: Динамика в условиях глобальных климатических и антропогенных воздействий», Президиума РАН «Живая природа: современное состояние и проблемы развития», Грант Президента РФ (НШ-1642.2012.4), ФЦП Гос. контракты № 02.740.11.0700, гранта РФФИ № 12-04-00022.

НЕТИПИЧНОЕ ДОМИНИРОВАНИЕ ДИНОФЛАГЕЛЛЯТ В ФИТОПЛАНКТОНЕ БЕЛОГО МОРЯ В ИЮЛЕ 2009 г.

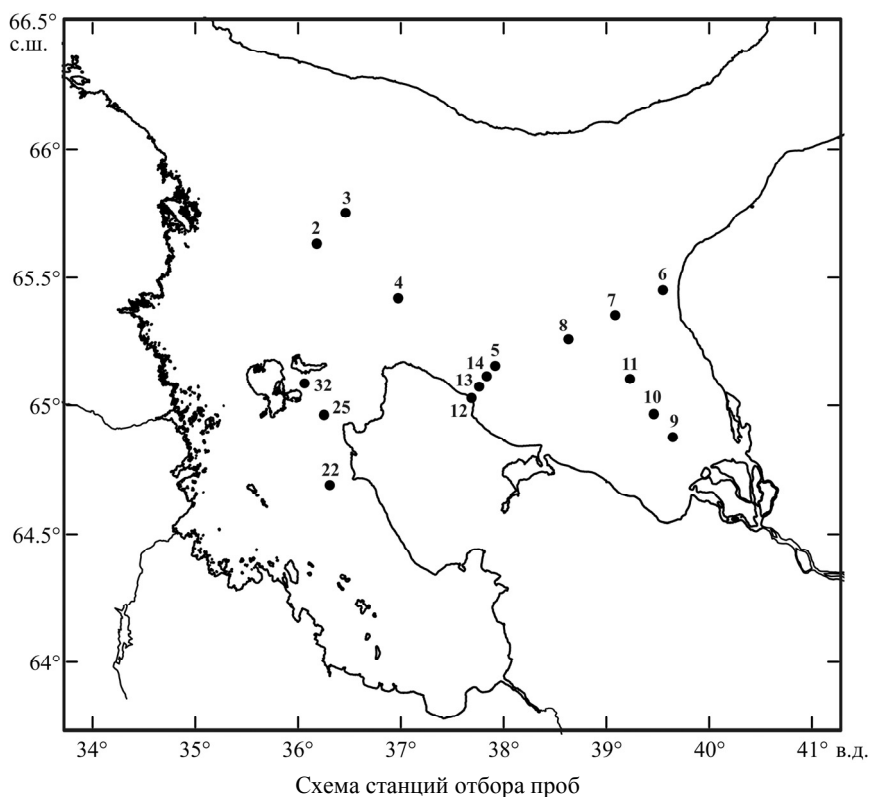
Л.В. Ильяш¹, Л.С. Житина¹, В.П. Шевченко², М.Д. Кравчишина²

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», Москва, Россия, e-mail: ilyashl@mail.ru;

² Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, Москва, Россия

Для многих морских экосистем, в том и числе и арктических, показана зависимость состава и обилия фитопланктона от структуры и динамики вод. Для Белого моря такая зависимость показана для позднелетнего периода (Ильяш и др., 2011), тогда как анализ пространственного распределения фитопланктона в июле с позиций современных представлений о гидрологии моря (Пантюлин, 2012) до настоящего времени не проводили. Это определило цель настоящего исследования, которая заключалась в оценке распределения видового состава, обилия, структуры фитопланктона по акватории Белого моря в первой декаде июля.

Материалом для работы послужили пробы, отобранные на акватории Белого моря на 16 станциях (рис.) с 6 по 11 июля 2009 г. в ходе рейса НИС «Эколог».



На комплексных судовых станциях проводили вертикальное зондирование температуры и солености мультипараметрическим зондом CTD90M (Германия). Воду отбирали с поверхностного горизонта. На станциях 2, 5 и 22 пробы отбирали с нескольких горизонтов с помощью комплекса Розетта с шестью 30-литровыми батометрами Нискина. Определение концентрации хлорофилла *a* (хл) проводили флуорометрическим методом (Holm Hansen et al., 1978) с помощью флуорометра Trilogy, предварительно откалиброванного с использованием раствор хлорофилла *a*, концентрация которого была определена спектрофотометрически. Для исследования фитопланктона пробы воды (объемом 1 л) концентрировали методом обратной фильтрации (диаметр пор 2 мкм) и фиксировали раствором Люголя. Концентрированные пробы просчитывали под микроскопом в камере типа Ножотта (объем 0.05 мл). Просчитывали 3–5 камер. Для расчета биомассы объемы клеток определяли методом геометрического подобия с последующим переводом в единицы углерода по аллометрическим зависимостям. Отнесение водорослей к фотоавтотрофам, миксотрофам или гетеротрофам проводили на основе литературных данных. Достоверность различий средних значений биомассы оценивали по критерию Манна-Уитни с использованием программы PAST.

В первой декаде июля 2009 г. воды Двинского залива и Бассейна были стратифицированы, тогда как на исследованной акватории в Онежском заливе стратификация водного столба отсутствовала. Поверхностные воды Двинского залива были более прогреты и с меньшей соленостью по сравнению с Бассейном и перемешанными водами Онежского залива (табл.). Термоклин в Бассейне начинался с глубины 12 м, в Двинском заливе – с 10 м.

Структура фитопланктона в поверхностном слое на всей исследованной акватории была сходна, несмотря на то, что были охвачены районы как с выраженной стратификацией вод, так и с нестратифицированными перемешанными водами. Основной вклад в суммарную биомассу давали динофлагелляты (67–97%), среди которых преобладали вегетативные клетки и цисты *Heterocapsa triquetra*. Это довольно неожиданный результат, поскольку ранее в первой и второй декадах июля на акватории Белого моря отмечали доминирование центральных диатомовых водорослей (Сергеева, 1991; Ильяш и др., 2003, 2012). В июле фитопланктон достигает летнего максимума обилия за счет ассимиляции в основном регенерируемых биогенных элементов. Преобладание динофлагеллят характерно для стратифицированных вод с низкой концентрацией биогенных элементов в верхнем перемешанном слое в июне и августе после соответственно весеннего и летнего пиков с преобладанием диатомовых (Ильяш и др., 2011, 2012). Можно предположить, что в первую декаду июля 2009 г. летнее цветение центральных диатомей еще не началось из-за пониженной скорости минерализации в силу низкой температуры верхнего перемешиваемого слоя. Динофитовая водоросль *Heterocapsa triquetra* – миксотроф, помимо фотосинтеза она способна питаться бактериями и другими водорослями (диатомовыми, примнезиофитовыми, криптофитовыми, динофитовыми, рафидофитовыми) с диаметром клеток менее 12 мкм (Jeong et al., 2005). Миксотрофный тип питания обеспечивает рост и конкурентное преимущество этой водоросли при низкой концентрации минеральных ресурсов.

Температура (Т), соленость (S), биомасса фитопланктона (В) и концентрация хлорофилла а (Хл) в поверхностном слое

Акватория	№№ станции	Т, °С	S, епс	В, мг С /м ³	Хл, мг/м ³
Двинский залив	12	12,2	24,1	13,3	1,39
	13	11,7	24,9	10,8	1,48
	14	11,8	24,5	13,9	0,84
	5	11,6	24,4	6,1	1,08
	8	11,3	22,1	17,2	1,28
	7	10,5	21,5	12,1	1,11
	6	6,5	25,0	8,6	0,88
	11	11,7	20,6	11,7	1,00
	10	13,3	15,1	17,9	0,84
Онежский залив	9	12,8	15,4	5,5	0,98
	22	10,3	25,9	80,7	6,58
	25	7,9	26,1	29,4	1,81
Бассейн	32	—	—	22,2	1,15
	2	10,2	25,8	30,2	1,42
	3	10,1	24,3	6,6	1,14
	4	8,3	26,4	20,2	1,52

Примечание (—) – данные отсутствуют.

Величины средней суммарной биомассы фитопланктона в поверхностном слое составили: в Двинском заливе – 12 ± 4 мг С/м³ и $1,09 \pm 0,23$ мг хл/м³ (n = 3), в Бассейне – 19 ± 12 мг С/м³ и $1,36 \pm 0,20$ мг хл/м³ (n = 3), в Онежском заливе $44,1 \pm 31,9$ мг С/м³ и $3,18 \pm 2,96$ мг хл/м³ (n = 10). С учетом других станций вблизи Соловецких островов, где измеряли концентрацию хлорофилла без оценки биомассы планктонных водорослей, средняя концентрация хлорофилла а в Онежском заливе составила $2,09 \pm 1,92$ мг/м³ (n = 8). Средняя биомасса фитопланктона Двинского залива была достоверно ниже таковой в Онежском заливе, тогда как средние значения концентрации хлорофилла а достоверно не различались. Средние величины биомассы фитопланктона и концентрации хлорофилла а в Онежском заливе и Бассейне достоверно не различались. Средняя биомасса фитопланктона Двинского залива и Бассейна достоверно не различалась, тогда как средняя концентрация хлорофилла а была достоверно ниже в Двинском заливе.

В перемешанных водах Онежского залива на ст. 22 наибольшая биомасса водорослей была приурочена к горизонту 5 м, интегральная биомасса фитопланктона в слое 0–20 м (фотический слой) составила 1608 мг С/м² и 93 мг хл/м². В Двинском заливе на ст. 5. наибольшая биомасса водорослей отмечена на глубине 5 м, интегральная биомасса фитопланктона в слое 0–50 м составила 234 мг С/м² и 22,1 мг хл/м². В фотическом слое (0–19 м) было сосредоточено 70% биомассы водорослей и хлорофилла. В Бассейне на глубоководной ст. 2 (246 м) наибольшая концентрация водорослей отмечена в поверхностном слое, интегральная биомасса фитопланктона в слое 0–140 м составила 237 мг С/м² и 43 мг хл/м². В фотическом слое (0–20 м) было сосредоточено 72% биомассы водорослей и 42% хлорофилла. Следует подчеркнуть присутствие планктонных водорослей на большой глубине. На горизонте 140 м биомасса фитопланктона составляла 1,04 мг С/м³ и 0,05 мг хл/м³, встречены диатомовые водоросли *Coscinodiscus asteromphalus*, *Thalassiosira* spp., *Skeletonema costatum* и *Navicula* spp., гетеротрофные динофла-

гелляты *Amphidinium crassum*, *Gymnodinium simplex*, *Protoperidinium* sp. и цисты динофлагеллят, включая цисты *Heterocapsa triquetra*. Присутствовали также эвгленовые и неидентифицированные мелкие жгутиковые водоросли. Полагают, что вне фотической зоны фитопланктон представлен оседающими клетками водорослей, латентными стадиями водорослей, способными к прорастанию при выносе в фотическую зону, и гетеротрофными формами.

Сопоставление с количественными параметрами фитопланктона в 2009 и 2008 гг. показало следующее. В Онежском заливе в первой декаде июля биомасса планктонных водорослей в 2009 г. достоверно не отличалась от таковой в 2008 г. В Двинском заливе биомасса фитопланктона в первой декаде июля 2009 г. была достоверно ниже биомассы водорослей в третьей декаде июня 2008 г., когда на всей акватории залива массового развития достигала диатомовая водоросль *Skeletonema costatum*.

Таким образом, в начале июля 2009 г. обилие фитопланктона зависело от структуры вод. Наибольшая биомасса отмечалась в нестратифицированных водах, где в результате приливного перемешивания происходит поступление минеральных биогенных элементов. В стратифицированных водах Двинского залива в период летней межени поступление биогенных элементов в фотический слой ограничено, и обилие фитопланктона более низкое. Однако структура фитопланктона в поверхностном слое на всей исследованной акватории была сходна и не зависела от структуры вод. Основной вклад в суммарную биомассу давали динофлагелляты, среди которых преобладали вегетативные клетки и цисты *Heterocapsa triquetra*.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 12-04-00477-а.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ УЯЗВИМОСТИ К НЕФТЯНОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ НА ПРИМЕРЕ БЕЛОГО МОРЯ

О.П. Калинин, А.Н. Карнатов, П.С. Ващенко

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Мурманский морской
биологический институт Кольского научного центра Российской академии наук,
Мурманск, Россия, e-mail: Olg-kalinka@yandex.ru*

В настоящее время активизируется хозяйственная деятельность по освоению шельфа Арктики, в том числе активно развивается деятельность, связанная с транспортировкой нефти и нефтепродуктов из портов, расположенных на побережье Белого моря. Вместе с этим, Белое море относится к внутренним морям Северного Ледовитого океана, небольшое и достаточно неглубоководное, а так же на его акватории выделяют более 20 действующих и предполагаемых особо охраняемых природных территорий (ООПТ). Поэтому крайне негативны антропогенное воздействие и последствия разливов нефти для беломорской экосистемы. В этой связи актуально создание целостной картины экологической уязвимости акватории моря к разливам нефти, которая позволит оценивать последствия деятельности нефтегазовых и транспортных компаний, а также принимать меры по предотвращению или уменьшению негативного воздействия на морские биоресурсы и сохранению биологического разнообразия.

В мировой практике для оценки экологической уязвимости широко используются карты чувствительности/уязвимости при планировании мероприятий по ликвидации аварийных разливов нефти. Для ряда российских морей в рамках отдельных проектов были построены карты уязвимости к различным видам антропогенного воздействия компанией ЗАО “Экопроект”. Однако арктические моря были охвачены лишь частично (Интегральная оценка ..., 1999; Погребов, Пузаченко, 2000, 2003а; 2003б; Погребов, Пузаченко, 2010). Поэтому в настоящей работе, основываясь на базовых принципах подхода ЗАО “Экопроект”, была рассчитана экологическая уязвимость Белого моря от действия нефти и построены соответствующие карты для всей его акватории.

Экологическая уязвимость акватории определяется как результат суммирования произведений ранжированной численности/биомассы компонента биоты (Y) на коэффициент уязвимости этого компонента от действия нефти (W).

В данной работе для аналитической обработки экосистемы Белого моря были выбраны основные группы морских организмов: фито-, зоо-, ихтиопланктон, зообентос, основные виды рыб, морские млекопитающие и птицы. По данным ММБИ были построены тематические карты пространственного распределения каждого компонента биоты (Y), Это исходные карты, представленные в виде полигональных шейп-файлов, на которых численность или биомасса заданы как области (полигоны) с рангами от 0 (отсутствие объекта) до 3 (максимальная численность/биомасса), (Ramboll Barents ..., 2010). На основе анализа известных экспериментальных данных о токсическом действии нефти и нефтепродуктов на рассматриваемые экологические группы гидробионтов (Шавыкин, Ильин, 2010), были определены коэффициенты их уязвимости (W). Наиболее уязвимыми являются птицы ($W_o = 6.3$) и ихтиопланктон ($W_i = 6.3$), наименее уязвимыми являются мор-

ские млекопитающие ($W_m = 1$) и рыбы ($W_f = 3.1$). Остальные группы имеют средние значения: фитопланктон $W_p = 4.3$, зоопланктон $W_z = 5.3$, зообентос $W_b = 4.9$. Это в определенной мере соответствует коэффициентам, ранее использовавшимся для подобных расчетов (Шавыкин и др., 2008; Погребов, 2003).

В качестве инструмента для расчета экологической уязвимости (V) в среде ArcGIS 9 на языке программирования Visual Basic for Applications был создан программный модуль, позволяющий производить «суммирование» карт распределения различных параметров с использованием следующей формулы:

$$V = W_p \cdot Y_p + W_z \cdot Y_z + W_i \cdot Y_i + W_b \cdot Y_b$$

где карты рангового распределения биомассы/численности (Y) отдельных групп гидробионтов (p, z, i, b) (более корректно – значения ячеек отдельных карт) программно перемножаются на соответствующие им весовые коэффициенты (W) и суммируются по сезонам.

Для учета сезонных количественных различий в распределении гидробионтов и более корректного сравнения уязвимости Белого моря между сезонами был введен, основанный на экспертных оценках, дополнительный нормированный сезонный коэффициент (НСК) компонента биоты для каждого сезона. НСК отражает соотношение численности (биомассы) каждой группы гидробионтов между сезонами, и нормирован с тем, чтобы сумма сезонных коэффициентов для каждого компонента была равна за год одному и тому же условно выбранному численному значению.

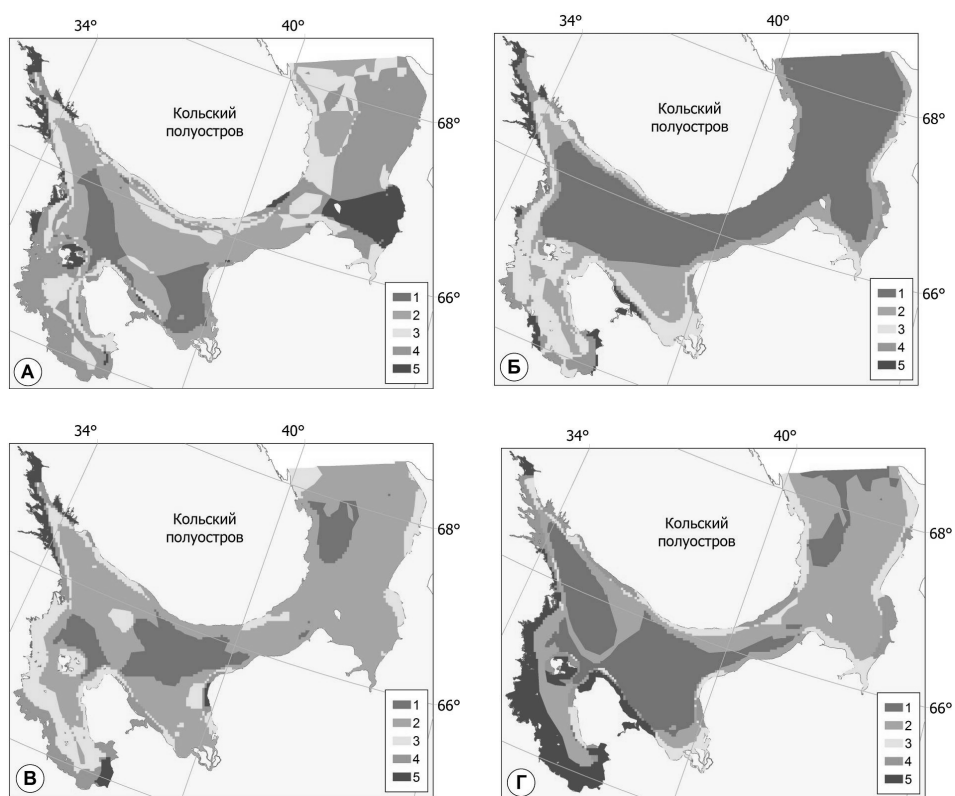
В результате были построены карты экологической уязвимости Белого моря, с учетом сезонных различий в количественных показателях распределения гидробионтов, для выделенных сезонов года (рис.). Значения экологической уязвимости ранжированы по 5-тибальной шкале: 1 – наименьшая уязвимость, 5 – наибольшая уязвимость.

Полученные карты экологической уязвимости Белого моря по сезонам (рис.) позволяют сделать следующие выводы. Наиболее уязвимыми являются прибрежные районы во все сезоны. Главным образом, это западное побережье Белого моря от Кандалакшского до Онежского залива. Зимой район высокой уязвимости (от горла Белого моря до Мезенского залива) обусловлен наличием морских млекопитающих и бентоса повышенной для данного сезона плотности.

Карты экологической уязвимости могут применяться как при планировании операций по ликвидации разливов нефти для конкретного участка побережья Белого моря в конкретный сезон, например, при составлении планов ликвидации разливов нефти (планы ЛРН), так и во время реальных разливов. Использование карт позволяет предварительно оценивать ущерб, который может быть нанесен в результате нефтяного загрязнения, и оперативно определять районы приоритетной защиты в заданном месте в конкретный период года.

Последние годы велась активная работа по изучению существующих российских и зарубежных подходов к оценке и построению карт чувствительности/уязвимости прибрежно-морских зон. По результатам их анализа, а так же с учетом собственного опыта при создании подобных карт для Белого моря, были сформулированы рекомендации по расчету экологической уязвимости морских экосистем от загрязнения нефтью. Оценка уязвимости должна основываться на реальной уязвимости от нефти как биоты, так и участков акватории и прибрежной

зоны. Из-за различий в свойствах нефти и поведении ее при разливе – воздействие на окружающую среду будет различным. Например, легкая нефть может полностью быстро испариться и окажет влияние только на морских птиц, и практически не будет влиять на бентос. В то же время, мазут или другая тяжелая нефть через некоторый промежуток времени (очень небольшой, если в воде много взвеси) может погрузиться на дно и на мелководье нанести наибольший вред бентосу, однако воздействие затонувшей нефти на птиц может быть небольшим. Перечисленные параметры, определяющие уязвимость от различных типов нефти, должны выражаться индексом уязвимости для каждого из важных компонентов биоты (ВКБ), и абиотических ресурсов – особо уязвимых экологических, социально-культурных и экономических участков на акватории моря (ОЗУ), а так же берегов.



Карты экологической уязвимости Белого моря по сезонам:
А – зима; Б – весна; В – лето; Г – осень

При оценке индексов уязвимости для ВКБ следует учитывать чувствительность биоты к нефти (S), способность видов /групп видов к восстановлению (R) и потенциальное воздействие нефти на биоту (E). Конкретные значения коэффициентов уязвимости предлагается рассчитывать по формуле: $V = (E \cdot S) / R$.

Параметры, определяющие уязвимость (E, S, R), задаются с учетом экспертных оценок и накопленных знаний о биологии организмов и влияния на них различных типов нефти.

Коэффициенты уязвимости для ОЗУ следует определять по природоохранному статусу для ООПТ (заповедников, заказников, национальных ОЗУ парков и т. д.) в соответствии с преобладающей национальной и международной природоохранной политикой, действующими законами, а также с учетом приоритетности хозяйственного использования и эколого-экономической ценности каждого участка. Так, ООПТ являются наиболее «уязвимыми», как и рекреационные территории. При этом уязвимость заповедников, выше, чем у заказников и еще выше, чем у национальных парков. Коэффициент уязвимости для участков хозяйственного использования тем выше, чем выше его значимость для функционирования экосистемы и человека. Уязвимость берегов от загрязнения нефтью целесообразно оценивать по индексам ESI (ИМО/ИРЕСА, 1996, 2010).

Схожие идеи по расчету уязвимости предлагались голландскими учеными в их методе *построения сезонных карт экологической уязвимости (V-map)* для своей исключительной экономической зоны (Offringa, Lahr, 2007). Однако, по словам самих авторов, в практической реализации эта методика оказалась достаточно сложна и в настоящее время не используется. Поэтому в настоящее время нами ведется работа по определению параметров, определяющих уязвимость, излишне не усложненной, но дающей адекватную картину уязвимости. Это даст возможность разрабатывать карты уязвимости наиболее полно отражающие все важные аспекты уязвимости компонентов экосистемы и воздействия нефти.

Литература

Интегральная оценка уязвимости морских экосистем при аварийных разливах в Арктике / В.Б. Погребов, М.В. Гаврило, И.Л. Туманов, Н.В. Чернова // Оптимизация использования морских биоресурсов и комплексное управление прибрежной зоной Баренцева моря: Тез. докл. регион. семинара, посвященного 45-летию Первой научной сессии Мурманской биологической станции (г. Мурманск, 30 ноября, 1999 г.). Мурманск: ММБИ КНЦ РАН, 1999. С. 88–90.

Оценка интегральной уязвимости акватории Баренцева моря к нефтяному загрязнению: Отчет ММБИ по договору WWF 000325 от 12 января 2009 г. WWF-Россия–ММБИ / ММБИ КНЦ РАН; Руководитель работы А.А. Шавыкин. Мурманск, 2009а. 300 с.

Погребов В.Б. Интегральная оценка экологической чувствительности биоресурсов береговой зоны к антропогенным воздействиям // Основные концепции современного берегопользования. Т. 2. СПб: изд-во РГГМУ, 2010. С. 43–85.

Погребов В.Б., Пузаченко А.Ю. Интегральная оценка потенциальной уязвимости биоты к операциям по разработке шельфовых месторождений нефти // Поморье в Баренц-регионе на рубеже веков: экология, экономика, культура: Тез. докл. Архангельск: Изд-во ИЭПС УрО РАН, 2000. С. 221–225.

Погребов В.Б., Пузаченко А.Ю. Интегральная чувствительность морских экосистем к нефтяному загрязнению // Материалы 5-го научного семинара “Чтения памяти К.М. Дерюгина”. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2003а. С. 5–22.

Погребов В.Б., Пузаченко А.Ю. Экологическая уязвимость Баренцева, Белого, Балтийского, Черного и Каспийского морей к операциям по добыче и транспортировке нефти: сравнительный анализ // Освоение шельфа Арктических морей RAO-03. СПб., 2003б. С. 389–393.

Шавыкин А.А., Г.В. Ильин Оценка интегральной уязвимости Баренцева моря от нефтяного загрязнения. – Мурманск: ММБИ КНЦ РАН, 2010. 110 с.

Шавыкин А.А., Калинка О.П., Духно Г.Н., Сапрыгин В.В., Зырянов С.В. Оценка интегральной уязвимости акватории Баренцева моря к нефтяному загрязнению // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2008. № 3. С. 13–23.

IMO / IPIECA Sensitivity mapping for oil spill response. V. 1. London: IPIECA, 1996. 21 p.

IMO / IPIECA. Sensitivity mapping for oil spill response. V. 1. London: IPIECA, 2010

Offringa H.R., Lahr J. An integrated approach to map ecologically vulnerable areas in marine waters in the Netherlands (V-maps). RIKZ working document. Ministry of Transport, Rijkswaterstaat, National Institute for Marine and Coastal Management, The Hague, Netherlands, 2007.

Ramboll Barents Проект ЮНЕП/ГЭФ «Российская Федерация – Поддержка Национального плана действий по защите арктической морской среды» Пилотный проект: Совершенствование системы реагирования на аварийные разливы нефти и нефтепродуктов в арктических условиях для защиты особо чувствительных к нефтепродуктам прибрежных районов (на примере Баренцева и Белого морей) технический отчет. Том I., Мурманск, 2010. С. 1–218 http://archive.iwlearn.net/npa-arctic.ru/Documents/demos/new/rprts/oil_spills_rpt.pdf Дата обращения 06.02.2013.

ОСОБЕННОСТИ КАРДИОАКТИВНОСТИ И ЗАЩИТНОГО ПОВЕДЕНИЯ БЕЛОМОРСКОГО МОЛЛЮСКА *TESTUDINALIA TESULATA*

Н.Н. Камардин, В.Ф. Любимцев, С.В. Холодкевич

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: nik-kamardin@yandex.ru

У литоральных моллюсков, принадлежащих к различным классам и семействам, наряду с морфологическими адаптациями (уплощенное тело с плоской или конической раковиной) описаны разнообразные формы защитного поведения. Элементы защитного поведения проявляются уже в первые дни взрослой жизни, что указывает на их наследуемую, безусловно-рефлекторную природу. У моллюсков, которые не имеют крышечки (operculum), защитная реакция происходит за счет того, что коническая раковина с широким устьем плотно прижимается к твердому субстрату, благодаря сокращению мышц-аддукторов ноги с одной стороны и наличию присасывающего усилия ноги с другой. Плотность контакта края раковины с субстратом особенно велика в индивидуальном месте на скале или «доме», известном для видов, у которых обнаружена реакция хоминга (Камардин, 1989). В таком «замкнутом» положении литоральные моллюски могут пребывать длительное время, используя для дыхания небольшое количество воды, оставшееся в мантийной полости и в пространстве под раковиной. Асфиксия, снижение обменных реакций и гиперкапния вызывает снижение частоты сердечных сокращений (ЧСС), а иногда и сердечную аритмию (De Piro, Marshall, 2005). В случае токсического воздействия, обнаруженная брадикардия чаще всего списывается на асфицию, вызванную длительным «замкнутым» состоянием моллюска, а не действие токсиканта (De Piro, Marshall, 2005). Однако, у некоторых видов Archaeogastropoda, в лабораторных условиях защитное поведение и вызванная им изоляция мантийной полости проявляется недостаточно, а при действии токсикантов не вызывает значительного снижения ЧСС. Выяснению возможных механизмов этого явления посвящено настоящее исследование.

Объектами исследования были переднежаберные моллюски *Testudinalia tesulata*, собранные на сублиторали Чупинской губы Кандалакшского залива Белого моря. Животные акклимировались в лабораторных условиях в искусственной морской воде с соленостью 29.0‰ при постоянной температуре 9.0 ± 0.3 °C. Животных содержали при искусственном световом режиме 12С:12Т на естественном кормовом режиме. Затем моллюскам приклеивали на раковину датчики для записи кардиоактивности и помещали в 3,0 л экспериментальный аэрируемый аквариум. Соленость контролировали рефрактометром TI-SAT28 (Trans Instruments, USA) с автоматической компенсацией температуры измеряемого раствора. Кардиоактивность регистрировали неинвазивно с помощью оригинального волоконно-оптического фотоплетизмографа, соединенного с компьютером через аналого-цифровой преобразователь. Специально созданная программа “VarPuls” позволяла проводить в автоматическом режиме математическую обработку ЧСС, а также визуализировать её одновременно у 7 моллюсков и измерять её текущую среднюю величину ЧСС в реальном времени.

В начале эксперимента прослеживали изменения кардиоактивности и поведения моллюсков при тест-воздействии разбавленной на 50% морской воды. Тест продолжался в течение 1–2 часов, затем солёность воды быстро восстанавливали. Далее изучали эффект острого воздействия Cu при добавлении в аквариум с моллюсками раствор CuSO_4 . При этом суммарная концентрация Cu в аквариуме составила 275,0 мкг/л. Для моллюсков это было ниже летальной величины, но выше имеющейся в естественных условиях обитания этих животных.

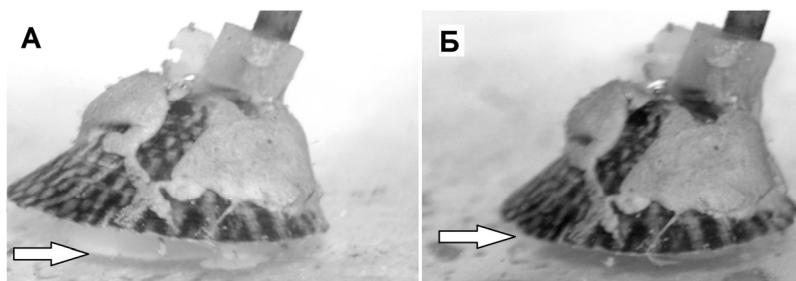


Рис. 1. Моллюск *Testudinalia tesulata* в обычном положении (А) и во время защитного рефлекса (Б). Стрелки указывают положение ноги и края раковины

У тестудиналий гипоосмотическое воздействие, по предварительным наблюдениям, вызывает защитную поведенческую реакцию (прижатие моллюска к стеклу аквариума). На рисунке 1 представлены последовательные стадии этого рефлекса. В лабораторных условиях он длится недолго и через несколько минут раковина снова приподымается. Вместе с тем брадикардическая реакция наблюдается всё время пребывания животных в разбавленной на 50% морской воде. Подобная реакция сердечной системы было описана у нескольких видов пателл и сифонарий. Быстрое увеличение солёности до нормального значения приводит к возрастанию ЧСС, причем часто выше исходного значения ЧСС, которое было зарегистрировано до гипоосмотического теста (рис. 2, А). Очевидно, осморцепторы, реагирующие на снижение и увеличение солёности связаны не только с разномодальными мотонейронами, но и запускают различные регуляторные системы сердца. Адренергическую, при увеличении солёности и холинергическую – при её снижении. О возможном тормозном холинергическом механизме брадикардии у мидий было известно ранее (Curtis et al., 2001). Моллюски-блюдечки часто используются в целях биомониторинга природных и антропогенных загрязнений тяжёлыми металлами (ТМ). Причем в зависимости от степени связи сердечной системы с дыханием и выделением, наблюдаются как брадикардические, так и тахикардические реакции в ответ на воздействие ТМ. Обычно, брадикардию связывают с защитным механизмом изоляции и возникновением асфиксии и гиперкапнии. В наших предварительных экспериментах высокая концентрация меди (275,0 мкг/дм³) приводит к быстрому снижению ЧСС примерно на 20% и сохранению этого ритма в течение всего времени экспозиции моллюсков (около 2 часов). При смене морской воды с медью на нормальную происходит быстрое восстановление нормального значения ЧСС (рис. 2, Б). Скорость этой реакции указывает скорее на нейрональные механизмы, чем на обменные, которые обычно у беспозвоночных

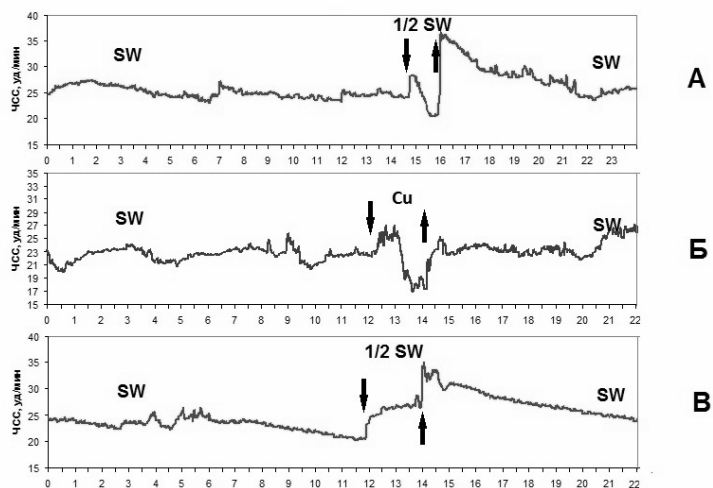


Рис. 2. Оригинальные записи кардиоактивности *Testudinalia tesulata* в течение суток. Стрелки указывают начало и конец воздействия: А – гипоосмотической морской воды ($1/2$ SW); Б – меди; В – гипоосмотической морской воды через сутки после воздействия меди. По оси X-ЧСС в ударах в мин., по оси Y – время в часах

происходят с низкой скоростью. Кроме того, в наших экспериментах защитное поведение и изоляция моллюска не были длительными. Очевидно, для возникновения брадикардической реакции необходимо участие каких-либо осмо- и хемосенсорных мантийных структур, которые могли бы в ответ на внешнее воздействие вызывать изменения в активности центральных нейронов и, как следствие этого, торможение сердечной активности. Ранее известно, что осфрадий моллюсков воспринимает изменения физико-химических параметров среды и может реагировать на токсические вещества, в частности на тяжелые металлы (Kamardin, 1995, Kamardin et al., 1999). К возможной роли осфрадия в регуляции ЧСС при токсических воздействиях приходят другие авторы (Curtis et al., 2001). На роль такого органа могут претендовать так же многочисленные мантийные щупальца с хеморецепторными клетками (Taylor, Miller, 1989). В то же время повторное кратковременное воздействие гипоосмотической морской воды на моллюсков, которое мы провели через сутки после 2 часового пребывания их высокой концентрации меди показали, что Cu изменил обычный ход защитного рефлекса. Вместо снижения ЧСС, отчетливо наблюдается её повышение, которое длится всё время гипоосмотического воздействия (рис. 2, В). При замене разбавленной воды на нормальную, моллюски восстанавливали свою ЧСС до фоновой величины, а иногда и превосходили её. Это может быть объяснено влиянием Cu на биоэлектрические свойства, как рецепторных клеток хемосенсорных органов, так и непосредственным влиянием на нейроны и синаптические контакты в ЦНС моллюсков. При 3-минутном воздействии Cu^{2+} ингибировало суммарный рецепторный потенциал (СРП) осфрадиальной поверхности моллюска-живородки (Kamardin et al., 1999, Камардин, Ноздрачев, 2004). Изменившаяся в ответ на воздействие ТМ, импульсация от осмо- и хеморецепторных клеток поступает в структуры ЦНС. У лёгоч-

ных моллюсков обнаружены и идентифицированы нейроны ЦНС, в которых при действии ТМ и различных медиаторов меняется импульсная активность, а также Na^+ и K^+ мембранные токи (Szucs et al. 1994). Наши предварительные эксперименты выявили влияния солености и Cu на кардиоактивность тестудиналий. Известно, что возникновение тахикардии или брадикардии зависит от модальности воздействия, специфики клеток ЦНС, часть которых являются важными регуляторными элементами их кардиореспираторной системы (Winlow, Syed, 1992; Сафонова и др., 2008).

Непосредственное воздействие на рецепторы изменяет текущие электрические процессы в периферических рецепторных органах, что в свою очередь, посредством активности нейронов ЦНС и регуляторных нейрогормональных процессов, может влиять на деятельность сердца. Таким образом, регистрация кардиоактивности позволяет отслеживать значительные изменения в среде, вызванные как природными, так и антропогенными факторами.

СОДЕРЖАНИЕ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВОДАХ БЕЛОГО МОРЯ

Н.В. Климовский, И.В. Петракова, А.Л. Левицкий

Северный филиал Федерального государственного унитарного предприятия «Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича», Архангельск, Россия, e-mail: klimovskiy@pinro.ru

Белое море обладает значительными запасами морских, проходных и полупроходных рыб лососево-сигового комплекса, беломорской сельди, наваги, промысловых видов морских макрофитов и морских млекопитающих. Одной из наиболее важных задач в данном отношении является изучение биохимической основы продуктивности, влияющей как на формирование запасов промысловых объектов, так и на их качество.

Особую роль в функционировании морских экосистем играют биогенные элементы, которые вместе с кислородом и углеродом входят в состав живого вещества и являются необходимым условием процесса жизнедеятельности организмов. В первую очередь это касается азота и фосфора. Их потребление фитопланктоном в процессе фотосинтеза составляет основу минерального питания водорослей. Без азота растения не могут образовывать новые клетки, он также является необходимым конструктивным элементом. Фосфор не только участвует в конструктивных реакциях, но и определяет прохождение многих энергетических процессов, протекающих в клетках при обмене веществ.

Пространственное распределение биогенных элементов в Белом море зависит, главным образом, от динамики вод. Особенностью гидрохимии данных вод является исключительное богатство их кремнием и соединениями азота, что связано с обильным речным стоком, с которым в море попадают большие количества выше перечисленных соединений, соответственно и зоны, подверженные их воздействию, характеризуются полями повышенных концентраций этих элементов.

В статье представлены результаты исследований биогенных элементов (фосфаты, кремний, нитраты и нитриты) вод Белого моря в осенний период 2012 г. Станции располагались равномерно по всей акватории (по 6 станций в каждом районе). Пробы воды отбирались с поверхностного и придонного горизонтов. Анализ проб проводился согласно общепринятым в гидрохимической практике методикам. Приведены и проанализированы карты распределения фосфатов, нитратов и кремния в водах Белого моря поверхностного и придонного горизонтов.

В осенний период почти на всей акватории Белого моря в поверхностном слое воды наблюдалось равномерное распределение фосфатов и их концентрации варьировались от 0,020–0,035 мг/дм³ (рис. 1а). Если рассматривать отдельные районы, то максимум содержания фосфатов в поверхностном слое отмечен в Онежском заливе (0,056 мг/дм³) и кутовой части Двинского залива (0,051 мг/дм³). Распределение фосфатов в придонном слое показало, что максимальные концентрации зафиксированы в глубоководных частях Бассейна Белого моря (0,064 мг/дм³), на границе Кандалакшского залива и Бассейна Белого моря (0,042 мг/дм³), в кутовых частях Двинского, Онежского и Мезенского заливов 0,051 мг/дм³, 0,056 мг/дм³, 0,040 мг/дм³ соответственно (рис. 1б).

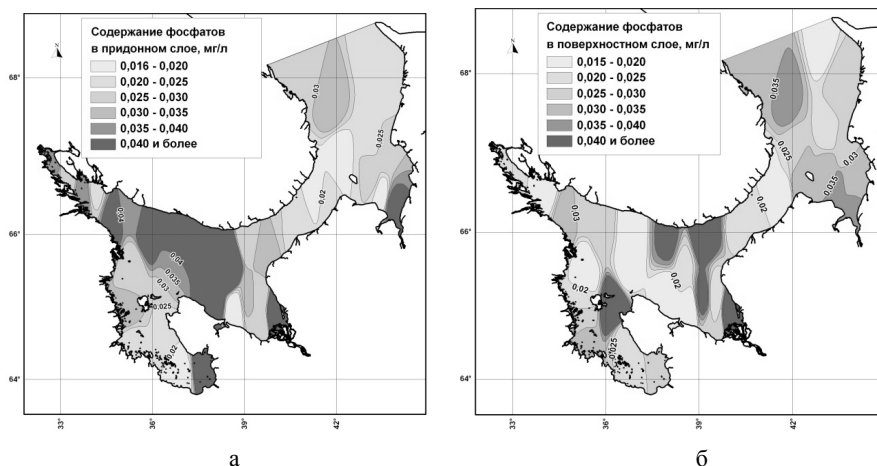


Рис. 1. Распределение фосфатов (мг/дм^3) в водах Белого моря в осенний период 2012 г.: а – в поверхностном слое, б – в придонном слое

Количественное содержание нитратов в водах Белого моря на поверхностном горизонте изменялось от $0,017 \text{ мг/дм}^3$ в Кандалакшском заливе до $0,087 \text{ мг/дм}^3$ в Воронке Белого моря (рис. 2а). Значения концентраций нитратов на исследуемой акватории придонного горизонта варьировались от $0,034$ до $0,118 \text{ мг/дм}^3$. Высокие концентрации нитратов зафиксированы в глубоководных частях Бассейна и Кандалакшского залива Белого моря, их значения достигали до $0,118 \text{ мг/дм}^3$, в Онежском заливе максимум наблюдался в районе Соловецких островов и составил $0,084 \text{ мг/дм}^3$ (рис. 2б).

Количественное содержание нитритов в исследуемых районах из-за их нестойкости очень незначительно. В среднем концентрация нитритов в водах Белого моря составила $0,003 \text{ мг/дм}^3$ в поверхностном и придонном слоях.

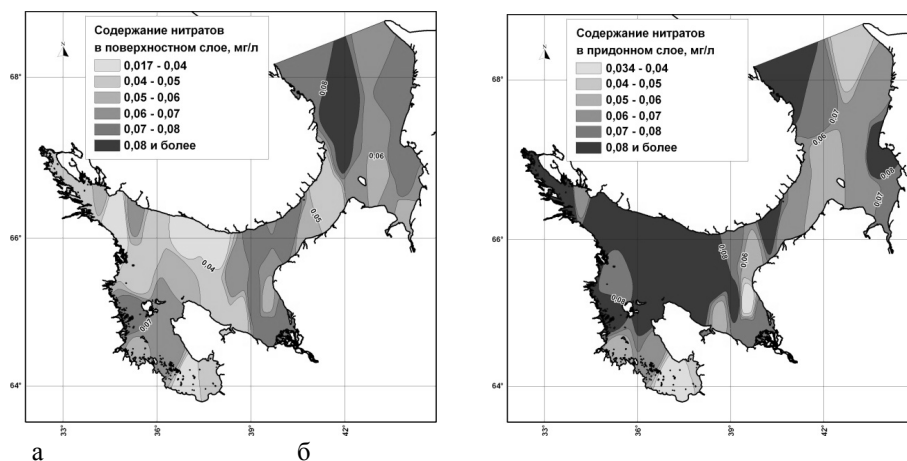


Рис. 2. Распределение нитратов (мг/дм^3) в водах Белого моря в осенний период 2012 г.: а – в поверхностном слое, б – в придонном слое

Распределение кремния на акватории Белого моря заметно различалось по районам исследования. Среднее значение концентраций кремния в поверхностном слое воды составило $0,26 \text{ мг/дм}^3$ и варьировалось от $0,19 \text{ мг/дм}^3$ в Воронке Белого моря (при этом минимальная концентрация составила $0,11 \text{ мг/дм}^3$) до $0,35 \text{ мг/дм}^3$ в Двинском заливе (максимальная концентрация зафиксирована в его кутовой части и составила $0,52 \text{ мг/дм}^3$) (рис. 3а) Среднее значение концентраций кремния в придонном слое воды составило $0,30 \text{ мг/дм}^3$ и варьировалось от $0,19 \text{ мг/дм}^3$ в Воронке Белого моря до $0,39 \text{ мг/дм}^3$ (рис. 3а) Максимальное содержание кремния зафиксировано на глубоководных станциях Бассейна Белого моря и составило $0,47 \text{ мг/дм}^3$ (рис. 3б)

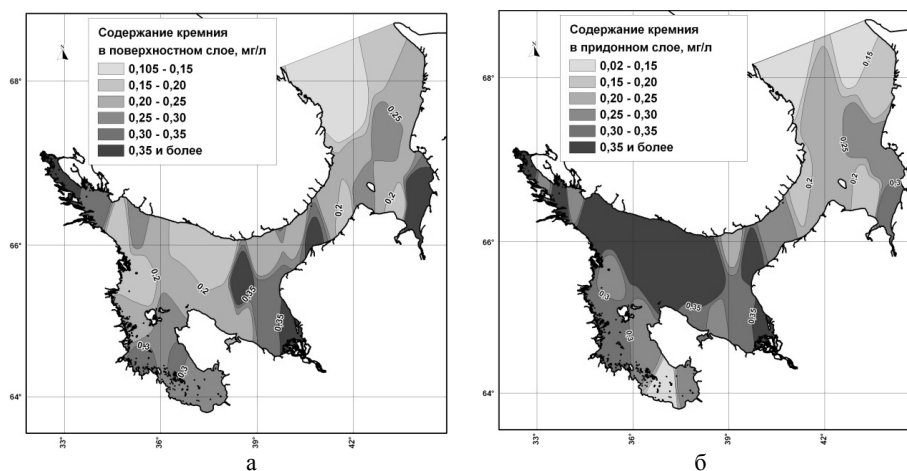


Рис. 3. Распределение кремния (мг/дм^3) в водах Белого моря в осенний период 2012 г.:
а – в поверхностном слое, б – в придонном слое

По результатам исследований акватории Белого моря в осенний период 2012 г. можно сказать, что в мелководных, хорошо перемешиваемых районах биогенные элементы равномерно распределены во всей толще воды. В относительно глубоководных районах наблюдается стратификация биогенных элементов.

**ВНУТРИВИДОВАЯ КОНКУРЕНЦИЯ КАК ПРИЧИНА ЦИКЛИЧЕСКИХ
ИЗМЕНЕНИЙ ПЛОТНОСТИ ПОПУЛЯЦИИ *LITTORINA OBTUSATA*
(GASTROPODA: LITTORINIDAE)**

Е.В. Козминский

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Зоологический институт
Российской академии наук,
Санкт-Петербург, Россия, e-mail: ekozminsky@gmail.com

Периодические флуктуации численности популяции обнаружены у млекопитающих, птиц, насекомых и моллюсков (MacLulich, 1937; Elton, 1942; Baltensweiler, 1964; Lack, 1966; Bachelet, 1986; Максимович, Герасимова, 2004). Их причиной может быть изменение обилия пищи, воздействие хищников и паразитов, внутривидовая конкуренция и генетическая неоднородность популяции (Hudson et al., 1998; Sinclair et al., 2003; Högstedt et al., 2005). Во многих случаях, причины циклических изменений численности не установлены. Их выяснение необходимо для более глубокого понимания функционирования природных экосистем и планирования природоохранных мероприятий.

В ходе долговременных наблюдений (1982–1995 гг.) за популяционной динамикой литоральных моллюсков *Littorina obtusata* (Linnaeus, 1758), были обнаружены циклические изменения численности популяции, связанные с изменениями уровня ее воспроизводства, однако вызывающие их причины остались неясны (Sergievsy et al., 1997). Настоящая работа основана на мониторинговых наблюдениях той же самой популяции, выполненных в 2001–2010 гг. В этот период также наблюдались изменения численности популяции *L. obtusata*, сходные с обнаруженными ранее. Соответственно, целью этого исследования было (1) выявление факторов, влияющих на численность популяции литторин и (2) разработка гипотезы, объясняющей циклические изменения численности у этого вида.

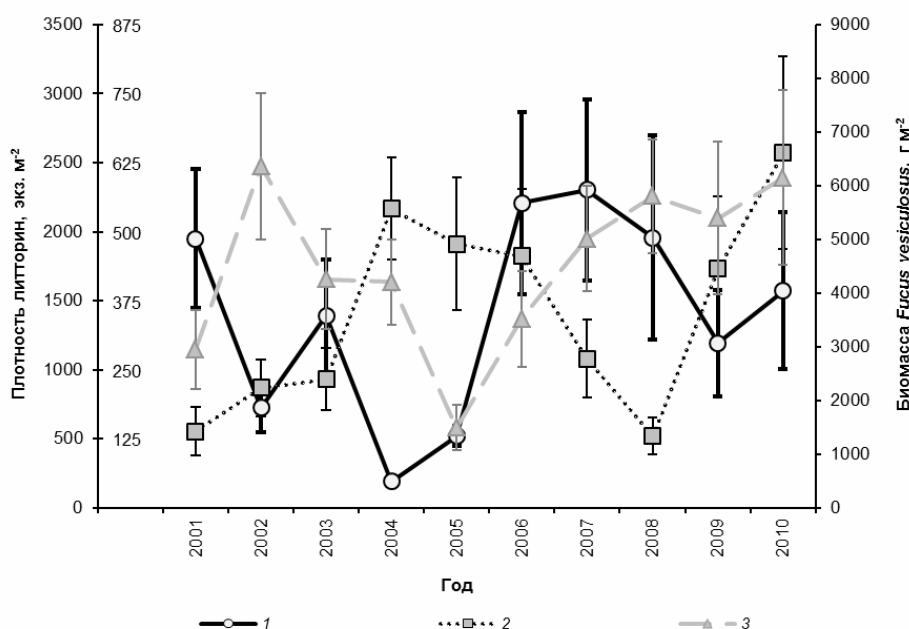
Сбор материала производился один раз в год, в конце августа – начале сентября, на западной косе южной губы о.Ряжков (67°00'09''N, 32°34'42''E; Кандалакшский государственный заповедник). Использовались количественные сборы с площадок в 1/40 м², расположенных сериями по три вдоль транссекты, перпендикулярной берегу. Группы площадок были расположены на расстояниях 0, 5, 10, 15, 20 and 25 м от нуля глубин. Для каждой площадки определялись влажный вес зеленых нитчатых водорослей (± 0.1 г), *Fucus vesiculosus* и *Ascophyllum nodosum* (± 0.5 г), биомассы моллюсков *L. obtusata*, *L. saxatilis* (± 1 мг) и *Mytilus edulis* (± 0.5 г). В случае литторин, подсчитывали также количество обнаруженных особей, определяли их возраст и зараженность паразитами трематод. Данные по температуре морской воды, воздуха, количеству осадков и солености в период исследований были взяты с сайта ВНИИГМИ-МЦД (<http://meteo.ru>) и из работ В.М. Хайтова (2008, 2009, 2010). Более подробное описание использованных методов можно найти в работе Козминского (2013).

При сравнении плотностей популяции в различные годы использовался критерий Колмогорова-Смирнова (Lloyd & Lederman, 1989). Для оценки связи между переменными, был выбран коэффициент ранговой корреляции Спирмена R_s (Хеттманспергер, 1987). Доля изменчивости, обусловленная воздействием различ-

ных факторов, оценивалась с помощью коэффициента детерминации (R_s^2). Для оценки запаздывающей зависимости между переменными использовался анализ распределенных лагов (Judge et al., 1985) и значений кросс-корреляционной функции (Box, Jenkins, 1976).

В период проведения исследований наблюдалось волнообразное изменение плотности популяции *L. obtusata*. Статистически-достоверные изменения плотности популяции имели место в 2004–2007 гг. ($p < 0.025$), в то время, как в начале (2001–2003 гг.) и конце (2008–2010 гг.) периода исследований она была практически стабильной. Обнаруженные флуктуации плотности на 79% были обусловлены изменениями численности сеголеток ($R_s = 0.89$, $p < 0.001$).

Проведенный анализ показал, что флуктуации численности сеголеток не связаны с абиотическими факторами среды (температурой воздуха, количеством осадков, соленостью), изменением биомасс зеленых нитчатых водорослей, *A. nodosum* и *M. edulis*, плотностью популяции *L. saxatilis* или зараженностью половозрелых (в возрасте 3+ и старше) самок *L. obtusata* партенитами трематод. Кроме того, изменение численности сеголеток не было связано с изменением количества половозрелых самок ($R_s = -0.26$; $p = 0.467$). Напротив, реальные отношения между двумя последними переменными были близки к противофазным: при анализе распределенных лагов коэффициент регрессии, соответствующий лагу «3», был наибольшим ($p = 0.054$).



Изменение численности сеголеток (1, левая у-ось, левая шкала), половозрелых особей (2, левая у-ось, правая шкала) и биомассы *F. vesiculosus* (3, правая у-ось).

Показана стандартная ошибка среднего.

Обнаружено, что плотность сеголеток и биомасса литторин в возрасте 1+ и старше изменялись практически в противофазе ($R_s = -0.72$, $p = 0.019$). Взаимоотношения численностей сеголеток и половозрелых особей также были близки к противофазным (рис., переменные 1 и 2). Коэффициент корреляции был отрицательным, но недостоверным ($R_s = -0.36$, $p = 0.310$). Анализ распределенных лагов показал наличие запаздывающих взаимоотношений между переменными: коэффициент регрессии, соответствующий лагу «3» был наибольшим и на грани достоверности ($p = 0.063$).

Установлено, что изменения уровня воспроизводства популяции *L. obtusata* связаны с изменениями биомассы *F. vesiculosus*, но опережают их на один год (рис., переменные 1 и 3). Коэффициент корреляции Спирмена между численностью сеголеток и биомассой *F. vesiculosus* был близок к нулю, однако анализ распределенных лагов выявил наличие запаздывающих взаимоотношений между переменными: коэффициент регрессии, соответствующий лагу «1» был наибольшим и достоверным ($p = 0.040$). Этому же лагу соответствовало наибольшее значение кросс-корреляционной функции ($R_{cc} = 0.73$, $p < 0.05$).

В обследованном местообитании, максимумы плотности популяций *L. obtusata* зарегистрированы в 1985, 1992 гг. (Sergievsy et al., 1997) и, по нашим наблюдениям, в 2007 г. Принимая во внимание, что данные за период с 1996 по 2000 гг. отсутствуют, период изменений составляет 7–8 лет. Обнаруженные нами изменения плотности популяции, являются, по-видимому, фрагментом одного из таких «циклов».

Наши данные показывают, что изменения уровня воспроизводства популяции *L. obtusata* обусловлены внутривидовой конкуренцией за ресурс в условиях исчерпанной емкости местообитания. Численность сеголеток изменяется в противофазе с биомассой моллюсков других возрастов и плотностью половозрелых особей. Это свидетельствует о том, что уровень воспроизводства популяции определяется наличием свободных ресурсов и о существовании внутривидовой конкуренции. В то же время, изменение численности сеголеток и половозрелых особей происходит на фоне изменений биомассы *F. vesiculosus* (рис., переменная 3). Эти водоросли и их микрообрастания являются главным источником корма и субстратом для обитания *L. obtusata* (Бескупская, 1963; Кузнецов, 1960; Матвеева, 1974; Barker, Chapman, 1990; Reid, 1996). Поэтому логично предположить, что литторины конкурируют именно за этот ресурс и емкость *F. vesiculosus* как субстрата для обитания *L. obtusata* в данном местообитании исчерпана.

С учетом вышеизложенного, динамику изменения численностей сеголеток, половозрелых особей и биомассы *F. vesiculosus* можно объяснить следующим образом. В 2001 г., плотность половозрелых особей была небольшой, поэтому (при умеренной биомассе *F. vesiculosus*) уровень воспроизводства популяции был достаточно высок. В 2002–2004 гг., на фоне снижения биомассы фукусов и увеличения плотности половозрелых особей происходило снижение уровня воспроизводства популяции. В 2005 г. биомасса фукусов резко сократилась, но, благодаря начавшемуся уменьшению плотности половозрелых моллюсков, воспроизводство популяции несколько возросло. В 2006–2007 гг. биомасса фукусов возрастала, а численность половозрелых особей продолжала снижаться. Поэтому в этот период численность сеголеток резко возросла. В 2008 г. произошло снижение уровня вос-

производства популяции, в то время, как биомасса фукусов продолжала увеличиваться, а численность половозрелых особей – сокращаться. Это можно объяснить тем, что основной вклад в воспроизводство популяции в это время вносили малочисленные когорты 2004 и 2005 гг. рождения. В 2009 г. биомасса фукусов существенно не менялась, но за счет хорошего воспроизводства популяции литторин в 2006 г. начала увеличиваться плотность половозрелых особей. Соответственно, уровень воспроизводства популяции продолжал сокращаться. В 2010 г., биомасса *F. vesiculosus* немного возросла, поэтому, несмотря на увеличение плотности половозрелых особей, уровень воспроизводства популяции также немного увеличился.

Обнаруженный механизм позволяет объяснить цикличность изменения плотности популяции *L. obtusata* с периодом 7–8 лет. Очевидно, в ее основе лежит чередование периодов с высоким и низким уровнями воспроизводства популяции в условиях ограниченной емкости местообитания и конкуренции за ресурс (водоросли *F. vesiculosus*). Наблюдаемая периодичность (7–8 лет) обусловлена особенностями жизненного цикла *L. obtusata*. Высокий уровень воспроизводства наблюдается, когда обилие половозрелых моллюсков относительно низко и достаточно ресурсов для выживания большого количества молоди. Продолжительность таких периодов определяется временем полового созревания моллюсков (около 3 лет). Когда молодь достигает половой зрелости, плотность взрослых литторин возрастает, а количество выживающих сеголеток снижается. Продолжительность периодов с низким воспроизводством (в среднем 3–4 года) определяется продолжительностью жизни половозрелых моллюсков. Когда плотность половозрелых моллюсков начинает снижаться, высвобождение ресурсов приводит к увеличению выживаемости молоди и началу следующего цикла.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 05-04-48056, Программ фундаментальных исследований РАН «Динамика генофондов растений, животных и человека», «Биологическое разнообразие: инвентаризация, функции, сохранение» и «Биологические ресурсы России». Я глубоко благодарен администрации Кандалакшского государственного заповедника и Беломорской биологической станции ЗИН РАН за поддержку исследований на о. Ряжков.

БИОРАЗНООБРАЗИЕ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАПОВЕДНИКА: ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ, 2012 г.

А.С. Корякин, Е.В. Шутова, Л.А. Москвичева

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Кандалакшский государственный природный заповедник», Кандалакша, Россия, e-mail: koryakin.as.work@mail.ru

Кандалакшский заповедник включает 13 участков, расположенных по морской периферии Мурманской области от границ с Норвегией в Баренцевом море до Республики Карелия в Белом море. Большинство участков – морские архипелаги с прилегающей акваторией, но в состав заповедника входит и несколько прибрежных материковых участков. Участки заповедника находятся в Мурманской области, один участок – Кемьлудский архипелаг – расположен в Республике Карелия. Общая площадь заповедника по землеустройству 2008 г. составляет 770,0 кв. км, из них 74% приходится на морские акватории.

Первые научные сведения о биологических видах, отмеченных на территориях и акваториях, ныне входящих в состав Кандалакшского заповедника, относятся к 19 веку. Целенаправленные работы по описанию биоты начались с момента создания заповедника, они продолжаются и в настоящее время. Информация по количеству видов, зарегистрированных в заповеднике за весь период научных наблюдений, представлена в табл. 1, более подробные данные по насекомым – в табл. 2 (более ранние данные см. Корякин, Шутова, Москвичева, 2006, 2009).

Таблица 1

Количество биологических видов, зарегистрированных в Кандалакшском заповеднике, 2012 г.

	Таксон	Количество видов
Bacteria	Бактерии	67
Cyanobacteria	Сине-зеленые водоросли	202
Bacillariophyceae	Диатомовые водоросли	689
Phaeophyta	Бурые водоросли	34
Rhodophyta	Красные водоросли	90
Chlorophyta	Зеленые водоросли	224
Другие «водоросли»		434
Foraminifera	Фораминиферы	59
Rhizopoda	Корненожки	161
Ciliophora	Инфузории	308
Gregarinomorpha	Грегарины	11
Coccidea	Кокцидии	2
Другие «простейшие»		72
Fungi s.l.	Грибы и грибоподобные	758
Lichens	Лишайники	341
Bryophyta	Мохообразные	422
Licopodiophyta	Плауновидные	7 *
Equisetophyta	Хвощевидные	8 *
Polypodiophyta	Папоротниковидные	18 *
Pinophyta	Голосеменные	8 *
Magnoliophyta	Цветковые	640 *
Orthonectida	Ортонектиды	4

156 XII Международная конференция с элементами школы
для молодых ученых и аспирантов

Porifera	Губки	43
Cnidaria	Стрекающие	109
Ctenophora	Гребневики	6
Plathelminthes	Плоские черви	201
Nemertea	Немертины	13
Gastrotricha	Гастротрихи	27
Nematoda	Нематоды	263
Cephalorhyncha	Головохоботные	5
Acanthocephala	Скребни	8
Rotifera	Коловратки	40
Kamptozoa	Камптозои	8
Annelida	Кольчатые черви	215
Sipuncula	Сипункулиды	1
Mollusca	Моллюски	206
Crustacea	Ракообразные	487
Araneae	Паукообразные	552
Pantopoda	Пантоподы	16
Myriapoda	Многоножки	5
Insecta	Насекомые	2702
Tardigrada	Тихоходки	10
Brachiopoda	Плеченогие	1
Phoronida	Фороиды	1
Bryozoa	Мшанки	126
Chaetognatha	Щетинкочелюстные	1
Echinodermata	Иглокожие	26
Hemichordata	Полухордовые	1
Tunicata	Оболочники	33
Petromyzones	Миноги	2
Elasmobranchii	Акулообразные	4
Osteichthyes	Костные рыбы	48
Amphibia	Земноводные	3 *
Reptilia	Пресмыкающиеся	2 *
Aves	Птицы	271 *
Mammalia	Млекопитающие	69 *
	ВСЕГО	10064

Сведения основаны как на литературных материалах, так и на всей совокупности данных, накопленных в заповеднике (коллекции, гербарий, неопубликованные отчеты из архива заповедника, Летописи природы за весь период их подготовки). К настоящему времени выявлено более 10 тысяч видов, что ориентировочно составляет примерно половину от действительного их числа.

К настоящему времени на территории Кандалакшского заповедника исчерпывающе выявлены виды наземных позвоночных (амфибии, рептилии, птицы, млекопитающие), хотя возможны регистрации вновь появляющихся видов, особенно у птиц. В целом закончена инвентаризация флоры сосудистых растений. Таксоны, видовой состав которых очевидно выявлен на 80% и более, помечены (*). Наибольшее количество видов зарегистрировано для насекомых, но в этом таксоне лишь для нескольких отрядов список видов может считаться достаточно полным.

Для описания локальной биоты необходимо привлекать большое количество разнообразных редких специалистов по различным таксонам. Кандалакшскому заповеднику в этом отношении повезло, т.к. прямо на его границах или в непосред-

ственной близости расположены биологические станции (Беломорская биостанция Московского государственного университета, полевая база Мурманского морского биологического института КНЦ РАН, Беломорская биостанция Зоологического института РАН), где работают десятки высококвалифицированных специалистов. Многие из них проводили исследования непосредственно на заповедных территориях. Большие объемы информации по видовому разнообразию получены из непосредственных окрестностей заповедника. Мы не игнорировали эту информацию, хотя приходится оценивать потенциальную подвижность конкретных видов. К примеру, произрастание малочисленного вида сосудистого растения даже рядом с границей инвентаризируемой территории не дает основания автоматически включать его в список зарегистрированных видов, но обычные планктонные или бентосные виды, отмеченные поблизости от заповедной акватории, без особых оговорок могут быть включены в список биоты.

Таблица 2

**Количество видов насекомых Insecta,
зарегистрированных в Кандалакшском заповеднике, 2009 г.**

Отряд		Количество видов
Collembola	Коллемболы, или Ногохвостки	163
Ephemeroptera	Поденки	20
Odonata	Стрекозы	26 *
Blattodea	Тараканы	3 *
Plecoptera	Веснянки	12
Orthoptera	Прямкрылые	6
Psocoptera	Сеноеды	1
Mallophaga	Пухоеды	3
Anoplura	Вши	1
Homoptera	Равнокрылые	161
Hemiptera	Полужесткокрылые, или Клопы	63
Thysanoptera	Бахромчатокрылые, или Трипсы	10
Coleoptera	Жесткокрылые, или жуки	880
Strepsiptera	Веерокрылые	1
Megaloptera	Большекрылые, или Вислокрылки	1
Rhaphidioptera	Верблюбки	1 *
Neuroptera	Сетчатокрылые	15
Mecoptera	Скорпионницы	2
Trichoptera	Ручейники	124 *
Lepidoptera	Чешуекрылые, или Бабочки	588 *
Hymenoptera	Перепончатокрылые	133
Aphaniptera	Блохи	12
Diptera	Двукрылые, или Мухи	476
ВСЕГО		2702

ЗООБЕНТОСНЫЕ СООБЩЕСТВА ЛИТОРАЛИ ГУБЫ ЧУПА КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

П.П. Кравец, С.С. Малавенда, А.В. Деревщиков, С.А. Кращенко.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет», Мурманск, Россия, e-mail: ppkravec@mail.ru

Бентос является одним из объектов биологического мониторинга, поскольку бентосные сообщества способны отражать изменения экосистемы и выступают как индикаторы изменения среды. Изучение распределения зообентоса и его характеристики обилия важно и для хозяйственной деятельности.

Цель работы – изучить структуру поселения зообентосных сообществ литорали бухт Левая, Круглая и Сельдяная губы Чупа.

Работа выполнена на базе ББС ЗИН РАН «Картеш». Отбор проб производили во время отлива с использованием учетной рамки размером 10×10 см в июне–июле в 2008–2011 гг. С каждого горизонта литорали отирали по 3 пробы в куту, середине и устье.

Далее производилась камеральная обработка.

В результате исследования был выявлен следующий видовой состав зообентосных сообществ:

Бухта Сельдяная.

Polychaeta: *Nereis pelagica*, *Capitella capitata*, *Castalia punctata*, *Arenicola marina*, *Lumbriconereis* sp.; Bivalvia: *Mytilus edulis*, *Mya arenaria*, *Macoma balthica*; Gastropoda: *Littorina obtusata*, *Littorina saxatilis*, *Littorina littorea*, *Hydrobia ulvae*; Hydrozoa: *Dynamena pumila*; Crustacea: *Jaera albifrons*; Enopla: *Ampiporus lactifloreus*; Priapulida.

Бухта Левая.

Polychaeta: *Nereis pelagica*, *Capitella capitata*, *Neiromira punctata*, *Euchone analis*, *Arenicola marina*; Bivalvia: *Mytilus edulis*, *Mya arenaria*, *Macoma balthica*; Gastropoda: *Littorina obtusata*, *Littorina saxatilis*, *Littorina littorea*, *Hydrobia ulvae*, *Testudinalia tessellata*, *Hydrobia ulvae*; Hydrozoa: *Dynamena pumila*; Crustacea: *Balanus balanoides*; Enopla: *Ampiporus lactifloreus*; Eurytomata: *Flustrellidra hispida*; Asteroidea: *Asterias rubens*.

Бухта Круглая.

Polychaeta: *Nereis pelagica*, *Capitella capitata*, *Arenicola marina*; Bivalvia: *Mytilus edulis*, *Mya arenaria*, *Macoma balthica*; Gastropoda: *Littorina obtusata*, *Littorina saxatilis*, *Littorina littorea*, *Hydrobia ulvae*, *Testudinalia tessellata*, *Hydrobia ulvae*; Hydrozoa: Crustacea: *Balanus balanoides*; Asteroidea: *Asterias rubens*.

В ходе исследования были выявлены закономерности распределения организмов на литорали бухт. В бухтах Левая и Круглая показатели обилия увеличиваются от устья к куту (рис. 1). Что обусловлено снижением интенсивности движения воды и сильной конкуренцией между доминирующими видами на данных участках, так как они выгодно отличаются от кутовой зоны. В кутовых зонах литораль отличается высокой гетерогенностью, что обеспечивает большую возможность питания при более сниженной конкуренции между доминирующими видами. В бухте Сельдяной наибольшее показатели обилия отмечены в устье.

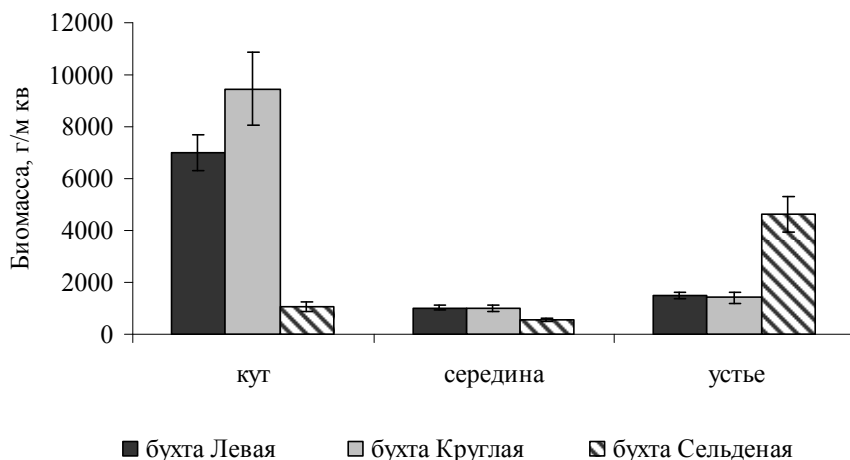


Рис. 1. Биомасса зообентоса на разных участках литорали бухт Левая Круглая и Сельдяная губы Чупа

При исследовании годовой динамики выявлено незначительное увеличение биомассы в период с 2008 по 2011 г., что обусловлено возрастанием численности доминирующих видов, таких как *Mytilus edulis*, и *Mya arenaria* (рис. 2).

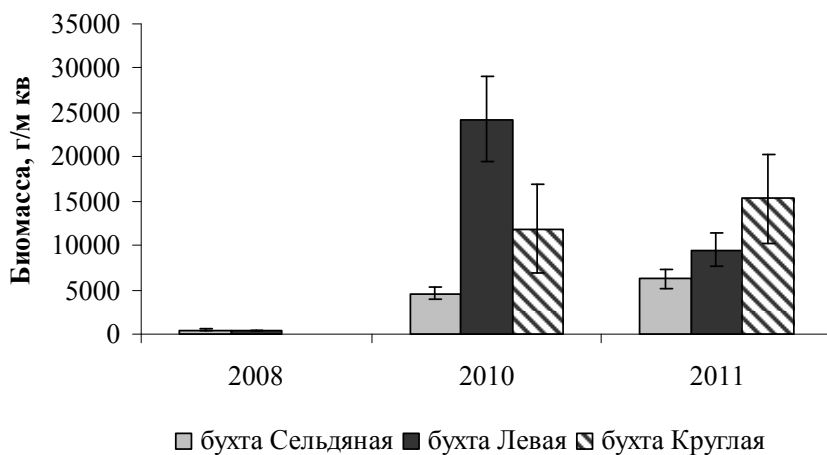


Рис. 2. Биомасса зообентоса в 2008–2011 годах на литорали бухт Левая Круглая и Сельдяная губы Чупа

По итогам исследования можно сказать, что литораль бухты Левая обладает наибольшим видовым разнообразием по сравнению с другими районами исследования, а в бухте Круглая отмечены наиболее стабильные значения высокой плотности и биомассы зообентосных сообществ.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА «А» В БЕЛОМ МОРЕ

М.Д. Кравчишина, А.С. Филиппов, А.А. Ключиткин,
Н.В. Политова, А.В. Толстиков, В.П. Шевченко

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии
им. П.П. Ширинова Российской академии наук, Москва, Россия, e-mail: kravchishina@ocean.ru*

Хлорофилл – это не только ключевая характеристика для расчетов первичной продукции (ПП). Хлорофилл «а» (Хл-а) и его производные можно рассматривать как маркеры легкоминерализуемой части органического вещества (ОВ) (Stephens et al., 1997).

Значительную помощь в изучении процессов изменчивости концентрации Хл-а оказывают данные спутниковых сканеров цвета, которые позволяют наблюдать за его поверхностным распределением одновременно на всей акватории и дают возможность исследовать временные изменения различных масштабов. Значения концентраций, рассчитанные по стандартным алгоритмам программного обеспечения SeaDAS (<http://seadas.gsfc.nasa.gov/>), доступны на сайте NASA (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>). Для оценки адекватности спутниковых данных в Белом море требуется создание регионального алгоритма их обработки, а это можно сделать только на основе данных натурных измерений.

Для Белого моря были обобщены данные спутникового сканера цвета MODIS-Aqua за 8 лет (2003–2010 гг. с мая по сентябрь) в сопоставлении с прямыми определениями концентрации Хл-а флуориметрическим методом на основе регионального алгоритма (Kopelevich et al., 2011; Буренков и др., 2013; Кравчишина и др., 2013). Оценена изменчивость среднегодовых значений Хл-а. За период наблюдений (2003–2008 гг.) она составила менее 8%.

Цветные карты со среднемесячными распределениями концентрации Хл-а в Белом море (за период наблюдений 2003–2010 гг.) представлены в электронном атласе: <http://optics.ocean.ru>.

Цель наших исследований – изучение пространственно-временной изменчивости концентрации Хл-а в водах Белого моря для создания достоверного алгоритма оценки ПП и в интересах исследования распределения автохтонного ОВ в водной толще.

Методы исследования

Прямые определения концентрации Хл-а и феофетина «а» (Фео-а) в пробах воды, отобранных батометром с разных горизонтов, проводились флуориметрическим методом (HolmHansen, 1978) на флуориметре Trilogy 1.1 (Turner Designs), предварительно откалиброванным на кафедре биофизики МГУ. Расчет концентраций фитопигментов проводился по формулам [EPA Method 445.0., 1997]. Горизонты пробоотбора намечались на основе предварительного гидрофизического зондирования мультипараметрическим зондом «CTD90M» (температура, соленость, мутность, флуоресценция Хл-а).

Изучено 482 пробы воды в пяти экспедициях летом: июнь 2008 г. на НИС «Иван Петров» и июль 2009, 2010, 2011 и 2012 гг. на НИС «Эколог».

Проведено сопоставление концентраций хлорофилла «а», вычисленных по данным спутникового сканера цвета MODIS-Aqua (с учетом регионального алгоритма) и полученных флуориметрическим методом в пробах воды. Спутниковые данные для большей части Белого моря характеризуют лишь верхнюю часть фотического слоя, толщина которого не превышает нескольких метров. Кроме того, это осредненные данные, как по площади (2×2 км), так и по времени (несколько суток – месяц – год), тогда как натурные измерения – «точечные», и поэтому могут испытывать более сильные вариации. В целом, согласие данных было вполне удовлетворительным.

Результаты и обсуждение

Летом средняя концентрация Хл-а в фотическом слое, как правило, превышает 1 мкг/л, то есть величину, характерную для эвтрофных вод (табл.). Наибольшая средняя концентрация Хл-а обнаружена в июне. В позднелетний период на большей части акватории биомасса фитопланктона ниже величин, отмечаемых весной и в начале лета (Ильяш и др., 2011).

В высоких широтах развитие фитопланктона лимитируется, главным образом, резкими сезонными колебаниями количества фотосинтетически активной радиации (ФАР) [Раймонт, 1983]. Установлено, что воды Белого моря отличаются наиболее сильным поглощением солнечного излучения по сравнению с Баренцевым и Карским морями (Буренков и др., 2010). Согласно оптическим измерениям *in situ* и спутниковым данным глубина 1%-ной ФАР (которую соотносят с компенсационной глубиной) колеблется от 7 до 8,8 м, а 0,1%-ной – от 14,5 до 11,2 м. Наши данные позволяют предположить, что толщина фотического слоя в Белом море в среднем составляет менее 15 м (Кравчишина и др., 2013). Соответственно максимальный фотосинтез следует ожидать в приповерхностных слоях. Так, максимальные значения Хл-а (3–9 мкг/л) летом регистрируются на глубинах 0–5 м и реже на более глубоких горизонтах. Основная масса ОВ создается фитопланктоном в процессе фотосинтеза в относительно узком десятиметровом поверхностном слое – это один из наиболее биохимически активных слоев водной толщи.

Средняя концентрация хлорофилла «а» в фотическом слое Белого моря по нашим и литературным данным (натурные измерения)

Концентрация хлорофилла «а», мкг/л				Источник данных и сезон работ
Среднее	Интервал колебаний	Экстремальное значение	Количество проб	
–	1–3	–	–	[Бобров и др., 1995]
–	2–3	15,5	90	[Мордасова, Вентцель, 1994] июль 1991
1,38	0,9–2,0	7,5	44	[Ильяш и др., 2011] август 2004
2,81	0,27–9,17	–	80	[Наши данные] июль 2008
1,54	0,25–7,43	21,0	43	[Наши данные] июль 2009
1,48	0,42–3,90	–	77	[Наши данные] июль 2010
1,71	0,53–3,60	–	74	[Наши данные] июль 2011
1,52	0,30–2,96	–	53	[Наши данные] июль 2012

Глубина верхнего перемешанного слоя в Белом море обычно превышает протяженность фотической зоны. Влияние ветроволнового перемешивания заметно сказывается на распределении Хл-а в фотическом слое. Проведено сравнение натурных и спутниковых данных, полученных до (20–24.07.2010) и после (25–30.07.2010) шторма (волнение 4 балла, скорость ветра до 16 м/с). После штормового волнения средняя концентрация Хл-а в деятельном слое Двинского залива уменьшилась приблизительно в 1.5 раза и примерно во столько же раз возросла мутность воды и содержание Фео-а. Согласно спутниковым картам, шторм повлиял на распределение концентрации Хл-а почти на всей акватории. Все это следует иметь в виду при обработке данных сканеров цвета и расчета среднемесячных значений.

Наибольшие концентрации Хл-а наблюдаются в Онежском, Двинском и Мезенском заливах, что связано с выносом биогенных элементов с речным стоком.

Для того чтобы представлять полную картину распределения концентрации Хл-а, необходимо использовать данные измерений в пробах, отобранных с различных глубин.

В стратифицированных водах на вертикальном профиле распределения Хл-а часто отмечается пик в фотической зоне непосредственно над слоем пикноклина (который, как правило, совпадает со слоем галоклина), что обусловлено соответствующим вертикальным распределением фитопланктона.

Под слоем скачка плотности концентрация Хл-а закономерно уменьшается с увеличением глубины. Снижение концентраций (до 0,5 мкг/л и менее) наблюдается в промежуточных (средняя глубина 50 м и варьирует от 20 до 60 м в разных районах моря) и в придонных водах баренцевоморского генезиса, что подтверждают литературные данные (Бобров и др., 1995).

В районе структурного фронта в южной части Горла Белого моря в промежуточных и придонных водах (от 30 до 90 м) концентрация Хл-а летом может достигать необычно высоких значений: примерно 1–2 мкг/л. По данным Л.В. Ильаш с соавторами [2011] биомасса фитопланктона в этой области Горла обычно достигает значительных величин, соответствующих периоду летнего пика планктонных водорослей, вследствие локального обогащения водной толщи (глубина перемешанного слоя может достигать 70 м) необходимыми биогенными элементами.

В целом, во всей водной толще моря концентрации Хл-а в июне – июле обычно варьируют от 0,05 мкг/л в придонных водах до 2,5 мкг/л в верхнем перемешанном (деятельном) слое, достигая 9 мкг/л (локально до 21 мкг/л) в мелководных районах заливов.

В слое наддонной воды (примерно до полуметра от поверхности дна) концентрация Хл-а возрастает на один – два порядка, достигая 10 мкг/л. При этом доля Фео-а (от совокупного количества Хл-а и Фео-а) обычно составляет 60–90%. Нередко в этой зоне контакта вода – донные идет накопление осадки идут интенсивные биогеохимические процессы трансформации ОВ взвеси в ОВ осадка (Леин и др.).

Пространственное распределение концентрации Фео-а также неоднородно, как и Хл-а. Доля Фео-а в водной толще колеблется от 0,6 до 90%. При этом содержание Фео-а более 50%, как правило, отмечается в промежуточных и придонных водах, а также в верхнем деятельном слое в областях речных стоковых течений и в

районах соленосных фронтов. В целом, летом в фотическом слое моря доля Фео-а составляет менее 50%. Хл-а, как правило, находится в активном состоянии, то есть основная доля фотосинтетических пигментов приходится на функциональный Хл-а.

Установлена корреляционная зависимость между концентрацией Хл-а и содержанием взвешенной формы $C_{\text{орг}}$, где $R = 0,6$ для 230 проб.

Несмотря на то, что Хл-а в Белом море составляет незначительную часть взвеси (0,1–1% от сухой массы) между двумя этими параметрами выявлена положительная корреляция, проявляющаяся тем больше, чем сильнее влияние речного стока: в области маргинального фильтра р. Северной Двины $R=0,8$ (13 проб). Коэффициент корреляции может увеличиваться или уменьшаться вплоть до полного исчезновения в зависимости от фенологических сезонов года.

Взаимосвязи, обнаруженные между концентрациями Хл-а и взвеси, а также между концентрациями Хл-а и ОВ, обусловлены, прежде всего, тем, что эти параметры определяются одним и тем же фактором, а именно, речным стоком, который выносит как взвесь, так и биогенные элементы.

Исследования поддержаны грантом РФФИ № 11-05-00087-а, грантом Президента РФ № НШ-618.2012.5 для поддержки исследований под руководством ведущих ученых и проектом Минобрнауки РФ (Соглашение № 8767).

Авторы выражают благодарность научному руководителю работ – академику А.П. Лисицыну и чл.-корр. Н.Н. Филатову за поддержку экспедиционных работ.

ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ ОТДЕЛЯЮЩИХСЯ ОТ МОРЯ ВОДОЕМОВ НА КАРЕЛЬСКОМ БЕРЕГУ БЕЛОГО МОРЯ

Е.Д. Краснова, А.Н. Пантюлин, Т.А. Рогатых, Д.А. Воронов

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования «Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова», Москва, Россия, e-mail: e_d_krasnova@mail.ru*

Побережье Белого моря испытывает изостатическое поднятие, вследствие которого береговая зона постепенно изменяется, и некоторые заливы отделяются от моря. По мере подъема берега и дна в отделяющемся водоеме ослабевают, а потом и вовсе прекращаются приливные явления. После полного прекращения связи водоема с морем мелкие заливы покрываются маршевой растительностью, которую, в конечном счете, сменяет наземная, а в глубоких соленая вода постепенно замещается на пресную, и они превращаются в пресноводные озера. Цикл полного отделения длится несколько столетий. В ходе эволюции водоем, не до конца отделившийся от моря, может приобретать черты меромиктического, как это произошло с озером Могильным на острове Кильдин, где сформировалось три водные массы с контрастными свойствами: поверхностная опресненная, средняя с морской соленостью, азрированная, и придонная соленая с высоким содержанием сероводорода (Дерюгин, 1925; Гуревич, 1975; «Реликтовое озеро Могильное ...», 2002; Стрелков и др., 2005). Вертикальная стратификация в озере Могильном отчасти поддерживается за счет поступления воды из моря сквозь каменную перемычку, что делает этот водоем уникальным. Однако устойчивая стратификация в отделяющемся водоеме может складываться и при поступлении морской воды через поверхность порога, отделяющего его от моря, и даже при отсутствии водообмена с морем. Такая ситуация наблюдается в водоеме под названием озеро Кисло-сладкое в 1,5 км от Беломорской биостанции МГУ им. М.В.Ломоносова (Кандалакшский залив, Карельский берег, пролив Великая Салма, на некоторых картах водоем именуется Полупресной лагуной). Этот водоем отделен от моря островом и двумя порогами по разные стороны от него. Один из порогов настолько поднялся над уровнем моря, что водообмен с морем через него прекратился, а по второму морская вода поступает в лагуну только при совпадении высоких приливов и нагонов при сильных штормах, что случается не каждый год. В обычном режиме приливные явления в нем не наблюдаются, а порог служит руслом стока поверхностной воды из лагуны. Поступление пресной воды в этот водоем слабое, в основном за счет осадков и небольшого ручья из примыкающего болота. Несмотря на различия с озером Могильным в гидрологическом режиме и гораздо меньшую глубину (всего 4,75 м), в Кисло-сладком озере летом формируется похожая трехслойная структура. Но и этот водоем не уникален. Недалеко от Беломорской биостанции МГУ была обнаружена полуизолированная соленая лагуна – озеро на Зеленом мысу, а затем был выявлен еще один похожий водоем в Пеккелинской губе, который при натурном обследовании оказался меромиктическим, он получил название Трехцветного за яркую окраску разных слоев (Шаполренко, 2004; Пантюлин, Краснова, 2011).

С целью поиска новых отделяющихся водоемов 20 июня – 4 июля 2010 г. была организована экспедиция вдоль Карельского побережья Белого моря на яхте «Белая ночь» Чупинского морского яхтклуба при поддержке Всемирного фонда Дикой природы. Обследован участок от пос. Чула до дер. Калгалакша общей протяженностью около 120 км. В ходе экспедиции было выявлено еще 4 водоема на разных стадиях отделения от моря. В 2011–2012 гг. мы обследовали еще 8 прибрежных водоемов, и список пополнился еще двумя меромиктическими озерами. В общей сложности мы теперь располагаем сведениями о 15 водоемах на разных стадиях отделения от моря, в их числе 3 меромиктических водоема и 3 проточных лагуны. Некоторые прибрежные водоемы при натурном обследовании оказались пресными, совершенно утратившими связь с морем.

Водоемы в разных стадиях отделения

Оз. Кисло-сладкое (Полупресная лагуна). Координаты: 66° 32,87' N, 33° 08,14' E. Расположен в 1,5 км к востоку от ББС МГУ. Водоем со свойствами меромиктического в теплую часть года, нерегулярным конвективным перемешиванием и поступлением соленой воды осенью или зимой. Длина 170 м, ширина 90 м, максимальная глубина 4,5 м. Приливных колебаний нет.

Лагуна на Зеленом мысу. Координаты: 66° 31,80' N, 33° 05,55' E. Водоем соединен с Кислой губой. Соленость воды в котловине лагуны выше, чем в прилегающей части моря. Длина водоема 190 м, ширина 150 м, максимальная глубина 6,5 м. Высота приливных колебаний — 0,1 м.

Трехцветное озеро в Пеккелинской губе. Координаты: 66° 35,53' N, 32° 59,97' E. Озеро с четкой круглогодичной стратификацией, пресным верхним слоем в 2 м и нижним – соленым. Размеры водоема: 340 м × 150 м, наибольшая глубина 7,5 м, приливных колебаний нет.

Нижнее Ершовское озеро. Координаты: 66° 32,28' N, 33° 3,48' E. Меромиктическое озеро, соединенного протокой с пресным Верхним Ершовским озером. Большая часть водной толщи почти пресная, но донные углубления заполнены соленой водой. Длина озера 550 м, ширина 250 м, максимальная глубина – 2,5 м. Приливных колебаний нет.

Озеро Еловый Наволок. Координаты: 66° 28,7' N, 33° 16,9' E. Меромиктическое озеро с пресным поверхностным слоем и соленой придонной водной массой, нижнее в системе проточных озер, соединенных пресным ручьем. Длина озера 1000 м, ширина 400 м, максимальная глубина 5 м. Приливных колебаний нет.

Мероламба недалеко от Сонострова. Координаты: 66° 10' N, 34° 11' E. Проточное меромиктическое озеро с опресненной водой у поверхности и соленой придонной, нижнее в каскаде озер, соединенных пресным ручьем. Длина водоема 600 м, ширина 150 м, наибольшая глубина 8 м. Величина приливных колебаний 0,3–0,5 м.

Губа Глубокая возле Сонострова. Координаты: 66° 10' N, 34° 09' E. Соленая лагуна с ослабленными приливными явлениями и резкой стратификацией в летнее время. Длина водоема 800 м, ширина 200 м, наибольшая глубина 8 м, величина приливных колебаний уровня около 1 м.

Оз. «Вонючка» на острове Тонисоар. Координаты: 66° 9,62' N, 34° 13,61' E. Соленая лагуна посреди острова, отгороженная от моря порогом, из-за которого при-

ливные колебания ослаблены. В силу островного положения поступление пресной воды ограничено осадками. Соленость в нижних слоях озера выше, чем в прилегающей части моря. Размеры озера: 500 м × 400 м, максимальная глубина 9,5 м. Величина приливных колебаний – 0,3 м.

Залив «Вонючка» в Чупинской губе. Координаты: 66° 16,83' N, 33° 15,86' E. Залив с выраженными приливными колебаниями уровня. Водообмен с морем ослаблен в силу малой ширины единственного пролива. В заливе летом зарегистрированы повышенные вертикальные градиенты солености и температуры. Размеры водоема: 500 м × 400 м, глубина 5,5 м. Величина приливных колебаний около 2 м.

Оз. Большие Хрусломены на острове Оленьем в губе Ковда. Координаты: 66° 43' N, 32° 51' E. Меромиктическое озеро. Поверхностный слой воды опреснен, а основная толща соленая. Возможно, отделению его от моря способствовали люди, укрепив валунную перемычку, отделяющую озеро от моря. Длина озера 1 000 м, ширина в узком месте 280 м, у озера есть три залива длиной 300, 300 и 600 м. Наибольшая глубина 21 м. Приливные колебания 0,2 м.

Дальнее Лесное озеро возле с. Ковда. Координаты: 66° 41,57' N, 32° 51,08' E. Водоем представляет собой вершину небольшого залива Нижнего Ковдского озера, отрезанную дорожной дамбой. Сквозь трубу под дорогой из залива поступает то соленая вода, то пресная в зависимости от ситуации в заливе, где соленость колеблется в широких пределах. Размеры водоема: 170 м × 70 м, глубина 2,5 м. Регулярных приливных колебаний нет.

Кут губы Кислой. Координаты: 66° 32,1' N, 33° 4,3' E. Ковшовое образование в вершине губы, отгороженное от остальной акватории порогом, который пока не ограничивает приливные колебания, но создает условия для вертикальной стратификации. Длина водоема 660 м, ширина 400 м, средняя глубина 8 м. Величина приливных колебаний уровня воды около 2 м.

Проточные лагуны с двумя порогами

Губа Еремеевская. Координаты: 66° 33' N, 33° 7' E. Губа отгорожена от морской акватории островом и двумя порогами, которые пока не ограничивают водообмен. На данный момент губа функционирует в режиме пролива, но со временем отделится от моря. Длина пролива 620 м, ширина 230 м, наибольшая глубина 10 м. Величина колебаний уровня около 2 м.

Кривая лагуна возле д. Лувеньга. Координаты: 67° 6,5' N, 32° 40,7' E. Губа, отгороженная от морской акватории островом и двумя порогами, которые пока не ограничивают водообмен с ней, но со временем отделится. Длина лагуны 600 м, ширина 200 м, наибольшая глубина 2,9 м, преобладающая глубина 1 м. Величина колебаний уровня воды около 2 м.

Бабье море. Координаты: 66° 36' N, 33° 10' E. Большой залив, отделенный от основной акватории двумя порогами. Водообмен с морем ограничен малым сечением проливов. Приливные колебания уровня воды асимметричные. Размеры водоема: 8500 м × 5500 м, максимальная глубина 40 м. Величина приливных колебаний 0,3 м.

Пресноводные прибрежные водоемы

Озеро Черное в губе Красной. Координаты: 66° 26,3' N, 33° 34' E. Пресное озеро, отделенное от моря перемычкой 40–250 м шириной. Перепад высот и скалистый барьер препятствуют заплеску морской воды. Длина озера 1000 м, ширина 200 м, наибольшая глубина 6,5 м.

Озеро в 4,5 км к западу от д. Нильмо-губа. Координаты: 66° 30,1' N, 33° 1,5' E. Пресное озеро посреди обширного мохового болота на расстоянии 100 м от берега моря. Длина водоема 1000 м, ширина 200 м, наибольшая глубина 3,4 м.

Озеро на о. Оленевском (Чернореченская губа). Координаты: 66° 31,1' N, 33° 05,3' E. Пресное озеро на расстоянии 180 м от берега моря, перепад высот препятствует поступлению морской воды. Длина озера 900 м, ширина 150 м.

Верхнее Ершовское озеро. Координаты: 66° 32,5' N, 33° 03' E. Пресное озеро удлинённой формы, один его конец находится на расстоянии 450 м от берега Ермолинской губы, другой – в 160 м от меромиктического Нижнего Ершовского озера. Верхнее и Нижнее Ершовские озера представляют собой остаток древнего пролива. Длина озера 800 м, ширина от 50 до 230 м. Наибольшая глубина – 2,5 м.

ВЛИЯНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ЛЬДА НА ФОРМИРОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТРАТИФИКАЦИИ В СОЛЕННЫХ ЛАГУНАХ, ОТДЕЛЯЮЩИХСЯ ОТ БЕЛОГО МОРЯ

Е.Д. Краснова, Д.А. Воронов, А.Д. Воронова

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования «Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова», Москва, Россия, e-mail: e_d_krasnova@mail.ru*

В результате изостатического поднятия дна, скорость которого на побережье Канадакшского залива менялась от 9–11 мм/год в начале голоцена до 4–5 мм/год в настоящее время (Олюнина и др., 2005; Romanenko, Shilov Romanenko F. A. and Shilova), некоторые заливы отделились от Белого моря, и в них возникла устойчивая термохалинная стратификация (Пантюлин, Краснова, 2011; Краснова, Пантюлин, 2013). Поверхностный слой, в котором происходит перемешивание под действием ветрового волнения и из-за сезонного охлаждения, обычно имеет меньшую соленость, чем море, а в нижнем слое, не затронутом циркуляцией, соленость может быть такой же, как в море, или даже несколько выше. Различия в солености между этими слоями возникают, в первую очередь, из-за разбавления поверхностной массы за счет пресной воды, которая попадает в него с поверхностным стоком, из грунтовых вод и из осадков. Степень разбавления зависит от мощности пресного стока, но даже при наличии притоков с большим расходом воды полное замещение морской воды пресной происходит далеко не сразу. Долгое время, которое исчисляется сотнями лет (Субетто и др., 2012), водоем существует в транзитном стратифицированном виде.

Среди известных беломорских отделяющихся водоемов есть два с крайне ограниченным притоком пресной воды: лагуна на Зеленом мысу в куту губы Кислой близ Беломорской биостанции МГУ и оз. Вонючка на острове Тонисоар возле Сонострова. В первый водоем пресная вода поступает только путем фильтрации из грунта, из осадков и в период таяния снега. На о. Тонисоар, в силу островного расположения водоема и малой площади острова, поступление пресной воды ограничивается осадками. Оба водоема находятся под влиянием приливов, но колебания уровня воды в первом ограничиваются 10–15 см, а во втором – 30–50 см.

Для изучения взаимодействия морской воды с водным телом лагун в них были выполнены единовременные гидрологические профили.

В лагуне на Зеленом мысу измерения солености в море и за порогом, который отделяет от него водоем, были выполнены в марте и июне 2012 г., а также в январе 2013 г. (табл. 1). Сравнение гидрологических профилей в лагуне и в море показывает, что влияние воды, поступающей в водоем с приливом, ограничено самой поверхностью водоема. В марте 2012 г. в море поверхностная водная масса, которая способна поступать в лагуну во время прилива, имела соленость ниже, чем по всему профилю лагуны. В июне 2012 г. соленость, похожая на морскую, в лагуне наблюдалась только до глубины 0,5 м. В январе 2013 г. верхние 3 м в лагуне были опреснены по сравнению с морем, но, судя по профилю температуры, морская вода вряд ли проникала в существенных количествах на глубину более 0,5 м. При этом соленость придонной водной массы в лагуне каждый раз оказывалась на 1–4‰ выше по сравнению с морем.

Таблица 1

**Температура и соленость воды в лагуне на Зеленом мысу
(кут Кислой губы близ Беломорской биостанции МГУ)**

Глубина, м	22.03.12				4.06.12				8.01.13			
	в лагуне		в море за порогом		в лагуне		в море за порогом		в лагуне		в море за порогом	
	S‰	T°C	S‰	T°C	S‰	T°C	S‰	T°C	S‰	T°C	S‰	T°C
0	28,8	-1,6	25,9	-1,6	25,4	14,1	25,3	11,0	20,5	-1,2	7,0	-0,5
0,5	28,8	-1,4	26,8	-1,5	25,5	13	25,3	10,3	21,9	-0,8	26,9	-0,9
1	28,8	-1,4	26,9	-1,4	28,4	12,1	25,3	9,8	22,2	-0,4	26,1	-1,1
1,5	28,8	-1,4	27,4	-1,4	28,7	12,1	25,3	9,7	22,5	-0,1	26,3	-1,1
2	28,8	-1,4			28,7	9,7	25,3	9,6	22,4	-0,2	26,4	-1,1
2,5	28,8	-1,4			28,7	7,0	25,3	9,5	23,1	0,7	26,4	-1,1
3	28,8	-1,4			28,8	5,3			23,5	1,3	26,4	-1,1
3,5	28,8	-1,4			28,8	4,4			26,3	2,9	26,4	-1,1
4	28,8	-1,4			28,8	3,2			27	3,8	26,4	-1,1
4,5	28,8	-1,4			28,8	2,5			27,4	4,0	26,4	-1,1
5	28,8	-1,1			28,9	2,1			27,7	4,3	26,4	-1,1
5,5	28,9	-0,7			29,0	2,1			27,7	4,5	26,4	-1,1
6	29,3	0,2			29,2	1,2			27,9	4,6	26,4	-1,1

В оз. Вонючка на о. Тонисоар измерения солености были выполнены дважды: в июне 2010 г. и в июне 2012 г, и только при второй съемке были выполнены такие же измерения за порогом в море (табл. 2). Возле поверхности озера соленость воды была примерно такой же, как в море и влияние морской воды распространялось не больше, чем на 1 м. Ниже располагалась водная масса с соленостью на несколько промилле выше, чем в этот момент в море.

Таблица 2

Температура и соленость воды в оз. Вонючка на о. Тонисоар возле Сонострова

Глубина, м	Оз. Вонючка на о. Тонисоар 22.06.10		9.06.12			
	S‰	T°C	в оз. Вонючка		в море	
			S‰	T°C	S‰	T°C
0	22,1	16,4	21,1	15,4	17,3	14,0
0,5	23,1	14,6	22,5	13,8	24,2	10,9
1	23,4	13,4	24,6	11,9	24,8	10,6
1,5	25,5	12,4	28	12,0	25,6	9,3
2	25,6	10,9	28,9	11,1	25,3	9,4
2,5	26,6	9,2	28,9	8,7	25,7	8,5
3	26,6	7,1	29	7,1		
3,5	26,7	5,0	28,9	6,1		
4	26,7	3,4	28,9	5,1		
4,5	26,7	2,7	28,9	3,9		
5	26,7	2,1	29	3,1		
5,5	26,7	1,6	28,9	2,6		
6			28,9	2,2		
6,5			29	1,8		
7			28,9	1,7		
7,5			29	1,4		
8			29,1	1,1		
8,5			29	1,2		
9			29,2	1,0		
9,5			29,2	1,0		
10			29,2	1,0		

Высокой солености придонной водной массы в этих лагунах может быть несколько объяснений. Одно из них исходит из аналогии с происхождением глубинной водной массы всего Белого моря, которая поступает в него из Баренцева моря в зимнее время. Если эта аналогия справедлива, то температура и соленость возле дна отделяющихся соленых лагун должны соответствовать зимним значениям в море. Однако наши наблюдения показывают, что в зимнее время соленость воды в море ниже, чем у дна лагун. Другое возможное объяснение – вымораживание соленого рассола при образовании льда. При замерзании морской воды соль остается в концентрированном растворе, который заполняет поры во льду, а также стекает вниз в воду.

Для проверки гипотезы о возможности влияния образования льда на возникновение стратификации мы замораживали пластиковые бутылки объёмом 1,5–2 л, наполненные водой. В одних бутылках была вода, непосредственно взятая из моря (27‰), в других — разбавленная до 24‰, 20‰, 15‰, 10‰, 6‰ и 1‰. Некоторые бутылки с цельной морской водой замораживали частично, другие – полностью. Нижнюю границу льда отмечали, потом бутылки постепенно размораживали и после полного таяния льда послойно измеряли соленость.

Слой воды, который подвергался замораживанию, после оттаивания оказывался опресненным от 3‰ до 15‰, в большинстве сосудов до 3–5‰. На уровне нижней кромки растаявшего льда наблюдался резкий скачок солёности на 6–14‰. Полученное расслоение сохранялось в бутылках в течение недели, что говорит о медленности диффузионных процессов. Но, самое удивительное, что после замораживания бутылей оказалось не два слоя с разной соленостью, а три: на дне каждого сосуда мы обнаружили очень тонкий слой с солёностью гораздо выше морской — 40–50‰. Этот эффект наблюдался как в опытах с цельной морской водой, так и при разбавлениях до 10‰.

Таким образом, концентрированный рассол, который образуется при кристаллизации воды, стекает на дно без перемешивания. Это напоминает «ледяные пальцы смерти», открытые в конце 2011 г. в Антарктике. Механизм их возникновения такой же: переохлаждённая пересоленная вода из полостей во льду прорывается наружу, и, не перемешиваясь, из-за различий в плотности, с морской водой, опускается на дно.

Мы полагаем, что в беломорских отделяющихся водоемах могут происходить подобные явления, и повышенная соленость придонной водной массы может объясняться потоками рассола, образующегося при замерзании верхнего слоя воды. В районе исследований такие потоки соленой воды, вытекающие из ажурных структур на нижней поверхности льда, наблюдали айс-дайверы в бухте Биофильтров.

ИЗМЕНЕНИЕ АКТИВНОСТИ ЛИЗОСОМАЛЬНЫХ ПРОТЕИНАЗ В ЖАБРАХ И ГЕПАТОПАНКРЕАСЕ МИДИЙ *MYTILUS EDULIS* L. БЕЛОГО МОРЯ ПРИ «ШОКОВОМ» ИЗМЕНЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБИТАНИЯ

М.Ю. Крупнова, Н.Н. Немова, И.Н. Бахмет

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии
Карельского научного центра Российской академии наук, Петрозаводск, Россия,
e-mail: krupnova@rambler.ru

Известно, что мидии, живущие на литорали, в ходе эволюции приспособились к резкому изменению факторов среды, таких как температура, концентрация кислорода и соленость воды (Бергер, 1970; Хлебович, 2005). Благодаря этой способности, мидии могут в неблагоприятных условиях существовать до нескольких недель, поддерживая необходимый уровень метаболизма за счет использования различных поведенческих, физиологических, молекулярных и биохимических стратегий адаптаций. Лизосомальная система представляет собой очень важный биохимический адаптивный механизм клетки, обладающий высокой реактивностью как при воздействии на организм экзогенных факторов, так и при резких изменениях метаболического статуса (Хочачка, Сомеро, 1977, 1988, 2002; Немова, Высоцкая, 2004; Немова и др., 2011; Крупнова и др., 2012). В настоящей работе (модельный опыт) изучали изменение активности основных лизосомальных протеиназ (катепсинов В и D) в жабрах и гепатопанкреасе мидий при «шоковом» изменении температуры среды обитания. В качестве объектов исследования использовали наиболее распространенные виды на литорали европейских морей субстратных двустворчатых моллюсков *Mytilus edulis* (Бергер и др., 1970). Мидии отбирались одного размера и веса в Кандалакшском заливе Белого моря (ББС). Контролем служили мидии из аквариума с температурой воды равной температуре воды в море на момент проведения эксперимента (0 °С). Затем, часть мидий помещали в «тепло» (+8 °С) и отбирали материал через 1 час, через 1 сутки. Оставшиеся мидии помещали в аквариумы с температурой 0 °С. Экспозиция опыта составляла 1 час, 1 сутки и 3 суток. До начала эксперимента жабры и гепатопанкреас замораживали и хранили при –80 °С. Активность лизосомальных протеиназ, катепсинов В и D, определяли спектрофотометрически (Алексеев, 1968) по гидролизу белковых и пептидных субстратов. Активность ферментов выражали в единицах поглощения при 280 нм (катепсин D) и 525 нм (катепсин В) на мг белка. Концентрацию тканевых белков определяли методом Брэдфорд (Braedford, 1976).

Полученные результаты показали существенные различия в уровне активности катепсинов у мидий при воздействии т.н. «шоковой» температуры. Эти изменения зависели от времени экспозиции и типа ткани. Максимальный уровень протеолитической активности аспартильной протеиназы – катепсина D отмечен в гепатопанкреасе мидий. Показано, что уровень активности изученных ферментов в жабрах возрастает при экспозиции в течение часа и суток, но к концу экспозиции (72 часа) практически возвращается к контрольным значениям. Такая же тенденция прослеживается и для катепсина D в гепатопанкреасе мидий. Следует особо отметить существенное возрастание (более чем в 2 раза.) в гепатопанкреасе активности цистеинзависимой протеиназы (катепсина В), которая, как известно (Мосо-

лов, 1971) играет первостепенную роль в катаболизме внутриклеточных белков в развитии защитных реакций организма в ответ на различные стрессорные воздействия. Таким образом, показана реакция протеолитической системы лизосом тканей мидий в ответ на «шоковое» повышение температуры среды обитания, что свидетельствует об участии катепсинов в развитии биохимических адаптаций на уровне клетки.

Исследования выполнены с использованием Центра коллективного пользования научным оборудованием ИБ КарНЦ РАН.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов Программы Президента «Ведущие научные школы» НШ-1642.2012.4, РФФИ № 11-04-01167-а, ФЦП «Кадры ...» № согл. 8050, Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Живая природа».

ВИДОВЫЙ СОСТАВ И ОБИЛИЕ ВОДОРΟΣЛЕЙ В ПРИБРЕЖНОМ ЛЬДУ ГУБЫ ЧУПА БЕЛОГО МОРЕЯ

В.А. Кудрявцева

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования «Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова», Москва, Россия, e-mail: white-out@yandex.ru*

Ледовые водоросли являются важнейшим компонентом морских экосистем Арктики. Вклад криофлоры в годовую суммарную первичную продукцию арктических морей составляет в среднем 26%, а в районах с постоянным ледовым покровом, например в центральной Арктике, он может достигать 50%. Продукция ледовых сообществ используется в пелагической и бентосной пищевых цепях и играет значительную роль в глобальном цикле углерода. Одним из основных факторов, определяющих условия существования криофлоры, являются структура и генезис ледового покрова. В Белом море ледовый покров является сезонным и существует более полугода. Общая структура снежно-ледового покрова включает слой снега, слой матового льда снежного генезиса, слой кристаллического плотного льда водного генезиса, слой рыхлого (пористого) молодого льда. В Белом море обилие ледовых водорослей возрастает по сезону и достигает уровня цветения в апреле. При этом для сезонной динамики криофлоры характерна значительная межгодовая изменчивость в сроках наступления цветения, что определяет необходимость ежегодного мониторинга биоты льдов. Наблюдаемое в течение последних десятилетий потепление Арктики ведет к уменьшению общей площади ледового покрова, его толщины и увеличению доли однолетних льдов. По существующим прогнозам, этот процесс продолжится и далее, что может привести к изменению состава и обилия ледовой биоты.

Вышесказанное определило цель настоящего исследования, которая состояла в изучении видового состава и оценке обилия водорослей льдов губы Чупа Кандалакшского залива Белого моря в ранневесенний период.

Пробы льда отбирали 26 марта 2011 г. в губе Чупа Кандалакшского залива Белого моря в районе Беломорской биостанции «Картеш» ЗИН РАН на станциях 1 и 4. Расстояние между станциями составляло 200 м. Керны льда, по одному на каждой станции, вырезали кольцевым буром с диаметром режущего кольца 14 см. Затем керны распиливали на 3 части в соответствии со структурой льда. Полученные пробы льда растапливали в лаборатории при комнатной температуре, талую воду концентрировали и фиксировали раствором Люголя. Отбор проб и их концентрирование выполнены ст. н. с. института Океанологии РАН А.Ф. Сажиним. Для более точного определения диатомовых водорослей готовили постоянные препараты. Водоросли на постоянных препаратах фотографировали на микроскопе Leica DMLN, оснащенный фотокамерой. Численность водорослей определяли методом прямого счета в камере Ножотта объемом 0,05 мл. Объемы клеток определяли по методу геометрического подобия. Величину биомассы в единицах углерода рассчитывали по аллометрическим уравнениям в зависимости от объема. Сходство (S) видового состава фитоценов оценивали по индексу Шимкевича – Симпсона.

На двух станциях ледовый покров состоял из трех слоев: лед снежного генезиса, кристаллический лед водного генезиса и рыхлый лед водного генезиса. Относительный вклад льда разной структуры в толщу ледового покрова различался между станциями: на ст. 4 преобладал кристаллический лед водного генезиса, на ст. 1 – лед снежного генезиса.

Среди встреченных во льду на двух станциях водорослей до вида определено 26 водорослей. В видовой принадлежности 10 водорослей полной уверенности нет, и они учтены как cf. формы. До рода определено 8 водорослей. Ряд водорослей, принадлежащих как к центрическим, так и пеннатым диатомеям не удалось определить даже до рода. Отмечены также неидентифицированные жгутиковые и коккоидные водоросли. Наиболее разнообразно представлены диатомеи, по числу видов преобладали пеннатные формы, что характерно не только для Белого моря, но и для ледовой флоры всей Арктики. Динофлагелляты представлены 4 видами.

Обнаруженное на двух станциях губы Чупа видовое богатство ледовых водорослей (как минимум 34 таксона) ниже реального, поскольку не были определены до вида ряд диатомовых водорослей, а также мелкие жгутиковые и коккоидные водоросли. К тому же при использованных методах растапливания льда (без добавления профильтрованной морской воды) клетки ряда видов могли разрушаться. Ранее во льдах губы Чупа, эстуария Северной Двины и Горла Белого моря обнаружены криптофитовые, примнезиофитовые (включая кокколитофорид), рафидофитовые водоросли, пиководоросли (< 2 мкм), хоанофлагелляты и морские виды эвгленовых.

Видовой состав ледовых водорослей на двух станциях, расположенных на расстоянии 200 м друг от друга, достоверно отличался. Видовой состав водорослей различался и в слоях льда разной структуры. Наименьшее сходство отмечено между видовым составом во льду снежного генезиса и рыхлым льдом водного генезиса на ст. 1. Наибольшим сходством (при достоверности различий) обладал видовой состав водорослей в кристаллическом и рыхлом льду водного генезиса на ст. 1.

Интегральная биомасса водорослей во льду на ст. 1 была почти в два больше таковой на ст. 4 (9,8 и 4,7 мгС/м² соответственно). Большая биомасса выявлена на станции с ледовым покровом меньшей толщины с преобладанием льда снежного генезиса. При этом толщина снежного покрова на станциях существенно не различалась. Всё это свидетельствует о значительной мезомасштабной пространственной вариабельности состава ледовых водорослей, что отмечалось ранее в Белом море и в других арктических районах. Пространственная изменчивость обилия ледовых водорослей также характерна для арктических льдов, причем выявлены как микромасштабная (несколько метров – десятки метров), так и мезомасштабная (сотни метров – километры) вариабельность. Пространственную неоднородность определяет совокупность факторов, основными из которых являются: условия освещенности, зависящие от толщины льда и снежного покрова, концентрация биогенных элементов, соленость и температура, пористость льда и морфология его нижней поверхности, генезис и физическая деформация ледового покрова, возраст ледового покрова, пресс выедания.

Распределение биомассы водорослей в толще льда различалось на двух исследованных станциях. Выявлена приуроченность наибольшего обилия к нижнему слою рыхлого льда водного генезиса (ст. 1) и относительно равномерное распре-

деление биомассы в толще льда (ст. 4). Биомасса водорослей в нижнем слое льда на ст. 1 составила 175,4 мг/см³, что соответствует уровню цветения, однако на два – три порядка меньше биомассы криофлоры в нижних 2–4 см льда в этом же районе в апреле 2002 г. По-видимому, цветение диатомовых водорослей на нижней поверхности льда в марте 2011 г. только начиналось. Аналогичная картина присутствия цветения на нижней кромке льда на одних станциях и отсутствие цветения на других станциях отмечалась ранее в этом же районе в апреле 2002 г.

Наибольший вклад в интегральную биомассу на обеих станциях давала ледовая пенная диатомея *Entomoneis kjellmanii*. Эта водоросль является характерным компонентом криофлоры в Белом море, однако доминирование *Entomoneis kjellmanii* во льду показано впервые. Типичная ледовая водоросль *Nitzschia frigida*, которая во многих случаях доминирует во льдах Белого моря, давала в интегральную биомассу вклад только 2 – 10%.

Впервые для беломорских льдов показан значимый вклад в биомассу криофлоры водоросли *Tryblionella gracilis* (до 16%). Эта водоросль не входила в состав доминирующих и массовых форм во льдах ни в одном из морей Российской Арктики.

Значимый вклад в интегральную биомассу криофлоры давала также планктонная центрическая диатомея *Thalassiosira nordenskiöldii* (до 11%). Это является нехарактерным для ледовых сообществ, однако такие случаи все же регистрируются, например, в паковых льдах Охотского моря. Полагают, что в слое льда снежного генезиса, который образуется в результате смерзания снега и морской воды, биомасса планктонных водорослей может возрастать вследствие их попадания в лед с водой. Относительно высокое обилие *Thalassiosira nordenskiöldii* в нижнем рыхлом слое льда, по-видимому, обусловлено постоянной колонизацией льда водорослями из планктона. При рыхлой пористой нижней поверхности возрастает интенсивность восходящих потоков по ледовым каналам и порам, что ведет к поступлению с водой клеток планктонных водорослей. Также не исключается возможность размножения планктонных относительно крупных видов *Thalassiosira* во льду снежного генезиса благодаря тому, что «снежный» лед более рыхлый, и пространство между кристаллами льда в нем достаточно для роста крупноклеточных водорослей.

Автор выражает глубокую благодарность Андрею Фёдоровичу Сажину за отбор проб для работы.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ФАКТОРА НА ВСТРЕЧАЕМОСТЬ КОПЕПОД

И.П. Кутчева

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Зоологический институт Российской академии наук,
Санкт-Петербург, Россия, e-mail: terna.83@mail.ru

В Белом море происходят заметные изменения гидрологических факторов, прежде всего температуры. И это сказывается на его обитателях. Копеподы, конечно, не исключение. И арктические и бореальные виды меняют свое поведение. Здесь рассмотрены изменения встречаемости двух видов этих комплексов: *Metridia longa* и *Acartia longiremis*.

В 2011 г. на декадной станции Д-1, расположенной в устьевой части губы Чула Кандалакшского залива Белого моря, был зафиксирован температурный рекорд: 20 сентября температура воды на глубине 60 м составила +5.7 °С. Зимой 2012 г. на декадной станции наблюдалась температурная аномалия: если верхний слой имел нормальную зимнюю температуру –1,2° –1,3 °С, то придонный – положительную. В феврале температура воды выше 0° С отмечалась, начиная с 40 м, в марте уже с 30, а в начале апреля – с 28 м до самого дна. Весной уже в безледный период, наоборот, придонный слой имел отрицательную температуру, а верхние 30 м – положительную. Таким образом, отрицательных значений всего столба воды в устьевой части губы Чула зафиксировано не было! Да и в мае в придонном слое температура была всего –0,1 °С.

Acartia longiremis, в отличие от других бореальных видов, полностью не исчезает из планктона Белого моря зимой, на декадной станции единично отмечаются самки и старшие копеподитные стадии. Причем они тяготеют к придонному горизонту. В 2012 г. акартия в феврале встречалась во всех трех горизонтах (0–10 м, 10–25 м и 25–60 м) в одинаковых количествах, по одной самке и старшему копеподиту. В марте она отсутствовала в пробах, а в апреле ее численность была значительной. Причем, если в слоях 10–25 и 25–60 м отмечены только самки этого вида, то в верхнем горизонте 0–10 м были уже и самки и самцы почти в равных количествах (28 и 25 экз./м³ соответственно), а также и копеподитные стадии (12 экз./м³). Такого количества взрослых особей, особенно самцов, в этот период не встречалось ранее на Д-1. А наличие большого количества самцов свидетельствует о начале периода размножения. Летом этот вид держится в вершинной части губы, на Д-1 он теряется на фоне огромной численности других копепод. Но в осенний период в 2012 г. по-прежнему присутствовало большое количество самок и самцов *A. longiremis*. 22 октября их плотность составила 120 и 50 экз./м³ в слое 0–10 м соответственно, 250 экз./м³ копеподитов. В середине ноября отмечены даже науплиусы. Высокая придонная температура воды способствовала сохранению высокой численности этого вида. Таким образом, этот вид мог бы присутствовать в планктоне Кандалакшского залива круглый год в больших количествах. Интересно отметить, что самки *A. longiremis* встречаются единично на всех горизонтах глубже 100 м весь летний период.

Metridia longa является холодноводным видом. Ее жизненный цикл в Белом море до конца не ясен. Науплиусы встречаются весь год (Прыгункова, 1974). Чет-

ко отмечается осеннее увеличение количества науплиусов и младших копепоидных стадий. А вот весной их не всегда можно зафиксировать. Два пика науплиусов (весной и осенью) ясно выражены на диаграммах, сделанным по многолетним сборам на декадной станции сетью Джеди с размером ячеей 0,2 мм. Причем в годы с повышенной соленостью или с отрицательным температурным трендом весенний пик значительно выше осеннего (International Ocean Atlas..., 2003).

В июньских сборах в 1999 и 2012 г. на глубоководных станциях, сделанных в открытой части Кандакшского залива, пробы, взятые сетью с ячейей 0,2 мм, не показательны для рассмотрения встречаемости науплиусов, поэтому привлечены результаты сборов сетью Джеди с частым газом (размер ячеей 0,1 мм). В эти годы температура всего столба воды имела значительные отклонения: в 1999 г. она была холоднее, а в 2012 г. – теплее обычного (табл.). Так, в 2012 г. 0 °С отмечен на 57 м. Глубже 100 м сохранялись отрицательные значения.

Температура воды в июне на глубоководных станциях в слое 0–100 м

Глубина, м	21.06.1999 206 м	20.06.2012 172 м
0	10.8	13.7
10	2.1	11.63
25	0.1	5.4
50	–0.3	0.05
75	–0.6	–0.15
100	–1.0	–0.43

В 1999 г. науплиусы *M. longa* отмечены в массе во всем столбе воды, начиная с глубины 10 м с разрывом на слой 25–50 м. Причем их наибольшее количество было в слое 10–25 м — до 900 экз./м³ (Кутчева, 2007). Обилие науплиусов метридии в июне 2012 г. обнаружено только на глубинах, начиная со 100 м. Таким образом, наличие весеннего максимума науплиусов метридии не вызывает сомнения. А температура воды влияет на их встречаемость в разных слоях воды.

ВЛИЯНИЕ БИОТИЧЕСКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НА МИДИЙ *MYTILUS EDULIS* БЕЛОГО МОРЯ

Е.И. Кяйвярйнен¹, Н.Н. Немова¹, В.В. Халаман²

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии
Карельского научного центра Российской академии наук, Петрозаводск, Россия,
e-mail: hela_kaiv@mail.ru

² Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Зоологический институт
Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

Мидия съедобная *Mytilus edulis* L. – один из наиболее массовых и широко распространенных видов моллюсков в морях бореальной зоны Атлантического океана. Он является объектом марикультуры во многих странах, а в европейской части России наиболее удачный опыт культивирования этого моллюска был получен для Белого моря (Кулаковский, 2000). В основе биотехнологии выращивания мидий в Белом море лежит способность данного вида образовывать сообщества обрастания (Ошурков, 1985; Халаман, 1989, 2008.). Однако в Белом море в верхнем 3-х метровом слое воды, который используется в целях марикультуры мидий, долговременные сообщества обрастания могут образовывать как *Mytilus edulis*, так и одиночная асцидия *Styela rustica* (Халаман, 2001). Более того, в значительном количестве в сообществах обрастания, развивающихся на коллекторах для выращивания мидий съедобной, могут присутствовать такие организмы как двустворчатый моллюск *Hiatella arctica*, одиночная асцидия *Molgula citrina*, губка *Halichondria panicea* и некоторые другие. Поселяется здесь и хищная морская звезда *Asterias rubens* (Максимович, Морозова, 2000). Одним из вопросов, представляющих как теоретический, так и очевидный практический интерес, оказывается проблема воздействия этих организмов на объект культивирования посредством выделяемых во внешнюю среду химических веществ. Известно, что химическая коммуникация служит весьма важным и значимым явлением в водной среде (Zimmer, Butman, 2000).

В ходе специально проведенных исследований было показано, что вещества, выделяемые во внешнюю среду различными организмами, входящими в состав беломорских сообществ обрастания, вызывают ответные физиологические и поведенческие реакции взрослых мидий (Лезин, Халаман, 2007), влияют на оседание и метаморфоз личинок этих моллюсков (Халаман и др., в печати).

Обнаружено, что экскреторно-секреторные продукты (ЭСП) оказывают токсическое воздействие на мидиевые сообщества обрастания. Активная реакция мидий может быть направлена как на хищников, так и на конкурентов, что позволяет предположить наличие у мидий неспецифической защитной реакции закрепления биссусом беспокоящих ее живых объектов. Этот факт подтверждает наличие острых антагонистических отношений между различными видами (Халаман, 2001), а также свидетельствует о существовании поведенческих способов борьбы с конкурентами в «арсенале» *M. Edulus*. В работе Лезина и Халамана (2007) показано, что мидии не увеличивали свою активность в присутствии ЭСП особей своего вида, *Hiatella arctica* или *Molgula citrine*, одинаково реагировали на ЭСП *Asterias rubens* и *Halichondria panicea*. Сила этого

влияния увеличивалась в ряду: *H. arctica* < *S. rustica* ≤ *M. citrina* < *M. edulis* < *H. panicea* (Халаман, 2008), указывая на цитотоксический эффект ЭСП *Halichondria panacea*.

В организме мидий происходят процессы ионной и осморегуляции в зависимости от изменения состава окружающей среды (Dietz et al., 1996). Установлено (Borgatti et al., 2003), что двустворчатые моллюски как большинство беспозвоночных и позвоночных животных, содержат убаин-чувствительную Na^+/K^+ АТФазу, активность которой подвержена сезонным колебаниям среды обитания, изменениям температуры и солёности окружающей среды (Borgatti et al., 2003). Наряду с Na^+/K^+ насосом также обнаружена вторая Mg^{2+} и Na^+ зависимая АТФаза, которая для активации не требует ионов K^+ или других одновалентных катионов (кроме Na^+) (Parliarani et al., 2006). Данные ферменты описаны как натрий-переносящие насосы, которые связаны с вытеснением Na^+ из клетки. Известно, что процессы Na^+/K^+ обмена обеспечивают условия для трансмембранного переноса различных метаболитов (Болдырев и др., 2006), таких как некоторые сахара и аминокислоты. В этой связи представляет интерес раскрытие особенностей Na^+/K^+ обмена в жабрах и крае мантии организма мидий *Mytilus eduli* как одного из доминантов Беломорских обрастаний в ответ на воздействие ЭСП основных компонентов сообществ обрастания Белого моря (губки *Halichondria panicea*, асцидии *Styela rustica*, двустворчатого моллюска *Hiattella arctica*, морской звезды *Asterias rubens*, а также особей своего вида *Mytilus edulis*).

Исследование влияния ЭСП тестируемых гидробионтов на мидий *M. edulis* проводили в аквариальных условиях, на ББС «Картеш» ЗИН РАН. Подопытных моллюсков выдерживали в морской воде с неизменной солёностью, содержавшей ЭСП того или иного беспозвоночного, в течение 6, 12, 18 и 24 часов. Контролем служили мидии, находившиеся в чистой морской воде.

В жабрах мидий обнаружена более высокая исходная активность Na^+/K^+ обмена по сравнению с краем мантии, по-видимому, вследствие барьерной функции жабр. При 6-ти часовом выдерживании наблюдается некоторое повышение Na^+/K^+ обмена в жабрах мидий в среде ЭСП губки *Halichondria panacea* и снижение Na^+/K^+ обмена во всех экспериментальных группах. По мере выдерживания моллюсков в среде с ЭСП всех беспозвоночных происходит снижение активности Na^+/K^+ обмена в жабрах, особенно резкое при 18-ти часовой экспозиции. В жабрах мидий, подвергаемых воздействию ЭСП всех тестируемых видов в течение 24 часов, происходит некоторое увеличение активности Na^+/K^+ обмена, наиболее выраженное под влиянием ЭСП губки *Halichondria panicea* и морской звезды *Asterias rubens*, на фоне общего снижения активности Na^+/K^+ обмена по сравнению с исходной точкой. При выдерживании мидий в морской воде (контроль) наблюдается общая тенденция снижения активности Na^+/K^+ обмена в жабрах.

В крае мантии по мере выдерживания мидий в среде с ЭСП всех исследуемых беспозвоночных происходит увеличение активности Na^+/K^+ обмена с возвращением показателей через сутки на исходный уровень. Исключение составляет только некоторое повышение Na^+/K^+ обмена у мидий в среде с ЭСП губки *Halichondria panacea*, морской звезды *Asterias rubens* и асцидии *Styela rustica* при 24-ти часовой экспозиции.

Таким образом, наиболее выраженные изменения уровня активности Na^+/K^+ обмена наблюдаются под воздействием конкурента асцидии и хищной морской звезды. ЭСП губки также вызывает резкое изменение обмена в сторону его увеличения через 24 часа. Подобная реактивность Na^+/K^+ обмена отражает тем самым высокий адаптивный потенциал мидий к воздействию секреторно-экскреторных продуктов тестируемых видов.

Данные проведенных исследований указывают на реактивность обмена ионов Na^+ и K^+ в организме мидий *Mytilus edulis* в исследуемом диапазоне времени воздействия ЭСП, которая зависит от вида организма – агента.

Работа проведена с использованием ЦКП ИБ КарНЦ РАН. Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ «Ведущие научные школы» НШ-1642.2012.4, РФФИ 11-04-00167-а, Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Живая природа», ФЦП «Кадры ...», № согл. 8050.

Литература

Болдырев А.А., Кяйвярайнен Е.И., Илюха В.А. Биомембранология. Петрозаводск: Изд. КарНЦ РАН, 2006. 230 с.

Кулаковский Э.Е. Биологические основы марикультуры мидий в Белом море. СПб.: Изд. ЗИН РАН. Исслед. фауны морей. 2000. Т. 50(58). 168 с.

Лезин П.А., Халаман В.В. Скорость биссусообразования у беломорских мидий *Mytilus edulis* (Linnaeus, 1758) в присутствии метаболитов некоторых гидробионтов // Биол. моря, 2007. Т. 33. № 1. С. 62–64.

Максимович Н.В., Морозова М.В. Структурные особенности сообществ обрастания субстратов промышленной марикультуры мидий (Белое море) // Сб. Тр. БиНИИ СПбГУ. Изучение опыта промышленного выращивания мидий в Белом море. СПб.: Изд. СПбГУ. 2000. Вып. 46. С. 124–143.

Ошурков В.В. Динамика и структура некоторых сообществ обрастания и бентоса Белого моря // Экология обрастания в Белом море. Л.: Изд-во ЗИН АН СССР. 1985. С. 44–59.

Халаман В.В. Исследование сукцессии обрастания в Белом море с помощью информационного индекса видового разнообразия // Тр. ЗИН АН СССР. 1989. Т. 203. С. 34–45.

Халаман В.В. Сукцессия сообществ обрастания искусственных субстратов мидиевых хозяйств в Белом море // Биол. Моря. 2001. Т. 27. № 6. С. 399–406.

Халаман В.В. Автореферат диссертации.....докт. биол. наук. Санкт-Петербург, ЗИН РАН, 2008. 48 стр.

Халаман В.В., Лезин П.А., Флячинская Л.П. Влияние экскреторно-секреторных продуктов некоторых животных-обрастателей на оседание личинок *Mytilus edulis* L. (Bivalvia, Mollusca) // Invertebrate Zoology, в печати.

Borgatti A.R., Pagliarani A., Ventrella V., Manuzzi M.P., Trombetti F., Pirini M. Na^+/K^+ ATPase and other parameters in bivalve mollusks from the Adriatic sea under different environmental conditions // Vet.Res.Com. 2003. Vol. 27. N 1. P. 207–210.

Dietz T.H., Wilcox S.J., Byrne R.A., Lynn J.W., Silverman H.S. Osmotic and ionic regulation of North American Zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) // American Zoologist 1996. V. 36. N 3. P. 364–372.

Pagliarani A., Bandiera P., Trombetti F., Pirini M., Borgatti A.R. Response to alkyltins of two Na^+ -dependent ATPase activities in *Tapes philippinarum* and *Mytilus galloprovincialis* // Toxicology in vitro. 2006. 20. pp. 1145–1153.

Zimmer R.K., Butman C.A. Chemical signaling processes in the marine environment // Biol. Bull. 2000. Vol. 198. P. 168–187.

ПРОЦЕСС РЕАГРЕГАЦИИ КЛЕТОК У ДВУХ ВИДОВ ГУБОК БЕЛОГО МОРЯ

А.И. Лавров, И.А. Косевич

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования «Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова», Москва, Россия, e-mail: gonoduct@gmail.com*

Губки (Porifera) – водные, морские или пресноводные многоклеточные животные с фильтрационным питанием и дыханием. У губок отсутствуют обособленный кишечник или кишечная паренхима, нервная и мышечная системы, а также гонады. Организация этих многоклеточных животных во взрослом состоянии крайне примитивна, и единственной обособленной системой, вокруг которой строится вся организация взрослой губки, является водоносная система.

Уникальной чертой взрослых губок можно считать мобильность и пластичность их анатомических структур и клеточных линий. Все клетки в теле этих животных способны к активному перемещению, и среди них нет необратимо дифференцированных типов. Анатомические структуры в теле губки также подвергаются постоянной перестройке. Эти непрерывно идущие процессы реорганизации тела позволяют губкам адекватно реагировать на изменения условий окружающей среды (Ересковский, 2005).

Одной из форм проявления описанной выше пластичности губок является способность их клеток к реакгрегации после диссоциации тканей животного химическими или механическими методами. В ходе реакгрегации происходит формирование многоклеточных агрегатов разнообразного строения, а в некоторых случаях и полное восстановление организации губки (с функционирующей водоносной системой, непрерывной экзопинакодермой и развитым мезохилом) (Wilson, 1907; Buscema et al., 1980; Короткова, 1972). Особой стадией процесса реакгрегации является формирование так называемых примморфов. Примморфы представляют собой трехмерные клеточные агрегаты сферической формы. Они обладают тканеподобной структурой и характеризуются наличием непрерывной пинакодермы, отделяющей внутреннюю массу неспециализированных клеток от окружающей среды. Примморфы представляют собой завершение процесса реакгрегации клеток. После их окончательного формирования могут начаться процессы регенерации и роста губки (Custudio et al., 1998; Müller et al., 1999).

Все это делает процесс реакгрегации клеток губок удобной лабораторной моделью, которая позволяет в контролируемых условиях изучать поведение отдельных типов клеток (клеточные деления, миграция, дифференцировка, роль программируемой клеточной смерти), а также процессы восстановления исходных связей между клетками и формирования основных структурных элементов организма. Целью настоящего исследования было отработать методику и проанализировать последовательность реакгрегации клеток у двух видов губок из Белого моря, ранее не использовавшихся в подобных работах.

Работы были проведены на базе Беломорской биостанции им. Н.А. Перцова биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

В качестве объектов исследования были выбраны два вида губок, относящиеся к классу Demospongiae: *Halichondria panicea* (Pallas, 1766) и *Haliclona aquaeductus* (Shmidt, 1862). Сбор образцов проводили легководолазным методом. До начала экспериментов губок содержали в аквариумах с биологическими фильтрами при температуре 12–15 °С. Затем участки тела губок подвергали механической диссоциации: измельченные кусочки тканей помещали в мешочек из мельничного газа с размером ячеек 200 мкм и протирали сквозь него с помощью пинцета в емкость с фильтрованной морской водой. Полученные суспензии клеток культивировали при постоянной температуре 4 °С (первые 24 часа культивирование проходило на орбитальном шейкере при скорости вращения 100 об/мин). В качестве среды для культивирования суспензии клеток использовали фильтрованную морскую воду.

Процесс реагрегации регистрировали под микроскопом или бинокляром. Клеточные агрегаты, сформировавшиеся в суспензиях клеток, были зафиксированы и исследованы методами световой и электронной микроскопии (ТЭМ, СЭМ).

Суспензии клеток изученных видов губок, полученные при диссоциации тканей животных, содержали живые клетки. Большинство клеток активно образовывало псевдоподии. Количество и форма псевдоподий варьировали. Хоаноциты некоторое время сохраняли жгутик, но позже втягивали его в клеточное тело. Окраска суспензий йодидом пропидия в комбинации с DAPI показала, что они содержали лишь небольшое количество мертвых клеток.

Первые этапы процесса реагрегации начинаются в суспензиях клеток непосредственно после их получения. Нам не удалось наблюдать амебоидного перемещения клеток в суспензии с помощью псевдоподий. Судя по всему, клетки образуют псевдоподии для “обследования” пространства вокруг себя. При соприкосновении псевдоподий двух клеток, между ними возникает контакт, и клетки начинают сближаться друг с другом за счет сокращения псевдоподий. Вероятно, именно таким образом происходит образование первых клеточных агрегатов у исследованных видов. Клетки в составе первых агрегатов также образуют псевдоподии, что способствует присоединению к агрегатам новых клеток и увеличению их размеров. Сходное поведение клеток и механизм их реагрегации описаны для другой беломорской губки – *Halisarca dujardini* Johnston, 1842 (Волкова, Золотарева, 1981). Вместе с тем у губок видов *Leucosolenia complicate* (Montagu, 1818), *Sycon lingua* (Haeckel, 1870) и *Microciona prolifera* (Ellis & Solander, 1786) определенные типы клеток сохраняют свою амебоидную подвижность и после диссоциации тканей. У этих губок процесс реагрегации происходит преимущественно за счет случайных встреч подвижных клеток (Galtsoff, 1923; Короткова, 1972).

Процесс реагрегации клеток у исследованных видов губок в целом проходит сходно, и в нем можно выделить несколько этапов:

- 1) формирование первичных клеточных агрегатов;
- 2) сортировка клеток в составе первичных клеточных агрегатов;
- 3) преобразование первичных клеточных агрегатов в приморфы;
- 4) активное слияние приморфов друг с другом.

Формирование первичных клеточных агрегатов, заметных невооруженным глазом, в суспензиях клеток происходит через 24 часа после диссоциации.

В суспензиях клеток *H. panicea* при концентрации 10^7 кл/мл происходит формирование большого количества некрупных *клеточные агрегатов* диаметром 140–185 мкм, которые имеют округлую или сложную разветвленную форму.

В суспензиях *H. aquaeductus* при концентрации клеток 10^7 кл/мл появляется не только большое количество простых *клеточных агрегатов*, но и крупные *клеточные скопления*. Агрегаты имеют округлую или овальную форму и достаточно крупные размеры – 250–497 мкм в диаметре. Клеточные скопления представляют собой очень крупные образования размером до 10 мм, имеющие неправильную форму. Форма и плотность таких скоплений сильно варьирует в разных культурах клеток. Клеточные скопления могут долгое время существовать в культуре, при этом на их поверхности появляется большое количество мертвых клеток и детрита. Со временем такие скопления погибают. Чтобы избежать потери большого количества клеток, мы разделяли данные скопления на несколько частей. Части клеточных скоплений постепенно приобретали правильную округлую форму и становились похожи на обычные клеточные агрегаты.

Изучение полутонких срезов показало, что клеточные агрегаты обоих видов губок состоят из клеток двух размерных классов. Большая часть клеток в составе агрегатов имеет размеры 2–5 мкм, но присутствуют и более крупные клетки (8–20 мкм). Большинство крупных клеток несет в цитоплазме многочисленные фагосомы. Реже встречаются крупные клетки, в цитоплазме которых находятся включения с гомогенным содержимым. Клетки в составе агрегатов разделяют пустые пространства, которые у живых агрегатов, вероятно, заполнены внеклеточным матриксом. На ультратонких срезах между цитоплазматическими мембранами некоторых контактирующих клеток были обнаружены межклеточные контакты, морфологически напоминающие контакты запирающего типа. В состав агрегатов также входят спиккулы материнской губки и их обломки.

На 3–4-е сутки культивирования начинается следующий этап процесса реагрегации – *сортировка клеток* в составе первичных клеточных агрегатов. Внешне это проявляется в формировании вокруг большинства агрегатов рыхлой оболочки из мертвых клеток и детрита. На 5–8-е сутки происходит освобождение агрегатов от такой оболочки. После этого агрегаты выглядят более плотными, приобретают правильную округлую форму. Данную стадию реагрегации клеток изученных видов губок можно охарактеризовать как *ранние примморфы*. В течение следующих двух суток следует преобразование ранних примморфов в *настоящие примморфы*, сопровождающееся формированием у них более гладкой поверхности.

На гистологическом уровне сортировка клеток приводит к уменьшению количества мелких клеток (размером 2–5 мкм) в составе агрегатов и к уплотнению упаковки оставшихся более крупных клеток. В составе ранних примморфов обоих видов губок преобладают клетки размером 8–20 мкм. Мелкие клетки по-прежнему присутствуют в составе ранних примморфов, но их количество незначительно. Поверхность ранних примморфов *H. aquaeductus* покрыта слоем клеток, соединенных цитоплазматическими отростками и имеющих слегка уплощенную форму. У ранних примморфов *H. panicea* такой слой клеток отсутствует.

У *H. aquaeductus* преобразование ранних примморфов в настоящие примморфы сопровождается формированием на их поверхности пинацитов. Но в отличие от примморфов *Suberites domuncula*, для которых рядом авторов описывается

поверхность, покрытая непрерывным слоем пинакоцитов (Custudio et al., 1998; Müller et al., 1999), поверхность примморфов данного вида не полностью покрыта пинакоцитами.

При преобразование ранних примморфов *H. panicea* в настоящие примморфы у на их поверхности не появляются пинакоциты, но формируется слой гладкого внеклеточного матрикса. В остальных чертах своего строения примморфы похожи на ранние примморфы.

Примморфы были последней стадией реагрегации у исследованных видов губок. После завершения своего формирования примморфы сохраняли жизнеспособность более месяца, но восстановления исходной организации губки не происходило. В течение этого времени наблюдали постепенное слияние примморфов и увеличение их размеров. За семь дней после формирования примморфов их количество в культурах *H. aquaeductus* уменьшилось с 188 шт. до 2 шт., а размеры увеличились с 177 мкм до 614 мкм. В культурах *H. panicea* в тот же период времени количество примморфов уменьшилось с 71 шт. до 5 шт., а их размеры увеличились с 136 мкм до 275 мкм.

Данная работа позволила отработать методики получения клеточных агрегатов из суспензий клеток губок и определить основные этапы процесса реагрегации клеток у двух видов беломорских губок. Это послужит основой для более детальных исследований процесса реагрегации. Предстоит изучить роль и поведение различных типов клеток, формирование новых межклеточных контактов и восстановление внеклеточного матрикса и скелетных элементов в ходе этого процесса.

СКОЛЬКО СЕЙЧАС КОЛЮШКИ В БЕЛОМ МОРЕ?

Д.Л. Лайус, Т.С. Иванова, М.В. Иванов, Е.В. Шатских

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург, Россия, e-mail: dlajus@gmail.com

Наиболее массовые виды морских рыб, как правило, имеют и важнейшее промысловое значение. Об изменениях их численности можно судить по результатам оценок состояния запасов, которые выполняются рыбохозяйственными институтами. Поскольку массовые виды рыб занимают в то же самое время и ключевые позиции в экосистеме, колебания их численности говорят и об изменениях во всей экосистеме. Поэтому промысловая статистика и мониторинг запасов массовых видов рыб в то же время позволяют и отслеживать состояние экосистемы.

С этой точки зрения нынешняя ситуация в Белом море довольно неординарна. Наиболее массовым видом рыб в водоеме является, судя по всему, трехиглая колюшка *Gasterosteus aculeatus*. Численность этого вида была очень высокой в 1930-40-х гг. прошлого века, а в 1960-80-х гг. ее было очень мало. Возрастание обилия колюшки отмечено начиная с конца 1990-х гг. Колюшка практически не имеет промыслового значения. В связи с этим она не является и объектом рыбохозяйственных исследований. Это лишает нас каких бы то ни было количественных данных об этом виде и, соответственно, сильно затрудняет исследования изменений в беломорской экосистеме.

В периоды высокой численности трехиглая колюшка занимает в морской экосистеме ключевое положение. Питаясь планктоном и будучи пищей для хищных рыб, она осуществляет связь между разными трофическими уровнями. Когда целый трофический уровень состоит из небольшого числа видов, говорят об экосистемах с «осиной талией». В Белом море к таким видам, кроме колюшки можно отнести сельдь (однако, сейчас ее численность в Кандалакшском заливе невысока, и из-за более крупных размеров она менее доступна для большинства хищников), а также песчанку, которой обычно очень немного. Следовательно, в современной беломорской экосистеме «осиная талия» — это в основном трехиглая колюшка. Поэтому более или менее существенные изменения в экосистеме не могут не выражаться в изменениях численности ключевого вида — трехиглой колюшки.

Задачей настоящего исследования является изучение распределения трехиглой колюшки в Белом море и, на этой основе — оценка ее численности в настоящее время.

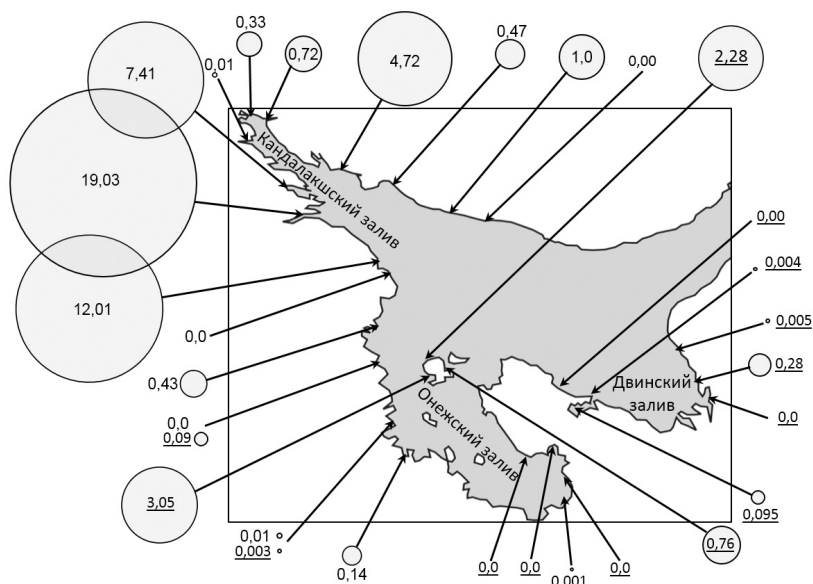
Материал для исследования собирался в 2009–2011 гг в Кандалакшском, Онежском и Двинском заливах Белого моря. Работы проводились в середине — второй половине июня, т.е. в период массового нереста трехиглой колюшки. В 2009 мы исследовали в основном акваторию Керетского архипелага, прилежащую к морской биологической станции Санк-Петербургского государственного университета. В 2010 г. нами был собран материал на северном и южном берегах Кандалакшского и западном берегу Онежского залива. В 2011 пробы собирались в основном в Двинском заливе южной и восточной частях Онежского залива. Отлов рыб проводили мальковым неводом в 30-метровой прибрежной полосе. Длина невода составляла 7,5 м, высота 1,5 м, размер ячеи — 3 мм, мотня была изготовлена из газа 1мм. Площадь облова составляла 150 кв.м. Коэффициент уловистости

невода принимали за 0,7. Обычно делали 2–3 повторных замета, при этом различия результатов повторных заметов обычно не превышали 10%.

Для оценки численности колюшки все побережье Белого моря было разделено на участки исходя из степени прибойности, глубины, грунта и типа подводной растительности. В программе GoogleEarth оценивали длину каждого из участков и умножали на соответствующие численности колюшки, полученные в результате полевых исследований.

В районе Керетского архипелага наибольшую численность производителей наблюдали в закрытых губах (Сельдяная и Яковлева) с мощными и обширными зарослями zostеры. Она составляла до 90 экз./м². В зарослях фукуса плотность колюшки была более чем на порядок меньше. На скалистых участках побережья колюшки обнаружено не было. Около малых островов в зарослях фукуса плотность колюшки было в 7–10 раз меньше, чем около материка и крупных островов. Если усреднить данные по численности колюшки с учетом доли биотопов, то для Карельского берега Канда拉克шского залива можно принять, что на квадратный метр прибрежной акватории в 2009 г приходилось примерно 8 рыб, что составляет около 170 тыс. экз. на один км береговой линии. Поскольку данный характер побережья сохраняется на участке между губами Княжая и Гридина, длина которого может быть приблизительно оценена в 800 км, численность производителей колюшки в этом районе составляют 136,0 млн особей.

В кутовой части Канда拉克шского залива, несмотря на то, что условия размножения сходны с теми, которые наблюдаются на южном побережье залива, численность производителей была в несколько раз ниже – до 1,5 экз./кв.м (рис.).



Численность трехиглой колюшки в Белом море в период нереста (средние значения для 2–3 съемок). Съемки проведены 15–22 июня 2010 г. и 13–24 июня 2011 г. неводом в прибрежной зоне шириной 30 м. Цифры обозначают численность колюшки в экз./м². Площадь кругов пропорциональна численности. Данные 2011 г. отмечены подчеркиванием

На северном берегу Кандалакшского залива максимальная численность колюшки отмечена в районе пос. Умба. Далее на восток по Кандалакшскому берегу, в районе рек Черная и Сальница численность колюшки составляла 0,5–1 экз./кв.м. В этом районе условия размножения вида явно неблагоприятны ввиду высокой прибойности. Повторные исследования в августе показали полное отсутствие молоди на данных станциях, что говорит о неэффективности нереста. Общее количество колюшки по побережью Кандалакшского залива и соседнему участку Карельского берега (относящегося к Бассейну моря) составляет 232,3 млн особей.

Наиболее восточной точкой наших сборов по северному берегу моря был мыс Толстик на Терском берегу, примерно в 18 км к западу от устья р. Варзуга. Судя по визуальному осмотру и неводным ловы в литоральных лужах на этой станции, колюшка здесь отсутствует.

Онежский залива гораздо беднее колюшкой, чем Кандалакшский. Вдоль западного берега залива биотопы, в целом, не очень благоприятны для нереста колюшки из-за отсутствия подходящей водной растительности, а также из-за высокой прибойности берега. Численность производителей здесь, соответственно, довольно низка (рис.). То же самое можно сказать и про Поморский и Лямецкий берега. Попадания колюшки здесь были единичны. Большая часть колюшки Онежском заливе сосредоточена в районе Соловецкого архипелага, где плотности достигают 3 экз./кв.м. Всего здесь насчитывается 37,6 млн. особей, а общая численность колюшки Онежского залива составляет 51,4 млн.

В Двинском заливе колюшки еще меньше, чем в Онежском. Небольшое ее количество было обнаружено в кутовой части, по Зимнему берегу, недалеко от устья Северной Двины (рис.). Около 600 колюшек было обнаружено в небольшом соловодоводном ручье (ширина 3–5 м, длина 2000 м) которые здесь нерестились. В остальных исследованных районах Двинского залива, кроме Унской губы, колюшка встречается единично. В Унской губе сосредоточено 97% всей колюшки залива. Хотя ее численность здесь в среднем не очень велика – около 0,1 экз./кв.м, благодаря обширным мелководьям губы, заросшим zostерой, почти вся акватория имеет благоприятные условия для обитания колюшки, поэтому общая численность колюшки здесь была довольно значительна – 19,4 млн особей, а всего в Двинском заливе – 20,0 млн рыб.

В состав Белого моря, кроме трех перечисленных заливов, еще входят Бассейн, Горло, Мезенский залив и Воронка. Хотя наша экспедиция эти труднодоступные районы не охватывала, судя по литературным данным, а также по характеру побережья, колюшка здесь, если и имеется, то в очень небольшом количестве. Поэтому на фоне трех заливов внутренней части Белого моря, по части обилия колюшки этими районами моря можно пренебречь.

Таким образом, по нашим оценкам в прибрежной зоне, общая численность трехиглой колюшки в Белом море для периода 2009–2011 гг., составляла 303,7 млн особей. Считая, что средняя масса рыб на нерестилищах составляет 3 г, общая биомасса половозрелой колюшки составляет около 910 тонн. Из них 76,5% обитает в Кандалакшском заливе, 16,9% – в Онежском, и 6,6% – в Двинском. Кроме трехиглой колюшки, в Белом море обитает также девятииглая колюшка, численность которой, однако, непоставимо мала по сравнению в таковой трехиглой.

В какой степени неводные ловы в прибрежной зоне в нерестовый период позволяют судить о численности нерестовой части популяции колюшки? Относительная численность рыб в отдельных заливах оценена, по-видимому, достаточно точно, в то же время оценка абсолютной численности более проблематична. Судя по нашим данным, полученным в Кандалакшском заливе, если сроки отбора проб отличаются от численности в пик нереста примерно на неделю, численность может составлять 60–70% от максимума. А поскольку материал для данного исследования собирался в экспедиционном режиме с одноразовыми пробоотборами на каждой из станций, когда точные сроки нереста можно только предполагать, подобные, и даже более значительные отклонения от пика нереста выглядят вполне реалистичными. Кроме того, есть основания считать, что не все производители, готовые к нересту в текущем году, находятся одновременно на нерестилищах даже в период максимальной численности. В 2012 г наши траловые ловы в губу Чупа на расстоянии нескольких сотен метров от берега в разгар нереста показали, что здесь встречаются самки колюшки, имеющие гонады III стадии зрелости. Это говорит о том, что эти рыбы будут нереститься в текущем году, но несколько позже. Поэтому можно предположить, что с помощью невода в экспедиционном режиме в нерестовый сезон можно обловить примерно половину производителей колюшки. Кроме того, очевидно, что общее количество колюшки в море заметно превышает приведенные оценки, поскольку в них не учтены неполовозрелые особи.

Таким образом, в нашем исследовании впервые получены данные о численности трехиглой колюшки в масштабах всего Белого моря. Хотя сейчас численность колюшки находится на относительно высоком уровне, она еще не достигла тех значений, которые наблюдались в первую половину 1930-х гг. Очевидно, по числу особей эта маленькая рыбка превосходит сейчас всех других беломорских рыб, в первую очередь навагу и сельдь, запасы которой сейчас находятся на довольно низком уровне. Если говорить о Кандалакшском заливе, то скорее всего, трехиглая колюшка имеет и максимальную биомассу. Если ли же говорить обо всем Белом море, то колюшка по биомассе, скорее всего, уступает сельди.

ОПЫТ ИНДУСТРИАЛЬНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ КУБЕНСКОЙ НЕЛЬМЫ В ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

А.А. Лютиков

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного
хозяйства», Санкт-Петербург, Россия, e-mail: tokto@mail.ru*

Нельма *Stenodus leucichthys nelma* – ценный и самый крупный представитель семейства сиговых, ее размеры достигают более 1,5 м в длину и массы до 50 кг. Нельма имеет обширный ареал обитания, обусловленный ее высокой экологической пластичностью: в нашей стране она распространена во всех крупных реках бассейна Северного Ледовитого океана. Данный подвид легко приспосабливается к новым условиям и в пределах существующего ареала образует туводные формы. Примером подобной адаптации может служить нельма из оз. Кубенского (Вологодская обл.), в котором из-за возведения плотины на р. Сухоне пришедшие на нерест производители северодвинской популяции были лишены возможности вернуться в море. Оставшаяся в озере рыба со временем образовала жилое стадо, отличающееся от полупроходных популяций рядом биологических особенностей, среди которых можно выделить раннее наступление половозрелости (самцы 4+, самки 5+) и быстрый темп роста в течение всего жизненного цикла. Наряду с высокими вкусовыми качествами и пищевой ценностью (ее мясо самое калорийное среди сиговых рыб – более 1900 ккал/кг), подобные особенности делают кубенскую нельму перспективным объектом индустриального рыбоводства.

Первые опыты, связанные с искусственным разведением этого подвида относятся к 50–60-м годам прошлого столетия. Биотехника воспроизводства включала в себя отлов и выдерживание производителей из природного водоема, получение качественных половых продуктов, искусственное осеменение, инкубацию икры с последующим получением личинок, и их выращивание в прудах и озерах-питомниках. Несмотря на все недостатки этой технологии, полученные результаты показали высокие потенциальные возможности роста нельмы, отдельные экземпляры которой за первое лето выращивания на хищном питании достигали 226 г. Метод выращивания нельмы в прудах и озерах-питомниках не нашел широкого применения. Причиной этому послужили неудовлетворительные результаты выращивания молоди, которые в отсутствии рыбной пищи (поиск которой ведет к дополнительным трудовым и финансовым затратам) были не способны перейти на хищное питание, и как следствие, имели мелкие размеры. Также, недостаток прудовых площадей и сложность управления на них рыбоводными процессами не способствовали развитию практики выращивания нельмы в прудах.

В настоящее время в ГосНИОРХе проводятся работы по формированию индустриального маточного стада нельмы. Для этих целей на базе садкового рыбоводного хозяйства ООО «Форват» (Ленинградская обл.) сотрудниками лаборатории аквакультуры и воспроизводства ценных видов рыб, ежегодно начиная с 2009 г. собирается икра от производителей кубенской нельмы, молодь которой была выращена на рыбоводном хозяйстве Кондопожского ЦБК (Республика Карелия).

За период наблюдений в условиях рыбоводного завода нерест нельмы проходит в первых числах ноября с понижением температуры до 7–6 °С. Икра олигоплазматического типа, то есть с невысоким содержанием цитоплазмы в яйце и по сравнению с другими сиговыми довольно крупная. В разные годы икра отличалась по размерно-весовым показателям, что зависит от размеров, возраста и условий нагула производителей. Диаметр зрелой икринки равняется $2,61 \pm 0,02$ мм, при массе $10,21 \pm 0,18$ мг, после набухания ее размеры увеличиваются до $3,26 \pm 0,02$ мм в диаметре и $18,57 \pm 0,21$ мг.

Осеменение икры проводили «сухим» способом, длительность поступательно-го движения спермиев при температуре 6,4° С равнялась в среднем 111 с. Набухание икры сопряжено с образованием перевителлинового пространства и начинается через 5–7 минут после оплодотворения. Завершение этого процесса происходит примерно спустя 110–140 минут. Одновременно с увеличением перевителлинового пространства происходит формирование бластодиска, под которым концентрируются жировые капли. Эмбриональное развитие нельмы проходит по сиговому типу и достаточно подробно описано в литературе.

Вылупление жизнестойкой молоди начинается с середины апреля и завершается в первой декаде мая, массовое вылупление приходится на первые числа мая при повышении температуры до 4,5–5,8 °С. Таким образом, продолжительность эмбрионального развития в условиях рыбоводного завода находится в диапазоне 176–182 суток (234–254 градусо-дней). Выживаемость икры за период инкубации в разные годы различалась слабо и составляла в среднем 67%, причем высокая смертность икры (около 73% от общего числа погибших икринок) наблюдалась с начала органогенеза до начала кровообращения.

Предличинки кубенской нельмы прозрачные, желтоватого оттенка, сильно пигментированные и довольно крупные, их длина (TL) равняется $14,47 \pm 0,14$ при массе $12,35 \pm 0,30$ мг, диаметр желточного мешка составляет $2,32 \pm 0,06$ мм. В теле насчитывается 63–71 миотомов, такая вариабельность связана с условиями инкубации.

В первые дни жизни у личинок наблюдается выраженный фототаксис, молодь избегает затемненных участков рыбоводной емкости. Поедание корма отмечено в возрасте 2–3-х суток, предличинки при этом совершают рывковые движения, захватывая кормовые частицы. Просмотр ранней молоди под биноклем после кормления позволяет зафиксировать небольшое количество корма в кишечной трубке, в то время как желточный мешок израсходован незначительно. Полный переход на внешнее питание наступает на 8–10 сутки после вылупления при температуре воды 8–9 °С. Мальковой стадии нельма достигает к концу июня – началу июля при массе 250 мг.

В настоящее время в садках рыбоводного хозяйства содержится неполовозрелая часть стада кубенской нельмы трех возрастных групп: от сеголеток до трехлеток. Средняя масса сеголеток к осени составляет 30 г, двухлеток – около 300 г, трехлеток – 900 г, причем отдельные особи на третий год жизни способны достигать 1300 г и более. Сравнение роста нельмы в условиях индустриального выращивания и в родительском водоеме показывает, что молодь, выращенная на искусственных кормах, не уступает сверстникам из оз. Кубенского, где масса двухлеток равняется 340 г, трехлеток 870 г. За период наблюдений темп роста нельмы был неодинаковым и зависел, прежде всего, от плотности посадки, методики

кормления и температуры воды. Так, 100%-е увеличение массы личинок за неделю наблюдается при прогреве воды до 13° С.

Проведенные работы выявляют положительные рыбоводные качества нельмы, что делает этот вид перспективным объектом аквакультуры, а ее выращивание в условиях рыбоводного хозяйства показывает ряд преимуществ перед прудовым и озерным выращиванием. Прежде всего, это полностью регулируемый процесс с созданием благоприятных условий для роста рыбы, при котором, за счет увеличения плотности посадки и применения искусственных кормов задействована на много меньшая рабочая площадь.

Помимо выше сказанного, разработка индустриальной технологии и производства ремонтно-маточного стада кубенской нельмы позволит начать работы по искусственному воспроизводству природной популяции в родительском водоеме, где эта ценная рыба находится на грани исчезновения.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИОННОГО СОСТАВА АТМОСФЕРНЫХ ВЫПАДЕНИЙ НА ОСТРОВНОЙ ЧАСТИ БЕЛОГО МОРЯ

С.И. Мазухина, Т.Т. Горбачева

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем
промышленной экологии Севера Кольского научного центра Российской академии наук,
Апатиты, Мурманская обл., e-mail: gorbacheva@inep.ksc.ru*

Исследование состава и свойств водорастворимого органического вещества (ОВ) и его влияния на миграционную активность тяжелых металлов (ТМ) приобретает особую актуальность в связи с ростом аэротехногенной нагрузки на экосистемы. Одним из практически не изученных вопросов является водная миграция ОВ и его соединений в условиях совокупного влияния морских аэрозолей и аэротехногенной нагрузки на состав атмосферных выпадений в районе Белого моря. Значительная часть береговой линии Белого моря покрыта макрофитами, площадь покрытия составляет 1000 км², а общая биомасса 1.5 млн.т (Бек, 1990). Расчет, проведенный в работах Савичева и др. (2003) и Савичева и др. (2004), показал, что суточная продукция H₂S и CH₄ с 1 км² полосы литорали (август) оценивается соответственно как 60.8–202 кг и 192–300 л в сутки. Постоянное поступление указанных соединений, обладающих восстановительными свойствами, в осадкоприемники, являющиеся открытой системой, обуславливает нахождение исследованных водных растворов в метастабильном состоянии.

Большие возможности в изучении биогеохимических циклов элементов и прогнозировании направления трансформации ОВ природных вод представляют методы физико-химического моделирования их ионного состава. Образование значительного количества органических кислот в системе «водный раствор -газовая фаза- ОВ» – ключевая идея концепции гидролитического диспропорционирования органического вещества (ОВ) «hydrolytic disproportionation of organic matter (HDOM), выдвинутой Helgeson et al. (1993) и нашедшей дальнейшее развитие в работах Price and DeWitt (2001) и Павлова и др. (2008). *Гидролитическое диспропорционирование* – это процесс химического взаимодействия ОВ с водой, где вода является одновременно и окислителем, и восстановителем. При этом образуются органические соединения с различной степенью окисления углерода, которые являются промежуточными продуктами на пути к полному термодинамическому равновесию с конечными продуктами CH₄, CO₂, СТВ.

Цель данной работы – расширенное изучение химического состава атмосферных выпадений, полученного прямым аналитическим определением, с применением физико-химического моделирования (ПК Селектор) (Чудненко, 2010). В состав модели нами добавлены термодинамические параметры низкомолекулярных алифатических кислот (муравьиной и уксусной), исследования проводились в рамках системы: Al-C-Ca-Cl-K-Mg-Fe-Mn-N-Na-P-S-Si-Sr-Cu-Zn-H-O-e, где e- электрон.

Объектом исследования являлись атмосферные выпадения, отобранные на о. Тонная луда Белого моря (Кандалакшский заповедник). Отбор проб проводился ежемесячно в течение летне-осеннего периода 2001 и 2002 годов, начиная с августа. Каждая проба фильтровалась через бумажный фильтр «синяя лента» (диаметр пор 1–2.5 мкм). Анализ фильтрата проводили методами атомно-эмиссионной

(K, Na) и атомно-абсорбционной (Ca, Mg, Zn, Mn, Cu, Ni, Al, Fe) спектрометрии, общего P, Si и NH_4^+ – методом фотоколориметрии, общего углерода – бихроматным методом, анионный состав вод, включающий NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , – методом ионообменной хроматографии.

За основу оценки взаимосвязи ОБ атмосферных выпадений и динамики его перераспределения под действием природных и техногенных факторов был взят широко применяемый в экологических исследованиях балансовый метод, в котором разница между суммой катионов (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ и H^+) и суммой анионов минеральных кислот (SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^-) принимается за концентрацию анионов органических кислот. Согласно полученным нами расчетным данным, сумма анионов органических кислот в составе исследованных проб может быть соизмерима, либо существенно превышать этот показатель в отношении минеральных кислот. Основываясь на доле анионов органических кислот, составляющей в среднем 40% общей концентрации (мкг-экв л^{-1}) и достигающей в отдельные периоды 63%, можно предполагать их важную роль в миграционных потоках всех элементов на исследуемой территории острова.

Из летучих органических кислот муравьиная и уксусная кислоты признаются абсолютными доминантами в составе жидкой фазы атмосферы (Keene et al., 1983; Sanhueza et al., 1991, 1992; Chebbi and Carlier, 1996). Их происхождение в атмосферных выпадениях даже на условно-фоновых территориях относят как к биогенным, так и антропогенным источникам (Chebbi and Carlier, 1996). Одним из предполагаемых механизмов реакций формирования кислот в атмосфере является окисление олефинов (ненасыщенных углеводородов), в частности, изопрена, под действием озона. Установлено, что морская поверхность является источником эмиссии олефинов (Bonsang et al., 1985, 1988, 1992), что обусловлено метаболизмом фитопланктонных организмов (Moore et al., 1994). По оценкам выделения летучих органических соединений растительным покровом, оно достигает на глобальном уровне 1150 млн.т в год (Guenther et al., 1995). Что касается антропогенных источников, то в настоящее время количество органических соединений, идентифицированных в составе атмосферы, превышает 10^4 (Goldstein and Galbally, 2007).

Полученные нами результаты свидетельствуют о выраженной сезонной динамике концентраций анионов органических кислот: минимальные значения приходятся на период предположительно максимальной биологической активности на исследуемой территории (июль 2012 г., снижение до 12 мкг-экв/л). Это указывает на активную ассимиляцию анионов органических кислот бактериальной микрофлорой, содержащейся в атмосфере. Исследования способности бактерий к гетеротрофному поглощению формиатов и ацетатов в дождевых водах проведены в работе Herlihy et al. (1987). Показано, что максимум содержания бактерий в дождевых водах приходится на период с апреля по сентябрь (10^5 кл мл^{-1}), и в условиях инкубации вод при комнатной температуре потери содержания муравьиной и уксусной кислот и их солей составляют соответственно 44 и 24 мкмоль л^{-1} в день. Расчет авторами продолжительности существования в растворе указанных кислот составил 1.5 дня для первой и 34 дня для второй. Отсюда следует, что должен идти их постоянный привнос в осадкоприемники. Исследования (Hewitt and Cragin, 1991) показали, что открытые водные растворы способны поглощать муравьиную и уксусную кислоты из окружающего воздуха со скоростью $0.02\text{--}0.1 \text{ нМ см}^{-2} \text{ час}^{-1}$. Кроме того, относительно высокие концентрации муравьиной и уксусной кислот в

составе природных вод связывают с деградацией других алифатических кислот (Fox and Comerford, 1990), а также производных ароматических кислот, например, коричной кислоты, как полагают, имеющей микробиологическое происхождение (Haider and Martin, 1975). Для периода минимальной биологической активности (конец августа–сентябрь) нами отмечены максимальные содержания анионов органических кислот (до 143 мкг-экв л⁻¹), в связи с чем принято решение провести физико-химическое моделирование состава осадков на основе аналитических данных за сентябрь 2001 г. и июль 2002 г. и. Результаты представлены в табл.

Результаты анализов и термодинамических расчетов

Параметр	Июль		Сентябрь		Параметр	Июль		Сентябрь	
	A	M	A	M		A	M	A	M
pH	4.39**		5.81		NH ₄ ⁺	0.21		1.84	
Eh, вольт		-0.0813		-0.1681	SO ₄ ²⁻	2.01		3.66	3.64
Al*	0.0048		0.0043		Cl ⁻	1.39		1.23	
Al(OH) ³⁺		1.62 x10 ⁻³		0.011	C	4.8	4.9	6.23	4.26
Al ³⁺		3.72 x10 ⁻³		1.01 x10 ⁻³	P	0.012		0.21	0.078
Al(OH) ₂ ⁺		5.65 x10 ⁻⁵		0.0101	H ₂ PO ₄ ⁻		0.0367		0.234
AlCH ₃ COO ²⁺		1.18 x10 ⁻⁵		1.19 x10 ⁻⁵	H ₃ PO ₄		2.21 x10 ⁻⁴		5.30 x10 ⁻⁵
Ca	0.103		0.77		HPO ₄ ²⁻		5.68 x10 ⁻⁵		9.82 x10 ⁻³
Ca ²⁺		0.103		0.769	Sr	0.013		0.007	
CaSO ₄		8.93 x10 ⁻⁴		0.0115	Sr ²⁺		0.013		7.09 x10 ⁻³
CaCl ⁺		3.77 x10 ⁻⁶		2.44 x10 ⁻⁵	SrHCO ₃ ⁺		1.62 x10 ⁻⁶		1.46 x10 ⁻⁵
Ca(HCO ₃) ⁺		1.21 x10 ⁻⁵		1.54 x10 ⁻³	SrCl		4.05 x10 ⁻⁷		1.86 x10 ⁻⁷
CaCH ₃ COO ⁺		4.97 x10 ⁻⁶		1.41 x10 ⁻⁴	SrCH ₃ COO ⁺		6.25 x10 ⁻⁷		1.25 x10 ⁻⁶
Mg	0.167		0.25		Zn	0.0014		0.0066	
Mg ²⁺		0.166		0.248	Zn ²⁺		0.0014		6.54 x10 ⁻³
Mg(HCO ₃) ⁺		2.67 x10 ⁻⁵		6.77 x10 ⁻⁴	ZnCl ⁺		1.30 x10 ⁻⁷		5.27 x10 ⁻⁷
MgCl ⁺		1.14 x10 ⁻⁵		1.48 x10 ⁻⁵	ZnCH ₃ COO ⁺		2.46 x10 ⁻⁷		4.36 x10 ⁻⁶
MgCH ₃ COO ⁺		2.49 x10 ⁻⁵		1.12 x10 ⁻⁷	Cu	0.0055		0.0034	
K	0.25		0.59		Cu ⁺		0.00545		0.0034
K ⁺		0.25		0.591	Cu ²⁺		4.33 x10 ⁻⁷		9.29 x10 ⁻⁹
KSO ₄ ⁻		1.33 x10 ⁻⁴		5.58 x10 ⁻⁴	CuCH ₃ COO		5.23 x10 ⁻⁸		1.24 x10 ⁻⁷
KCH ₃ COO		7.94 x10 ⁻⁷		7.21 x10 ⁻⁶	Ni	0.001		0.0013	
Fe	0.0051		0.011		Ni ²⁺		0.001		1.30 x10 ⁻³
Fe ²⁺		4.65 x10 ⁻³		8.46 x10 ⁻³	Pb	0.00001		0.0007	
FeSO ₄		2.14 x10 ⁻⁵		6.73 x10 ⁻⁵	Pb ²⁺		9.78 x10 ⁻⁶		1.21 x10 ⁻³
FeOH ⁺		7.19 x10 ⁻⁸		3.41 x10 ⁻⁶	PbOH ⁺		1.66 x10 ⁻⁷		5.33 x10 ⁻⁴
FeCl ⁺		2.00 x10 ⁻⁷		3.16 x10 ⁻⁷	PbCl ⁺		1.20 x10 ⁻⁸		1.28 x10 ⁻⁶
FeCHO ₂ ⁺		8.07 x10 ⁻⁴		4.53 x10 ⁻³	NO ₃ ⁻	0.66		0.40	
Mn	0.002		0.002		CO ₃ ²⁻		3.06 x10 ⁻⁷		1.44 x10 ⁻⁴
Mn ²⁺		1.98 x10 ⁻³		2.20 x10 ⁻³	HCO ₃ ⁻		0.264		4.59
MnCl ⁺		9.04 x10 ⁻⁸		8.70 x10 ⁻⁸	CO ₂		0.167		0.109
MnCH ₃ COO ⁺		5.63 x10 ⁻⁸		2.37 x10 ⁻⁷	HCOO ⁻		0.291		0.446
Na	0.61		0.79		CH ₃ COO ⁻		0.139		0.539
Na ⁺		0.607		0.79	HCOOH		0.068		3.93 x10 ⁻³
NaSO ₄ ⁻		3.21 x10 ⁻⁴		7.41 x10 ⁻⁴	CH ₃ COOH		0.327		4.75 x10 ⁻³
NaCH ₃ COO		3.97 x10 ⁻⁶		1.99 x10 ⁻⁵	Si	0.031		0.043	
					SiO ₂		0.023		0.0318

* Здесь и далее в таблице концентрации выражены в мг л⁻¹; A – результаты анализа; M – результаты моделирования;

**Жирным шрифтом выделены результаты прямого аналитического определения, являющиеся также входными параметрами модели.

Основные результаты физико-химического моделирования:

1. Исследованные системы частично открыты к атмосфере и характеризуются отрицательными значениями редокс-потенциала (E_h), что указывает на присутствие в них соединений с выраженными восстановительными свойствами, которыми могут являться, NH_4^{4+} , H_2S и CH_4 , а также олефины и их производные в метастабильном состоянии.

2. Поскольку муравьиная ($pK_a = 3.75$) и уксусная ($pK_a = 4.76$) кислоты относятся к разряду слабых органических кислот, то снижение pH вод вызывает их протонирование, в связи с чем в пробах с $pH < 5$ доминирует молекулярная форма уксусной кислоты (CH_3COOH), а при $pH > 5$ -ионная форма обеих кислот ($RCOO^-$).

3. Муравьиная и уксусная кислоты как одноосновные карбоновые кислоты обладают слабой комплексообразующей способностью, поэтому в исследованных водах предполагается доминирование их простых солей (формиатов, ацетатов), в том числе ТМ, и, соответственно, актуальной проблемой признается необходимость снижения техногенной нагрузки в связи с высокой лабильностью такого рода соединений.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ РАЗЛИВА НЕФТИ НА ПРИМЕРЕ ПРИРОДНЫХ ВОД КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

С.И. Мазухина¹, В.А. Маслобоев¹, К.В. Чудненко², В.М. Хайтов³, В.В. Максимова¹

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Россия, e-mail: mazukhina@iner.ksc.ru;

² Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия;

³ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Кандалакшский государственный природный заповедник», Кандалакша, Россия

Ухудшение качества поверхностных вод пресных и морских водоемов Севера в результате антропогенного воздействия требует активизации мер по разработки основ рационального водопользования и оценки устойчивости гидросферы к техногенному воздействию.

Актуальность работы для Мурманской области обусловлена развитием широкомасштабной транспортировки нефти в акваториях Баренцева и Белого морей. Нефть и нефтепродукты, поступающие в окружающую среду при добыче, переработке, транспортировке, аварийных ситуациях, являются источником серьезной экологической опасности. Наиболее опасны воздействия на окружающую среду в условиях Крайнего Севера.

Вместе с тем, на протяжении последних лет не проводится гидрологический мониторинг акваторий Кольского и Кандалакшского заливов, что не позволяет оценить их текущее состояние и разработать прогноз, в том числе, учитывающий негативное воздействие на экосистемы нефти и нефтепродуктов.

Важным вкладом в решение этой проблемы могут служить исследования с привлечением методов физико-химического моделирования к изучению взаимодействия нефтяных углеводородов с водой.

Цель настоящей работы – с помощью физико-химического моделирования (Чудненко, 2010) определить различия взаимодействия «нефть-вода» с морскими и пресными водами. Объектами исследования были выбраны пресные воды р. Нива; воды, насыщенные газами атмосферы (дождевые воды); воды оз. Б. Вудъявр (1930 г.) и морские воды – воды Кольского и Кандалакшского заливов.

Аналитические данные по химическому составу вод р. Нива взяты из (Справка..., 2008). Морские воды (Кандалакшский залив) опробовались во время экспедиции в сентябре 2011 г. (Монастырский мыс :координаты точек: точка № 1 – N 67°07'35.07'', E 32°26'17.94''; точка № 2 – N 67°07'31.24'', E 32°26'26.27'') и зима – лето 2012 (точки 3, 6). Отбор проб вод Кольского залива проведен в октябре 2011 г. (точка № 1 – N 69°03'29.4'', E 33°05'42. 4''; точка № 2 – N 69°01'13.3'', E 34°06'67.3). Химический состав вод оз. Б. Вудъявр после экологической катастрофы 1930-х годов восстановлен с помощью физико-химического моделирования (Мазухина, 2012). Состав чистых дождевых вод был смоделирован, как взаимодействие 1 кг атмосферы и 1000 кг воды (pH = 5.6).

В ходе проведенного исследования поставлены и решены следующие задачи:

1. по аналитическим данным созданы термодинамические модели пресных и морских вод (табл.) (Мазухина и др., деп. № 455-B2012);

2. рассматривались различные сценарии взаимодействия морских и пресных вод, что соответствует приливу и отливу в устьях рек. Результаты моделирования сопоставлены с данными мониторинга.

3. изучены сценарии взаимодействия морской и пресной воды (1000 кг) с нефтью (100 г.), где количество нефти учитывалась в зависимости от степени взаимодействия – $10^{\pm 2}$. В моделях ξ изменялась от 3 до –2, что соответствовало изменению содержания нефти от 0.1 мг/л до 10 г/л в системе «вода–нефть». Состав нефти (масс %) C- 86, H- 13 (Эрих, 1969). Все расчеты проведены при 25 °C и P = 1 бар.

Исследования взаимодействия «вода–нефть» проводились при следующих допущениях:

1. взаимодействие воды (морской, пресной) с нефтью происходит в закрытых, относительно атмосферы, условиях. В природных системах это может соответствовать постоянному подтоку нефти в водную среду;

2. конечные продукты разложения нефти – CO_2 и CH_4 ;

3. расчеты выполнялись с азотфиксацией (т.е. с образованием в восстановительных условиях NH_3 и NH_4^+) и без нее.

Анализ результатов моделирования показал как сходства, так и различия в проявлении взаимодействия «вода–нефть» в морских и пресных системах: 1) возникновение окислительно-восстановительного барьера, 2) изменение значений pH, 3) образование органокомплексов и состав новообразованных фаз. Характер изменения pH и Eh в системе «вода–нефть» в зависимости от степени взаимодействия с нефтью позволяет выявить явную закономерность образования окислительно-восстановительного барьера в морских ($1 < \xi < 0,8$) и пресных водах ($\xi = 0.7$). В пресных водах значения pH смещены в более кислую область, тогда как в морских водах это не происходит из-за образования карбонатов, которые образуются не при всех ξ , а при $3 < \xi < 2$ и $-0.5 < \xi < -2$. В газовой фазе формируется сероводородная – азотно-углекислая метановая атмосфера. Образование NH_4^+ иона не оказывает существенного влияния на изменение значений pH морских вод, в пресных же водах появление NH_4^+ приводит к формированию щелочной среды

Содержание растворенных НУ (0.1–0.4) мг/л (Леонов, Пищальник, 2005) в нашем случае соответствует изменению значений ξ от 3 до 2.5. Существование в водном растворе карбоновых кислот контролируется парциальным давлением углекислого газа и кислорода (Леонов, Пищальник, 2005). Согласно результатам наших исследований, образование органокомплексов происходит при $0.1 < \xi < 0$ в морских водах и $0.01 < \xi < 0$ в пресных. Причем, концентрации $\text{CaCH}_3\text{COO}^+$, $\text{MgCH}_3\text{COO}^+$, $\text{NaCH}_3\text{COO}^0$ в морских водах выше на 2 порядка, чем в пресных.

Результаты моделирования смешения вод моря и р. Нива в разных соотношениях показывают изменение концентраций всех основных катионов и анионов с увеличением содержания пресной воды в объеме смешения, изменение количественного и качественного состава новообразованных фаз, при практически постоянных значениях pH и концентрации кислорода.

В таблице представлены аналитические данные и результаты моделирования точек № 3 (№ 67.2.673, E 32°23.753) и № 6 (N 67°6.429, E 32°30.539). Ана-

литические данные свидетельствуют, что в точке № 3 воды явно распресненные и концентрации по CO_2 превышает концентрацию CO_2 в точке № 6. Это указывает на влияние нефтебазы и наличие НУ в воде, тогда как в точке № 6, где воды более соленые, проявилось влияние воды, приносимой из открытых частей Белого моря.

**Результаты анализов и термодинамических расчетов составов морской воды
(Кандалакшский залив), мг/л**

Параметры	Проба №3		Проба №6		Пара- метры	Проба №3		Проба №6	
	анализ	модель	анализ	модель		анализ	модель	анализ	модель
pH	7.71	7.715	8.03	8.025	O_2	7.48		7.00	
Al	0.052	5.17E-02	0.0863	8.58E-02	Na^+	4939.02	4.69E+03	5914.534	5580
P	0.005	4.98E-03	0.008	7.95E-03	NaOH		2.36E-03		5.51 E-03
C		21.6		27.8	NaAlO_2		2.52E-03		4.82 E-03
Ca^{+2}	187.50	135	259.649	193	NaCl		379		536
CaOH^+		1.06E-03		2.76 E-03	NaSO_4^-		400		438
CaCO_3		1.53		4.56	NaHSiO_3		5.92E-01		1.00
$\text{Ca}(\text{HCO}_3)^+$		3.76		5.69	SO_4^{-2}	1426.7	4.78E+02	1632	497
CaHSiO_3^+		1.39E-03		2.63E-03	Si	3.002		2.335	
CaCl^+		19.9		31.5	SiO_2		2.11E+00		1.52
CaCl_2		2.49		4.68	HSiO_3^-		4.02E-02		6.03 E-02
CaSO_4		128		147	H_4SiO_4		6.22		4.46
Fe	0.1333	1.33E-01	0.1354	2.10E-01	CO_2		2.54		1.47
$\text{Fe}(\text{OH})_3$		1.97E-02		3.06E-02	Cl^-	9746	8.23E+03	11303	10400
$\text{Fe}(\text{OH})_4^-$		7.78E-03		2.52E-02	NO_3^-	0.1	9.95E-02	0.1	9.94E-02
K^+	177.78	173	224.561	218	NH_4^+	4.26	4.24	7.06	7.02
KCl		1.82E-01		2.73E-01	Zn^{+2}	0.0298	1.61E-02	0.02	8.44E-03
KSO_4^-		14.9		17.3	ZnCl^+		6.03E-03		3.54E-03
Mg^{+2}	536.67	358	807.619	558	ZnOH^+		1.10 E-02		1.06E-02
MgCO_3		2.53		8.29	Cu^{+2}	0.0333	1.81E-02	0.01	4.42 E-03
$\text{Mg}(\text{HCO}_3)^+$		13.5		22.4	CuOH^+		1.02E-02		4.56 E-03
MgCl^+		98.9		171	CuCl^+		1.08E-02		2.95E-03
MgSO_4		649		821	Pb^{+2}	0.00001	3.05E-07	0.00307	5. 65E-05
MgHSiO_3^+		9.37E-03		1.94E-02	PbCl^+		1.51E-06		3.10 E-04
Mn^{+2}	0.0128	9.89E-03	0.011	8.62E-03	PbOH^+		7.89E-06		2.67E-03
MnSO_4		4.78E-03		3.38E-03	Ni^{+2}	0.1056	1.05E-01	0.133	1.32E-01
CO_3^{-2}		2.96 E-01		7.73 E-01	NiOH^+		7.97E-05		1.84E-04
HCO_3^-		91.2		110	Sr^{+2}	3.0107	2.73	5.42333	4.90

Основные выводы. Изменение окислительно-восстановительных условий в морских водах при одинаковых соотношениях вода-нефть происходит при меньших, чем в речных водах, концентрациях нефти. Изменение значений pH для морских вод не столь значительное, как для пресных вод. Рост концентрации иона NH_4^+ морских вод не сказывается на изменении значений pH (поскольку идет интенсивное осадкообразование). Последствия разлива нефти, как в разных точках Кандалакшского, так и в Кольском заливах, будут различны, что определяется разной степенью смешения морских и пресных вод.

ХАРАКТЕРИСТИКА ФИТОПЛАНКТОНА БЕЛОГО МОРЯ В 2001–2008 гг.

И.Ю. Македонская, Н.Г. Отченaш

Северный филиал Федерального государственного унитарного предприятия «Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича», Архангельск, Россия, e-mail: makedonskaja@pinro.ru

В 2001–2008 гг. сотрудниками СевПИПРО были проведены наблюдения за сезонными и годовыми изменениями фитопланктона Белого моря.

Пробы воды для определения в них фитопланктона отбирались с поверхностного горизонта на акватории Белого моря в весенний, летний и осенний сезоны, обрабатывались по общепринятым методикам на качественный, количественный и пигментный состав. Общая биомасса фитопланктона рассчитывалась по количеству хлорофилла «а».

В течение вегетационного периода численность, биомасса, комплекс видов фитопланктона и его пигментов подвергались значительным колебаниям.

За все годы и сезоны исследований было обнаружено микроводоросли из 8 отделов. Наиболее богато представлены отделы *Bacillariophyta*, *Dinophyta* и *Chlorophyta* (табл. 1).

Таблица 1
Сезонные колебания числа видов основных систематических отделов фитопланктона Белого моря в 2001–2008 гг.

Отделы / сезоны	Весна	Лето	Осень	Всего
<i>Bacillariophyta</i>	121	158	127	216
<i>Dinophyta</i>	26	38	24	47
<i>Chlorophyta</i>	18	21	17	31
<i>Chrysophyta</i>	4	7	3	7
<i>Cryptophyta</i>	1	1	1	1
<i>Euglenophyta</i>	1	1	1	1
<i>Xanthophyta</i>	1	2	1	4
<i>Cyanophyta</i>	14	12	8	17
Всего	186	240	182	324

Состав преобладающих водорослей изменялся в разные годы, причем в значительной степени. Наиболее широко были представлены диатомовые водоросли, они же и доминировали во все годы, хотя их видовой состав мог несколько варьировать. Основное место в структуре фитопланктонного сообщества занимали диатомовые (*Ditylumbrightwellii*, *Thalassionemanitzschioides*, *Nitzschialongissima*, *Nitzschiaseriata*, *Rhizosoleniahebetata*, *Asterionellacariana*, *Thalassiotrixlongissima*, *Gyrosygmafasciola*, *Naviculasp.Coscinodiscusradiatus*, *Melosirasulcata*, представители родов *Chaetoceros*, *Thalassiosira*, и др.) и динофитовые (*Heterocapsatrigueta*, *Gymnodiniumarcticum*, *Ceratiumfusum* и др.), а также *Leurocryptosmarina* из криптофитовых. Практически на каждой станции были обнаружены представители зеленых водорослей. Данный комплекс микроводорослей несколько видоизменялся по годам и заливам в зависимости от климатических условий, но каких-либо значимых различий в структуре фитопланктонного сообщества за восемь лет исследований не выявлено. Наиболее разнообразным было фитопланктонное сообщество Двинского залива. Результаты наших исследований вполне согласуются с данными других авторов.

Сезонные изменения фитопланктона Белого моря в разные годы имели отличия не только в качественном, но и в количественном составе. Причиной этого, по всей вероятности, является колебания погодных условий в районе исследований.

Средние значения численности и биомассы фитопланктон Белого моря распределялись от максимальных значений в весенний период до минимальных – осенью (табл. 2).

Таблица 2

Сезонные колебания количественных характеристик фитопланктона Белого моря в 2001–2008 гг. (средние значения за 8 лет)

Весна		Лето		Осень	
численность кл./л · 10 ³	биомасса мкг/л	численность кл./л · 10 ³	биомасса мкг/л	численность кл./л · 10 ³	биомасса мкг/л
18,35	492	7,50	356	1,40	138

В весенних пробах фитопланктона, отобранных в мае – июне, численность микроводорослей была максимальной в Бассейне ($42,11 \cdot 10^3$ кл./л), а минимальной – в Онежском заливе ($6,76 \cdot 10^3$ кл./л). Биомасса весеннего фитопланктона была наибольшей в Двинском заливе (720 мкг/л), а наименьшей – в Мезенском заливе (354 мкг/л).

В летний сезон (август) численность микроводорослей изменялась в большом интервале: от $5,07 \cdot 10^3$ кл./л в Мезенском заливе и до $10,90 \cdot 10^3$ кл./л в Кандалакшском заливе. Летом минимальная биомасса (270 мкг/л) была определена в Горле, а максимальная (453 мкг/л) – в Двинском заливе.

Пробы осеннего фитопланктона были отобраны в октябре – ноябре. Биомасса микроводорослей колебалась в небольшом диапазоне: от 113 мкг/л в Горле до 176 мкг/л в Мезенском заливе. Численность осеннего фитопланктона была подвержена более значительным колебаниям: от $0,61 \cdot 10^3$ кл./л в Воронке до $2,11 \cdot 10^3$ кл./л в Двинском заливе.

Обращает на себя внимание высокая величина биомассы в весенний период 2001 г. Возможно, это связано с колебаниями солнечной активности. Ее пик пришелся на 2000 г., поэтому, можно было ожидать в последующем 2001 г. массового развития микроводорослей. Минимальная биомасса была в 2004 г., а с 2005 г. идет неуклонный рост как биомассы, так и численности, особенно в весенний и летний периоды.

Количество пигментов фитопланктона (хлорофилла «а», хлорофилла «в», хлорофилла «с» и каротиноидов) также заметно колебалось по сезонам и годам. Неизменным оставалось лишь их соотношение, которое сохранялось во все сезоны: при максимуме хлорофилла «а» – минимум хлорофилла «в». Хлорофилла «с» обычно было больше хлорофилла «в», но меньше хлорофилла «а» (табл. 3).

Таблица 3

Сезонные колебания концентрации пигментов фитопланктона Белого моря в 2001–2008 гг. в мкг/л (средние значения за 8 лет)

Весна				Лето				Осень			
хл»а»	хл»в»	хл»с»	сумма	хл»а»	хл»в»	хл»с»	сумма	хл»а»	хл»в»	хл»с»	сумма
1,290	0,479	0,784	2,553	0,871	0,234	0,375	1,480	0,347	0,189	0,302	0,838
Каротиноиды – 2,483				Каротиноиды – 1,443				Каротиноиды – 0,819			

Количество каротиноидов обычно находилось на уровне суммы всех хлорофиллов во все сезоны, что говорит о нормальном ходе физиологических процессов в фитопланктонном сообществе.

Средние летние (0,871 мкг/л) и среднегодовые (0,836 мкг/л) значения концентрации хлорофилла «а» характеризуют воды Белого моря как мезотрофные.

Первичная продукция фитопланктона поверхностного горизонта Белого моря, рассчитанная хлорофилльным способом с использованием Р/В– коэффициента, представлена в таблице 4.

Таблица 4

Изменение продукции фитопланктона Белого моря в 2001–2008 гг. по сезонам (средние значения за 8 лет) в мг С/м³сут

Период вегетации	РмгС/м³сут.
весна	6,971
лето	6,360
осень	4,181
среднегодовая продукция	5,837

Среднегодовая продукция фитопланктона Белого моря довольно значительно изменялась по годам: в 2004 г. была минимальной – 3,777 мгС/м³сут., а к 2008 г. достигла максимального значения (за годы наших исследований) – 7,949 мгС/м³сут. Такое же высокое значение среднегодовой продукции было определено только в 2001 г. (7,428 мгС/м³сут.).

По районам Белого моря в 2001–2008 гг. (средние значения за 8 лет) среднегодовая продукция фитопланктона распределялась довольно равномерно. Более продуктивными оказались Бассейн (6,722 мг С/м³сут) и Двинский залив (7,260 мг С/м³сут).

По результатам наших исследований в 2001–2008 гг. Белое море можно отнести к мезотрофному типу, что не противоречит выводам и других авторов.

РАЗМЕРНО-ВОЗРАСТНАЯ СТРУКТУРА ПОСЕЛЕНИЙ *MYTILUS EDULIS* L. НА ЛИТОРАЛИ ГУБЫ ЧУПА И ОСТРОВА РЯЖКОВ

А.А. Машнин, П.П. Кравец

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет», Мурманск, Россия, e-mail: alexandermashnin@gmail.com

Введение. Двустворчатые моллюски *Mytilus edulis* L. – являются самыми распространёнными беспозвоночными животными на литорали. В зообентосных сообществах северных морей данный вид занимает доминирующее положение. Быстрый темп роста обеспечивает им достаточно высокий уровень годовой продукции, что делает их весьма ценной кормовой базой для консументов второго порядка, занимающих относительно высокие места в пищевых цепях. В связи с этим двустворчатые моллюски играют важную роль в биотическом круговороте вещества (Наумов, 2006).

Цель: исследовать пространственную и размерно-возрастную структуру литоральных поселений мидий в губе Чупа и на острове Ряжков (Белое море).

Задачи:

- 1) Оценить обилие моллюсков в районах исследования;
- 2) Исследовать размерно-весовую и возрастную структуру мидиевых поселений.
- 3) Сравнить темпы роста мидий на литорали острова Ряжков и губы Чупа.

Материалы и методы. Работа была выполнена на базе ББС ЗИН РАН «Картеш» и ЛЭМБ (Эколого-биологический центр, Санкт-Петербург) (рис. 1). Пробы были отобраны летом 2011 г. в двух районах: губа Чупа (в бухтах Сельдяная, Левая и Круглая) и остров Ряжков (в губах Южная, Большая песчанка и Северная).

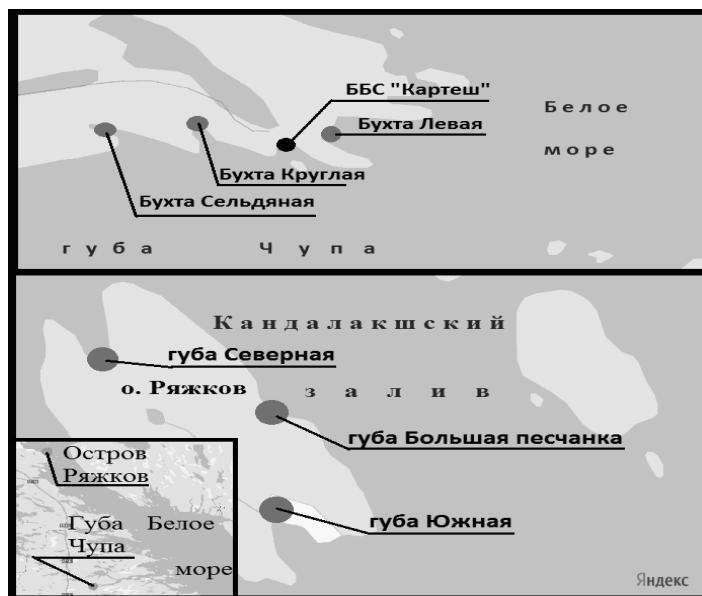


Рис. 1. Карта-схема отбора проб

Материал для исследования был собран с помощью учётной рамки площадью 10x10 см. Отбор проб проводился в трёх повторностях с верхнего, среднего и нижнего горизонтов. Поверхность раковин очищалась от эпibiонтов. Штангенциркулем измерялась длина (L), высота (H) и толщина раковины (B). С помощью весов определялся вес целого моллюска, мягких тканей и раковины с точностью до сотых. Возраст определялся путём подсчёта колец зимней и остановки роста на раковинах. Для всех исследованных поселений мидий линейный рост раковины описан уравнением Берталанфи:

$$L_t = L_{\infty} (1 - e^{-k(t-t_0)})$$

где L_t – длина раковины моллюска в возрасте t , мм; L_{∞} , k и t_0 – коэффициенты уравнения.

Результаты и обсуждение. По результатам исследования выясняли, что мидии не заселяют верхний горизонт литорали в исследуемых районах. Биомасса моллюсков в губе Чупа варьирует от 30,3 кг/м² до 37,8 кг/м². Наибольшая плотность поселений моллюсков зафиксирована в бухте Левая – 27700 экз./м². (рис. 2).

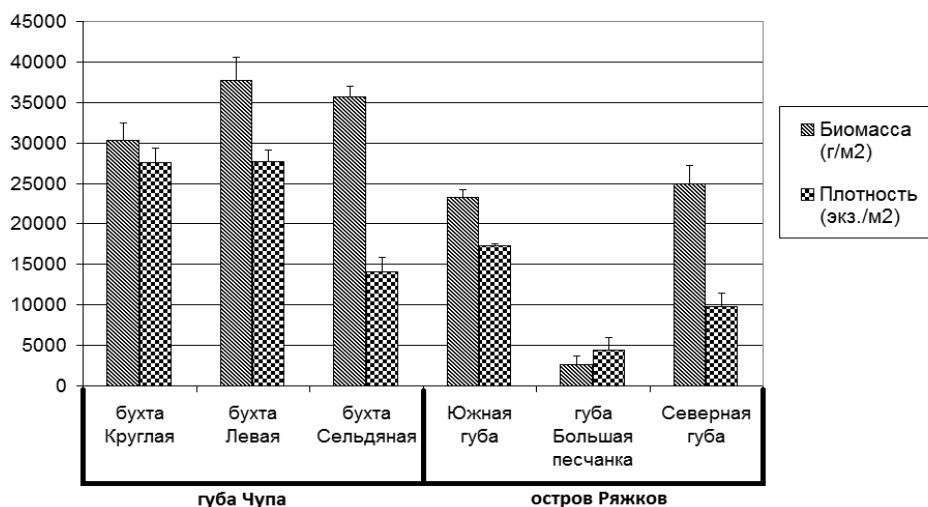


Рис. 2. Показатели обилия поселений *Mytilus edulis* L. в губе Чупа и на острове Рязков (Белое море).

Необходимо отметить что, показатели размерно-весовой структуры (табл.) увеличиваются в направлении от верхнего горизонта литорали к нижнему во всех исследованных районах. Наиболее крупные особи были обнаружены на нижнем горизонте литорали, поскольку для нижнего горизонта характерен повышенный водообмен, который обеспечивает моллюсков пищей и способствует процессам самоочищения.

Размерно-весовые характеристики *Mytilus edulis* L. в исследуемых районах

Район отбора проб Показатель	Губа Чупа			Остров Рязков		
	Бухта Сельдяная	Бухта Левая	Бухта Круглая	Южная губа	Губа Большая песчанка	Северная губа
Ср. длина моллюска, г.	2,63±0,25	2,04±0,03	1,94±0,14	1,92±0,07	1,56±0,08	2,46±0,14
Ср. масса тела, г.	2,45±0,19	1,09±0,08	1,12±0,07	1,35±0,16	0,58±0,08	2,53±0,36
Ср. масса створок, г.	1,18±0,09	0,59±0,09	0,62±0,09	0,55±0,05	0,25±0,03	1,03±0,13
Ср. масса тела, г	0,46±0,03	0,27±0,06	0,21±0,05	0,34±0,04	0,16±0,02	0,76±0,1
Ср. масса межстворчатой жидкости, г	0,83±0,08	0,25±0,02	0,19±0,07	0,57±0,07	0,19±0,03	0,90±0,15

Примечание: ± – стандартное отклонение.

Средний возраст *Mytilus edulis* L. (определяемый как средневзвешенное численности каждого возрастного класса в поселении) изменяется в пределах от 1,9 (бухта Круглая) до 3,3 (губа Северная) (рис. 3).

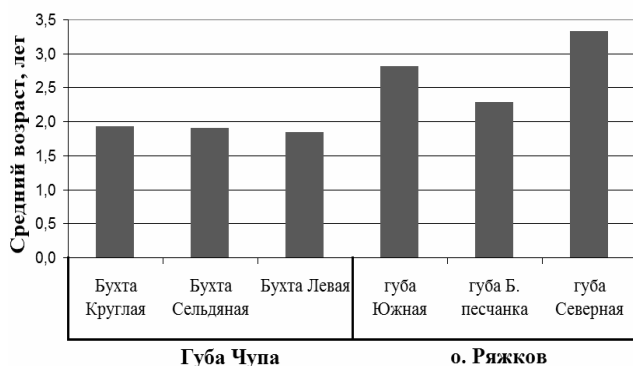


Рис. 3. Средний возраст мидий *Mytilus edulis* L. в исследуемых районах.

Для всех исследованных районов характерно преобладание особей младших возрастных групп (до 4 лет). Доминирование мидий младших возрастных групп связано с интенсивным ежегодным оседанием молоди, а также с относительно меньшей их элиминацией. В большинстве поселений ядро составляют осевшие особи и моллюски годовики, что может свидетельствовать о постоянном пополнении молодью поселений мидий как в губе Чупа, так и на о. Рязков.

Рассматривая темпы роста мидий на литорали в различных биотопах, выяснили, что максимальный темп роста характерен для моллюсков из нижнего горизонта, такая закономерность отмечается и многими авторами для мидий из естественных поселений (Савилов, 1953; Seed, 1979; Briggs, 1982; Кулаковский, 2000).

Выводы.

1. Мидии *Mytilus edulis* L. не заселяют верхние горизонты литорали во всех исследованных районах.
2. Наибольшие показатели обилия поселений моллюсков характерны для губы Чупа.
3. Максимальные темпы роста характерны для мидий, обитающих на нижнем горизонте литорали.

ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ СУХОГО МОРЯ (ДВИНСКИЙ ЗАЛИВ БЕЛОГО МОРЯ)

И.В. Мискевич

Научно-исследовательский Центр «Викинг», Архангельск, Россия, e-mail: vikingm@arh.ru

Сухое Море представляет собой мелководный лагунообразный залив, располагающийся в северо-восточной части устьевых взморья Северной Двины. Это сравнительно малоисследованный водный объект, который играет важную роль в формировании водных биоресурсов устьевой области Северной Двины и Двинского залива в целом. В эстуарных водах Сухого Моря совершают кормовые миграции северодвинский сиг, кумжа, корюшка, речная и морская камбала, молодь наваги, ледовитоморская рогатка и язь, не исключаются заходы нельмы, а также беломорской сельди и других представителей ихтиофауны Белого моря и пресноводных рыб. Северная часть этого залива, отделена от южной более распресненной части узким проливом, напротив центра дельты реки Мудьюги. Интерес к Сухому Морю в последние годы значительно повысился из-за появления планов по проектированию в его северной части глубоководного морского порта. С другой стороны, его акватория получает все большее развитие как рекреационный водоем и место любительского лова рыбы. В данной ситуации проведение исследований северной части Сухого Моря, включая его гидрологические характеристики, получает значительную актуальность.

Рассматриваемая акватория сообщается с Двинским заливом через 2 узких пролива – Железные Ворота и Новая Промойна. Она очень мелководна – здесь наибольшие глубины на малой воде приливного цикла обычно не превышают 0,5–0,8 метров, а ширина приливной осушки на некоторых участках достигает до 3 км и даже более. Исключение составляет локальный участок в виде узкого желоба около пролива Железные Ворота, где глубины могут достигать 5–9 метров и небольшая яма с глубинами до 3-х метров около Новой Промойны.

Впервые гидрологические наблюдения (уровень, температура и соленость воды) на рассматриваемой акватории были проведены Ратмановым Г.К. в 1926 г. В последующие годы они не проводились, по крайней мере, упоминание о них в научных публикациях и других источниках отсутствуют. Наибольший объем исследований здесь был сделан научно-исследовательским кооперативом «Субарктика» в 1991 г. по заданию СевПИНРО для обоснования возможности размещения садкового форелевого хозяйства. В комплекс гидрологических исследований, проведенных в мае, июле и августе 1991 г., входили измерения уровня, температуры, солености, параметров течений, волнения и содержания взвешенных веществ.

В 2000 г. в Сухом Море около пролива Железные Ворота сотрудниками СевПИНРО была сделана серия полусуточных наблюдений за колебаниями уровня, температуры и солености воды. В 2012 г. аналогичные наблюдения были проведены сотрудниками Научно-исследовательского Центра «Викинг» в устье реки Большая Ницца, впадающей в северо-восточную часть Сухого Моря.

Анализ результатов вышеуказанных исследований позволяет дать предварительную характеристику гидрологического режима северной части Сухого Моря в безледоставный период.

Приливная циркуляция вод на рассматриваемой акватории имеет следующий характер. В фазу прилива южнее створа Железных Ворот преобладает перенос вод в юго-восточном направлении. Севернее створа Новой Промойны доминирует перенос вод в северо-восточном и восточном направлениях, генерируя на севере Сухого моря антициклоническую квазивихревую структуру. Здесь полная вода наступает позже на 1,5–2 часа по отношению к южной оконечности острова Мудьюг. В конечном счете, эстуарные воды на приливе поступают в устья рек Кадь и Мудьюги. В начале фазы прилива может наблюдаться их частичный переток в южную часть Сухого моря, но в дальнейшем они начинают подпираться водами, поступающими через широкий пролив между островами Мудьюг и Лебедин. В фазу отлива генеральный перенос вод ориентирован на проливы Новая Промойна и Железные Ворота.

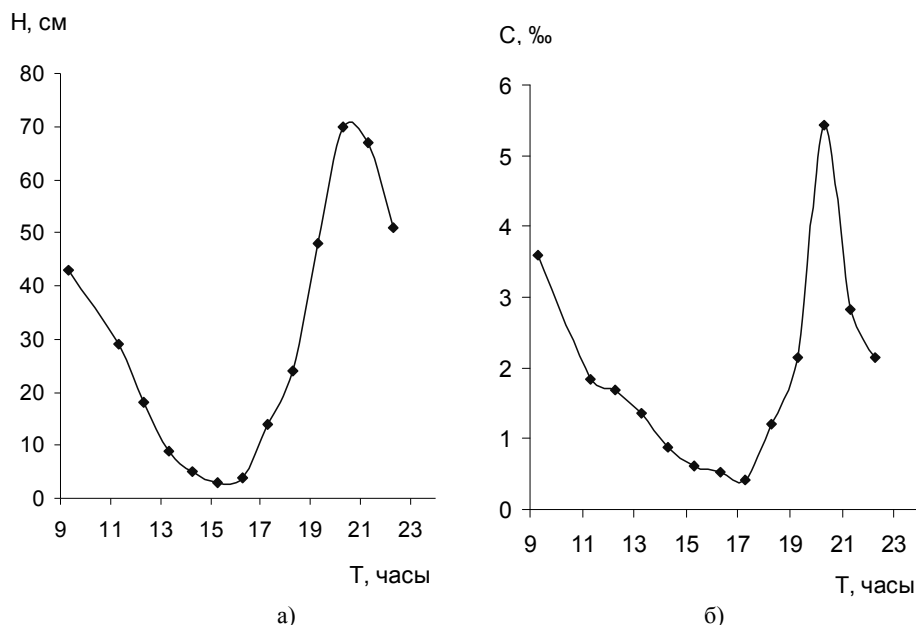
В Сухом море отмечается явное доминирование приливо-отливных течений, имеющих полусуточный характер. Их максимальные скорости обычно колеблются в интервале 0,3–0,5 м/с, возрастая в проливах до величин 0,7–1,1 м/с. Скорости отливных течений весной превышают приливные на 0,15–0,20 м/с, летом – на 0,05–0,10 м/с. Для квазистационарных течений, направленных из Сухого моря в Двинский залив, типичные скорости течений составляют 0,02–0,07 м/с, весной они повышаются до 0,15 м/с.

Термический режим вод северной части Сухого моря в целом соответствует температурным параметрам, характерным для устьевых взморья Северной Двины и которые можно оценить по данным многолетних наблюдений на гидрометеостанции *Мудьюг*. Однако, здесь из-за мелководности летом в жаркую погоду может наблюдаться очень сильный прогрев вод (до 23–25 °С и даже выше), что обуславливает появление при их контакте с более холодными водами Двинского залива ярко выраженных термических фронтов. В них кратковременные (приливные) колебания температуры воды могут достигать 6–8 °С. Такие фронтальные разделы, как правило, располагаются около проливов, но на сизигийных приливах и ветровых нагонах они могут достигать центра северной части Сухого моря.

Термическая стратификация вод для рассматриваемого водного объекта не типична из-за его мелководности и их хорошего вертикального перемешивания.

Значительная приливная, синоптическая и сезонная изменчивость характерна и для солености вод северной части Сухого моря. Весной характерный диапазон ее изменчивости составляет 0,7–8‰, в летне-осеннюю межень – 5–23‰ при отсутствии значительных различий между ее значениями на поверхностном и придонном горизонтах (не более 1–2‰ при глубинах более 4-х метров). Наибольшее осолонение эстуарных вод наблюдается на полной воде около пролива Новая Промойна, наименьшее – на малой воде у морского края дельт рек Кадь и Мудьюга. При сильных ветровых нагонах соленость около проливов может повышаться до 25–26,7‰.

В северной части Сухого моря формируется несколько фронтальных разделов по солености. Два из них приурочены к входам в проливы Железные Ворота и Новая Промойна, один фронт локализуется на морской границе с дельтами рек Кадь и Мудьюги и еще два, сильно ограниченные по пространству, – в устьях рек Малая и Большая Ницца (рис.). Следует заметить, что такие фронты способствуют формированию значительной пространственной неоднородности в распределении водной растительности, и видимо, в распределении планктона и бентоса.



а) Полусуточная изменчивость уровня (а) и солености (б) воды в устье р. Большая Ницца 19 августа 2012 г.

Амплитуда солености при полусуточных колебаниях на фронтальных разделах, обычно составляет 3–5‰ (рис.). При аномальных сгонно-нагонных явлениях и при кратковременном прохождении дождевых паводков она может повышаться до 10–12‰. Вместе с тем, следует отметить, что у южной оконечности Мудьюга подобная изменчивость может достигать до 20–25‰.

Значительные кратковременные колебания солености в северной части Сухого моря, очевидно, могут оказывать сильное влияние на пространственные изменения структуры его ихтиофауны. В итоге на одном и том же локальном участке соотношения пресноводных, эстуарных и морских экологических группировок рыб в течение полусуток (суток) могут испытывать хорошо выраженные трансформации.

В Сухом море наблюдается повышенное содержание взвешенных веществ, которое, как правило, характерно для эстуарных зон приливного моря. В зоне повышенного осолонения, в первую очередь, около проливов их концентрации обычно колеблются в интервале 11–13 мг/л. При интенсивном ветровом волнении на мелководных участках, занятых иловыми отложениями, содержание взвесей может повышаться до 100–200 мг/л, но подобная ситуация чаще всего фиксируется лишь несколько часов. На полной воде около проливов при остановке (развороте направлений) течений концентрации взвешенных веществ уменьшаются до уровня 5–7 мг/л и ниже.

СООБЩЕСТВО РЫБ НЕБОЛЬШОГО ПОЛУИЗОЛИРОВАННОГО МОРСКОГО ВОДОЕМА В КЕРЕТСКОМ АРХИПЕЛАГЕ (КАНДАЛАКШСКИЙ ЗАЛИВ)

М.В. Моганова, Т.С. Иванова, М.В. Иванов, Д.Л. Лайус

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет»,
Санкт-Петербург, Россия, e-mail: dlajus@gmail.com

Численность трехиглой колюшки *Gasterosteus aculeatus* в Белом море претерпевает существенные долговременные изменения. В последние годы отмечается быстрый рост популяций колюшки и в настоящее время она является массовой рыбой Белого моря, в связи с чем, заслуживает всестороннего изучения. Сейчас это особенно актуально потому, что в период низкой численности этого вида, не имеющего коммерческого значения, ему почти не уделялось внимания. Важной особенностью трехиглой колюшки является высокая экологическая пластичность, способность жить в очень разнообразных условиях. Она часто населяет пресноводные и солоноватоводные водоемы, непосредственно связанные с морем. Несомненно, это может играть важную роль с точки зрения наиболее полного освоения видом всех доступных ресурсов и его способности адаптироваться к изменению условий окружающей среды.

Одним из таких водоемов, населенных трехиглой колюшкой, является небольшая губа, вдающаяся в о. Кереть, расположенный в окрестностях Морской биологической станции СПбГУ. Здесь было отмечено значительное количество колюшки и ее интенсивный нерест при том, что условия ее обитания заметно отличаются от таковых в море. Кроме трехиглой колюшки, здесь обитает и близкий вид – девятииглая колюшка (*Pungitius pungitius*), причем ее количество намного превышает таковое в соседних участках моря. В данном водоеме встречаются и другие виды рыб, заплывающие из моря. Проведенные ранее исследования показали существенные различия паразитофауны трехиглой колюшки в губе и в море, здесь проводились также исследования зоопланктона.

Целью данной работы является описание сообщества рыб полуизолированного морского водоема в Кандалакшском заливе, и оценка численности наиболее массового вида рыб – трехиглой колюшки.

Исследования были проведены с 20 июня по 30 августа 2012 г в небольшой безымянной губе, вдающейся в о. Кереть, в Кандалакшском заливе Белого моря (66°18' 50" с.ш., 33°38'32" в.д.). Максимальная глубина губы составляет 4,5 м, средняя – около 2,5 м, площадь – 64 тыс. м², объем воды – 100 тыс. м³. Губа связана с морем только в полную воду небольшим проливом шириной около 2 м и глубиной 0,5 м. Соленость водоема почти не отличается от таковой в соседних участках моря (около 22‰), а температура несколько выше (около 14 °С).

Для количественного учета рыб были использованы следующие орудия лова: малый мальковый невод (длина 7,5 м, высота 1,5 м, ячея крыльев – 5 и 3 мм, мотня из газа 1 мм), большой мальковый невод (длина 30 м, высота от 3 до 1,5 м, ячея крыльев – 8 и 3 мм, мотня из газа 1 мм), жаберные сети (длина 30 м, высота 1,5 м, ячея 8 мм, разноячейная сеть Nordic – длина 30 м, высота 1,8 м, ячея от 5 до

55 мм), ловушки-мережи (крыло из дели с ячейей 5 мм длиной 2 м, высотой 0,3 м, по обе стороны от которого располагались пластиковые емкости для улавливания рыб).

Колюшек метили с помощью кусочков яркого кембрика длиной около 5 мм, которые надевали на первые спинные колючки. Рыб несколько дней выдерживали в экспериментальном бассейне (50х70х450 см) вместе с немечеными особями для оценки влияния меток на их поведение. Для того, чтобы определить вероятность потери меток, на каждую рыбку надевали по две метки, поэтому обнаружение на отловленной через несколько дней пребывания в море колюшке всего одной метки свидетельствовало бы о потере меток. Эти методические работы показали, что наличие меток незначительно влияет на поведение рыб, и потерей меток можно пренебречь.

Оценку численности трехиглой колюшки в водоеме производили путем повторных ловов помеченных рыб. Всего в несколько разных точек губы выпустили 570 меченых рыб и их отлов начали через день, считая, что этого времени достаточно для их равномерного распределения по акватории. Общая численность колюшек в губе определялась исходя из количества выпущенных рыб и их доле в уловах.

Для оценки коэффициента уловистости неводов были использованы два способа. При первом способе в район облова невода непосредственно перед заметом (в этом случае использовался только большой невод) выпускали 30–50 меченых колюшек и подсчитывали их долю в улове. При втором способе улов невода (использовали как большой, так и малый невода) сравнивали с теоретически ожидаемым для данной площади облова, оцененной путем мечения численности рыб в губе и при условии их равномерного распределения по акватории.

Лов неводами и жаберными сетями проводили на 4 станциях и в соседнем участке моря 10 раз в течение периода исследований с примерно равными интервалами. Всего было сделано 19 ловов неводами, 6 постановок сетей и 3 – ловушек (на ночь).

Была составлена карта околобереговой растительности, которая представлена по большей части осоками (*Carex sp.*) и тростником (*Phragmites sp.*). Среди водных макрофитов отмечены zostера (*Zostera marina*), пузырчатый фукус (*Fucus vesiculosus*), руппия (*Ruppia maritima*) и нитчатые водоросли.

В губе были обнаружены следующие виды рыб: трехиглая и девятиглая колюшки, полярная камбала (*Liopsetta glacialis*), рогатка (*Trigloporus quadricornis*), европейский керчак (*Myoxocephalus scorpius*), сельдь (*Clupea sp.*), корюшка (*Osmerus mordax*) и навага (*Eleginus navaga*). 20 экз. сельди, 2 корюшки и навага были пойманы в жаберные сети Nordic, 46 камбал а невода, а по 1 экз. керчака и рогатки – в ловушки, установленные в месте соединения губы с морем (рыбы пойманы со стороны губы). Девятиглая колюшка попадалась в невода и ловушки, оценка численности этого вида еще не закончена. Молодь трехиглой колюшки в отмечена в пробах в первый раз 14 июля.

Численность трехиглой колюшки менялась в течение сезона. 2 июля она составляла 4,6 экз/м² (от 2,6 до 5,2 на разных станциях), а 14 июля – 1,2 экз/м². (от 0,2 до 3,7). В море, вблизи соединения с губой, было отмечено 3,8 и 0,8 экз/м² соответственно. 30 августа попаданий взрослой колюшки в невод не отмечено, но

она в небольшом количестве ловилась в жаберные сети. Соотношение полов в начале июля было практически равным, а в середине месяца и в губе и в море сильно преобладали самцы. Причем в губе это преобладание обусловлено одной станцией, на которой отмечены густые заросли зостеры. Очевидно, в этом районе в основном происходит нерест (что совпадает и с результатами визуальных наблюдений). И здесь поэтому сосредоточены самцы, самки же покидают нерестилища и, очевидно, губу.

Средняя доля меченных рыб в уловах по данным 8 притонений большого невода 15–16 июля составляла 0,06 при попадании от 1 до 4 меченых особей. Исходя из этого расчетное общее количество рыб в губе составляет 95755 особей. Поскольку к этому времени численность рыб существенно упала по сравнению с началом месяца, можно предположить, что в начале июля численность колюшек в губе составляла около 300–400 тыс. особей.

Коэффициент уловистости большого невода, определенный путем выпуска меченых рыб в зону облова составил $0,84 \pm 0,04$ ($n = 3$). При втором способе, т. е. при сравнении теоретического и эмпирического уловов, коэффициент уловистости составил $0,50 \pm 0,15$ ($n = 8$). Оценки коэффициентов, полученные разными способами, достоверно не различается ($p = 0,22$).

Таким образом, в результате данного исследования был описан состав рыб полуизолированной губы Керетского архипелага. Здесь представлены не все массовые виды мелководий этой части Белого моря – можно отметить отсутствие маслюка (*Pholis gunnellus*), и трески (*Gadus morhua*). Однако, пока трудно сказать, связано ли их отсутствие с недостаточным количеством собранных проб, или же с избеганием этими видами небольших изолированных губ. Не вполне понятно, проводят ли рыбы в губе весь год или только теплую его часть. Численность взрослой трехиглой колюшки в августе резко снижается – очевидно, этот вид использует данную губу как нерестилище. Как и другие представители этого вида, колюшки этой губы отходят от берегов после нереста. При этом в данном случае, очевидно, требуются определенные поведенческие адаптации, поскольку соединение губы с морем очень невелико и существует только незначительное время в период полной воды, в связи с чем рыбы должны целенаправленно искать выход в море. Важным результатом работы явилась разработка оригинальной методики мечения трехиглой колюшки. Пластиковые метки хорошо держатся на теле рыб и не влияют на их поведение. Эта методика позволила оценить численность колюшек в данной губе и в перспективе может быть очень полезной при проведении эколого-популяционных исследований на колюшке. Кроме того, она может быть использована для отработки методов количественного учета этого вида.

ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НА ФИТОЦЕНОЗЫ ГУБЫ СУХОЕ МОРЕ ДВИНСКОГО ЗАЛИВА И УСТЬЕВ ПРИЛЕГАЮЩИХ МАЛЫХ ВОДОТОКОВ

Д.С. Мосеев

Научно-исследовательский Центр «Викинг», Архангельск, Россия, e-mail: vikingm@arh.ru

К северу от Корабельного Устья дельты Северной Двины располагается губа Сухое Море – мелководный лагунообразный залив, отделенный от Двинского залива островом Мудьюг и узкой Никольской косой. Сухое Море делится на две половины, каждая из которых сообщается с Двинским заливом. Южная часть Сухого Моря отделена от него широким проливом между островами Мудьюг и Лебедин, который имеет ширину 4,5 км. В его северной части имеются два узких пролива – Железные Ворота и Новая Промойна. Значительная часть Сухого моря подвержена отливной осушке в период приливо-отливных колебаний уровня.

В августе 2012 г. сотрудниками НИЦ «Викинг» проводилась комплексная экспедиция по изучению гидрологии и экологии северной части Сухого Моря (частично его южной части) и экосистем прилегающих участков побережья.

Сухое Море располагается на территории устьевого взморья Северной Двины, где гидрологический режим формируют процессы смешения морских вод Белого моря и речных вод Северной Двины и ряда более мелких рек. С приливной волной, формирующейся в Двинском заливе, в Сухое Море приходят морские воды, на отливе речные воды дельты заметно опресняют залив и выносят значительное количество взвешенных и влекомых наносов.

Несмотря на незначительное видовое разнообразие, общая биомасса и численность видов водной экосистемы Сухого Моря богаты. Видовой состав и распространение высшей флоры в северной и южной части Сухого Моря заметно отличаются, что указывает на разницу абиотических условий экосистемы, в основном по солености воды. В прибрежной зоне южной части залива проявляются признаки эвтрофирования водоема, характеризующиеся зарастанием высшей полуводной растительностью с доминированием камыша Тибернемонтана (*Scirpus tibiaernemontani*) и тростника обыкновенного (*Phragmites australis*).

Камыш Тибернемонтана (*Scirpus tibiaernemontani*) – широко распространенный вид вплоть до узкого пролива («переузья»), соединяющего южную и северную часть Сухого Моря, образующий на мелководьях и в зоне приливо-отливной осушки обширные заросли с площадью зарастания береговой зоны до 30%. На участке «переузья» заросли камыша прерываются, что вызвано увеличением солености среды. В северной части залива этот вид уже не встречается.

Тростник обыкновенный (*Phragmites australis*) распространен практически по всему побережью и в устьях рек образует приморские лайдовые луга. В береговой зоне такие берега носят название тростниковых и значительно влияют на конфигурацию береговой линии и гидрологический режим участков его произрастания, за счет сильного ослабления течений и усиления процессов седиментации взвесей.

Распространение типичных для акватории Белого моря морских бурых и красных водорослей в рассматриваемом водном объекте лимитируется соленостью. Здесь в основном встречаются нитевидные зеленые водоросли, однако проникновение и частичное размножение фукуидов в северной части залива не исключается.

В вершине северной части залива, где наблюдается максимальное осолонение и имеется большая площадь приливо-отливной осушки, образуются подводные заросли zostеры малой (*Zostera noltii*). Этот вид является типичным галофитом, и значительное опреснение лимитирует его распространение. Зостера эвригалинный вид и способна произрастать в условиях колебания солености от 6 до 40‰.

Разнообразие и экологические характеристики флоры губы Сухое море на его отдельных участках формируются под значительным влиянием рек, впадающих в залив. Среди них в северо-восточную часть залива впадает малая река Большая Ница, исследованиями которой ранее никто не занимался. Это самый северный речной водоток, впадающий в Сухое Море.

Устье реки Большая Ница представляет собой эстуарий, где гидрологические и экологические условия формируются под влиянием морских приливо-отливных течений, заходящих из залива Сухое Море и несущих соленые воды. При отливах характерно сильное увеличение кислотности среды, величина pH здесь понижается до 5,8, что связано с высокой заболоченностью водосбора реки Большая Ница.

Водная экосистема устьевой зоны реки характеризуется бедностью видового состава растительности. При этом *высшая водная растительность* в русле реки обнаружена лишь только в месте впадения в залив, где наблюдается максимальное осолонение и более высокие величины pH. Видовой состав здесь представлен одним видом доминантом группы облигатных галофитных гидрофитов – zostерой малой (*Zostera noltii*) и двумя видами галофитных гелофитов: камышом морским (*Scirpus maritimus*) и полуводной формой тростника обыкновенного (*Phragmites australis*). Последние два вида в устье реки образуют маршевые мочажины, периодически затопляемые на полной воде. Заросли zostеры малой (*Zostera noltii*) регистрируются на 300 м выше створа впадения реки в залив.

Выше створа 0,5 км от устья типично водная высшая растительность отсутствует совсем. Исключение составляют лишь отдельные заросли тростника обыкновенного периодически затопляемые приливами. Отсутствие высшей растительности объясняется крайне высокой кислотностью речных вод.

Наличие видов доминантов высшей растительности на створе впадения реки в залив и на участке осолонения ее устья является результатом оптимальных условий произрастания и максимального использования экологических ниш в отсутствие конкуренции с другими видами. Слабосоленые (высокоминерализованные по отношению к реке) воды препятствуют развитию видового богатства растений, но создают условия для распространения эврибионтных к абиотическим условиям среды видов виолентов.

Прибрежно-водная растительность группы гидрофитов на участке 1 км выше устьевого створа реки в море скудна и представлена в основном тростником обыкновенным (*Phragmites australis*), вейником лесным (*Calamagrostis sylvestris*), луговиком извилистым (*Avelana flexuosa*), ястребинкой зонтичной (*Hieracium umbellatum*), осокой лисьей (*Carex vulpina*). Тростник обыкновенный на изгибах

реки, где откладываются илистые отложения, может образовывать заросли с проективным покрытием до 80%.

На расстоянии 300–400 м от створа впадения реки Большая Ница в залив прибрежная лесная экосистема сменяется тростниковыми лугами (лайдами), которые также широко распространены вдоль всего восточного берега залива Сухое Море. Здесь преобладают виды, приспособленные к высокой солености почвы.

В таких экосистемах тростник обыкновенный (*Phragmites australis*) (как и в водной среде) является ярко выраженным конкурентоспособным доминантом группы солеустойчивых гигрофитов. Экологические условия лайд устья реки Большая Ница (торфянистые солоноватые почвы, открытая освещенная местность) позволяют виду по максимуму использовать экологическую нишу среды обитания. Другие виды гигрофитной группы встречаются на лайде значительно реже. Среди них в нижнем ярусе встречаются: подорожник морской (*Plantago maritimus*), осока береговая (*Carex rupestris*), звездчатка (*Stellaria*), лапчатка прямостоячая (*Potentilla*), горошек мышиный (*Vicia crassa*). На границе с лесом: дягиль лесной (*Anthriscus sylvestris*), таволга вязолистная (*Filipendula ulmaria*), очиток едкий (*Sedum*), лисохвост коленчатый (*Alopecurus*), вейник лесной (*Calamagrostis sylvestris*), двукисточник тростниковидный (*Phalaroides arudinacea*). В нижнем ярусе осока береговая (*Carex rupestris*) местами занимает положение доминанта. Повышенная соленость почв позволяет относить перечисленные виды к солеустойчивым.

На северо-западном побережье залива преобладают песчаные берега. Здесь находится небольшой полуостров – Никольская коса. Полуостров Никольская коса отделяет северную часть губы Сухое Море от Двинского залива Белого моря. Эдафотоп южной части полуострова преимущественно представлен песками с высоким содержанием солей.

Растительность прибрежных фитоценозов с песчаным эдафотопом представлена группой солеустойчивых (галофитных) псаммофитов. Как правило, они переносят достаточно высокую концентрацию солей в почвах. Видовой состав представителей группы не богат, однако, приспособленность таких видов к данным условиям среды обитания ведет к увеличению численности видов. В составе доминантов преобладают тимьян ползучий (*Thymus serpyllum*), элимус песчаный (*Elymus arenarius*), чина морская (*Lathyrus japonicus*). В меньшей степени встречается осот полевой (*Sonchus arvensis*), вероятно заносный вид. К факультативным галофитам растительного сообщества экосистемы побережья юга Никольской косы следует относить подорожник морской (*Plantago maritimus*), тяготеющий к солоноватоводным лагунам. Три вида – элимус песчаный (*Elymus arenarius*), тимьян ползучий (*Thymus serpyllum*), подорожник морской (*Plantago maritimus*) также тяготеют к приливо-отливной зоне, распространяясь иногда вплоть до уреза воды и в большей степени подвержены воздействию штормовых брызг и нагонов. Со стороны Двинского залива эти виды, как правило, произрастают не далее 30 м от линии прибоя, где они подвержены воздействию штормовых брызг. Общее проективное покрытие в фитоценозах южной части рассматриваемого полуострова достигает 50%. При этом частное проективное покрытие элимуса песчаного составляет около 30%, тимьяна ползучего – 20%.

Большую площадь юга Никольской косы занимают небольшие солоноватоводные морские лагуны, некоторые из них соединяются протоками с Сухим Морем. По берегам лагун широкое развитие получают тростник обыкновенный (*Phragmites australis*), ситник узловатый (*Juncus nodulosus*), подорожник морской (*Plantago maritimus*), которые образуют сообщества маршевого типа. В данном случае эти виды следует относить к группе галофитных гигрофитов, поскольку они непосредственно не проникают в водную среду. В составе водной среды лагун экологические ниши занимает полуводный камыш морской (*Scirpus maritimus*), относящийся к группе облигатных галофитных гелофитов (полуводных) растений. Последний вид больше других тяготеет к соленой воде. Здесь четко прослеживается тенденция к разделению экологических ниш между видами доминантами экосистем лагун – тростником обыкновенным и камышом морским. Частное проективное покрытие тростника обыкновенного в прибрежно-водном фитоценозе достигает 80%, площадь зарастания камыша морского в лагунах достигает 20%.

В северной части Никольской косы ближе к границе соединения с береговой линией материка распространены маршевые луга, где растительность представлена злаками и разнотравьем солеустойчивой гигрофитной группы. Эта экосистема занимает пониженные участки, удаленные от береговой линии. Механический состав почв эдафотопы сменяется супесями с высоким содержанием солей. Злаковая растительность представлена: луговиком дернистым (*Avelana cespitosa*), мятликом обыкновенным (*Poa vulgaris*), лисохвостом луговым (*Alopecurus pratensis*). В разнотравье встречаются: гвоздика дикая (*Caryophyllus aromaticus*), василек луговой (*Centaurea jacea*), осока приморская (*Carex maritimus*), колокольчик круглолистный (*Campanula rotundifolia*).

Таким образом, водные и прибрежно-водные фитоценозы губы Сухое Море характеризуются бедностью видового состава и ярко выраженным доминированием ряда видов виолентов, позволяющим им использовать экологические ниши в отсутствие конкуренции с другими видами. Видовой состав растительности определяется абиотическими условиями среды.

МОНИТОРИНГОВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ФУКУСОВЫХ СООБЩЕСТВ НА ПРОМЫСЛОВОМ УЧАСТКЕ О. СОЛОВЕЦКИЙ

О.Н. Мохова

Северный филиал Федерального государственного унитарного предприятия «Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича», Архангельск, Россия, e-mail: mohova@pinro.ru

Промысел и переработка водорослей является традиционным видом деятельности для населения поморских районов. Фукусовые водоросли являются вторыми по значимости, после ламинариевых, при заготовке и переработке.

До конца прошлого столетия обследования зарослей фукоидов носили локальный характер и не являлись систематическими. В последнее десятилетие спрос на данный вид сырья стал возрастать и это активизировало исследования, связанные с оценкой их современного состояния.

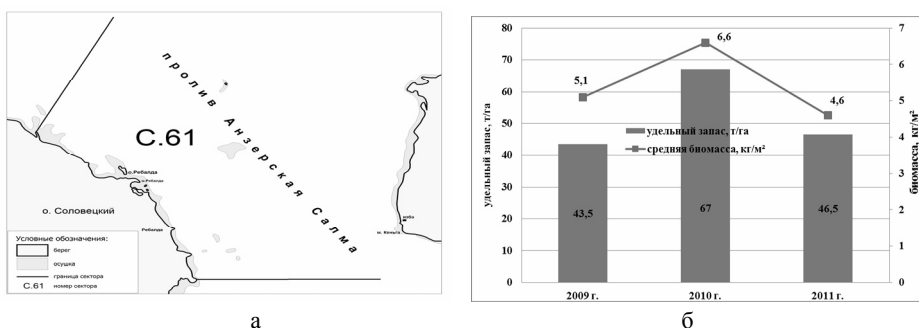
Одним из основных промысловых районов по добыче фукусовых водорослей в Белом море является заготовительный участок, расположенный в северо-восточной части о. Соловецкий – это побережье пос. Ребалда (сектор 61) (рис. 1а). Промысел фукоидов осуществляется во время отлива в литоральной и сублиторальной зонах моря на прибрежных отмелях. Для добычи применяют ножи, серпы, косы-стойки, которыми срезают водоросли близ их подошв. Ежегодная эксплуатация водорослей, несомненно, оказывает влияние на состояние их зарослей, поэтому возникает необходимость систематически выполнять детальное обследование эксплуатируемых участков для регулирования промысла и корректировки рекомендаций по их рациональной добыче.

Работы по обследованию береговой акватории в районе пос. Ребалда выполнялись на НИС «Протей» в 2009–2011 гг. в соответствии с принятой в ФГУП «ПИНРО» методикой. Для оценки состояния фукоидов закладывались разрезы с отбором проб рамкой 0,3х0,3 м в верхней, средней и нижней литорали. При обработке данных использовали следующие градации плотности зарослей: участки с проективным покрытием дна водорослями от 30 до 50% обозначались как заросли III категории, от 50 до 70% – заросли II категории, от 70% и более – заросли I категории. Для выполнения сравнительного анализа введена величина удельного запаса, которая рассчитывалась как отношение запаса к площади зарослей.

Исследования показали, что в литоральных зарослях преобладали наиболее распространенные в Белом море виды: *Fucus vesiculosus* L. (*F. vesiculosus*) и *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis (*A. nodosum*).

По данным 2009 г. на участке преобладали по площади заросли II категории плотности, которые располагались в северо-западной части м. Ребалда, с северо-восточной стороны о. Ребалда, на коргах северо-западнее о. Ребалда, а также в южной части сектора. Среднее проективное покрытие дна (ПП) составляло 55%, биомасса водорослей в пробах колебалась от 1,9 до 13,4 кг/м², в среднем – 6,4 кг/м². Ширина зарослей изменялась от 14 до 96 м, средняя – 43 м. Заросли III категории плотности были отмечены в северной части сектора и на участке от поселка заготовителей до м. Ребалда. Среднее ПП составляло 36 %, биомасса водорослей в пробах колебалась от 0,5 до 5,2 кг/м², в среднем 3,6 кг/м². Ширина зарослей изменялась от 15 до 139 м, средняя – 52 м.

Всего на участке удельный запас оценивался в 43,5 т/га. Среднее проективное покрытие дна составляло 46%, средняя ширина – 47 м, биомасса водорослей в пробах изменялась в пределах от 0,5 до 13,4 кг/м², в среднем – 5,1 кг/м². В фитоценозах наблюдалось равнодоминантное соотношение *F. vesiculosus* и *A. nodosum* (55 и 45%). Основные характеристики промысловых зарослей фукусовых водорослей приведены в таблице и на рис. б.



Карта-схема расположения заготовительного участка пос. Ребалда (а)
и промысловые показатели биомассы и удельного запаса фукусовых водорослей
в районе пос. Ребалда о. Соловецкий в 2009–2011 гг. (б)

Основные характеристики промысловых зарослей фукусовых водорослей в районе пос. Ребалда о. Соловецкий в 2009–2011 гг.

Год исследований	Категория плотности зарослей	Среднее проективное покрытие дна, %	Предельные значения биомассы, кг/м²	Средняя биомасса, кг/м²	Средняя ширина зарослей, м	Соотношение видов, %
2009	II	55	1,9–13,4	6,4	43	A.n.* 45 F.v.* 55
	III	36	0,5–5,2	3,6	52	
	В целом по участку	46	0,5–13,4	5,1	47	
2010	I	80	4,6–13,1	8,5	51	A.n. 47 F.v. 53
	II	58	3,3–13,9	6,0	31	
	В целом по участку	63	3,3–13,9	6,6	36	
2011	I	72	2,9–8,5	5,9	40	A.n. 48 F.v. 52
	II	56	2,0–9,4	4,9	32	
	III	33	1,1–4,9	2,7	32	
	В целом по участку	54	1,1–9,4	4,6	33	

* A.n. — *Ascophyllum nodosum*, *F.v. — *Fucus vesiculosus*.

В 2010 г. основные скопления были отмечены от северной границы сектора до о. Ребалда и в южной части сектора. Преобладали по площади заросли средней плотности (ПП от 50 до 70%). Среднее ПП составляло 58%, биомасса водорослей колебалась от 3,3 до 13,9 кг/м², в среднем – 6,0 кг/м². Ширина зарослей изменялась от 15 до 60 м, средняя – 31 м. Две заросли I категории плотности были отмечены в северной части сектора, одна – южнее поселка, где осуществляется заготовка водорослей. Среднее ПП в зарослях – 80%. Биомасса водорослей колебалась

от 4,6 до 13,1 кг/м², в среднем составляя 8,5 кг/м². Ширина зарослей изменялась от 40 до 70 м, средняя – 51 м. Всего на участке удельный запас был оценен в 67,0 т/га. Проективное покрытие дна варьировало от 40 до 90%, средняя биомасса водорослей составляла 6,6 кг/м², средняя ширина зарослей – 36 м. В межвидовом соотношении выраженного доминанта не выявлено, доли видов *F. vesiculosus* и *A. nodosum* были примерно одинаковы.

В 2011 г. расположение зарослей промыслового значения практически не изменилось, по сравнению с 2010 г. Также преобладали заросли средней плотности, заросли I категории были отмечены в северной и южной части сектора, разреженные – (ПП от 30 до 50%) располагались в северной и восточной части о. Ребалда. В зарослях I категории плотности среднее проективное покрытие дна составляло 72 %, биомасса водорослей в пробах колебалась от 2,9 до 8,5 кг/м², в среднем – 5,9 кг/м². Ширина зарослей изменялась от 30 до 50 м, средняя – 40 м. В зарослях II категории среднее проективное покрытие дна составляло 56 %, биомасса водорослей в пробах колебалась от 2,0 до 9,4 кг/м², в среднем – 4,9 кг/м², ширина изменялась от 15 до 60 м, средняя – 32 м. Среднее проективное покрытие дна в зарослях III категории плотности составляло 33 %, биомасса водорослей в пробах колебалась от 1,1 до 4,9 кг/м², в среднем 2,7 кг/м². Ширина зарослей изменялась от 20 до 45 м, средняя – 32 м. Всего на участке удельный запас оценивался в 46,5 т/га. Проективное покрытие дна в зарослях варьировало от 30 до 80%, средняя биомасса водорослей составляла 4,6 кг/м², средняя ширина – 33 м. В зарослях наблюдалось равное соотношение *F. vesiculosus* и *A. nodosum*.

Подводя итоги, можно отметить, что за три года исследований расположение основных промысловых скоплений фукоидов почти не изменилось – это побережье м. Ребалда, выступающая каменисто-валунная гряда и корги у о. Ребалда, а также северная и южная часть сектора. Максимальные показатели средней биомассы и удельного запаса (отношение запаса к единице площади) были зафиксированы в 2010 г. и составили 6,6 кг/м² и 67 т/га, соответственно. Из полученных данных следует, что наиболее благоприятным для развития фукусовых водорослей был 2010 г., но, в целом, основные промысловые характеристики различаются по годам незначительно. Межгодовые колебания этих показателей зависят, прежде всего, от срока отбора проб. Хотя отбор и обработка проб водорослей проводились примерно в одни и те же сроки, но погодные условия (сход льда, температура воздуха, прогрев воды и др.) в той или иной мере влияют на рост растений и созревание органов размножения – рецептакулов. Благоприятные условия могут ускорить период активной фертилизации и способствовать более раннему созреванию рецептакулов, что приводит к значительному увеличению массы растений. При максимальном созревании рецептакулы увеличиваются почти в 3–5 раз у *A. nodosum*, в 9 раз – у *F. vesiculosus*. Масса рецептакулов беломорских фукоидов может составлять от массы всего слоевища 80–85 % у *F. vesiculosus* и 66–84% у *A. nodosum* (Возжинская, 1986). Соотношение видов в исследуемых сообществах почти не изменилось, в фитоценозах наблюдается равнодоминантное соотношение *A. nodosum* и *F. vesiculosus*, что актуально для эксплуатации смешанных зарослей. В целом, можно охарактеризовать состояние зарослей фукоидов за три года исследований как стабильное, какие-либо изменения промысловых показателей зависели в основном от гидрометеорологических условий.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ АДАПТАЦИИ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНЫХ ПРОТЕИНАЗ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ СЕВЕРО-ЕВРОПЕЙСКОГО БАССЕЙНА

В.А. Мухин¹, В.Ю. Новиков¹, Е.Б. Смирнова²

¹ Федеральное государственное унитарное предприятие «Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича», Мурманск, Россия, e-mail: vmukhin@pinro.ru;

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет», Мурманск, Россия

Как известно, для каждого фермента характерны субстратная специфичность, определенная локализация в органах и тканях. Принято считать, что оптимумы температуры и pH для проявления максимальной активности, также являются неотъемлемыми характеристиками ферментов.

Без сомнения, изменение условий среды, в частности температуры, значительно влияют на структуру и функции ферментов, что является примером адаптации на биохимическом уровне. Морские беспозвоночные являются пойкилотермными животными и для них легче, чем для теплокровных, установить взаимосвязь организма и среды.

Именно на температурные адаптации пищеварительных протеиназ морских беспозвоночных мы хотели обратить внимание в своей работе.

Изучение ферментной системы морских беспозвоночных, а именно, активности пищеварительных протеиназ, является весьма актуальным по ряду причин. Пищеварительные органы морских беспозвоночных являются отходами промысла и переработки. Отходы промысла морских беспозвоночных в настоящее время используются лишь частично, хотя по массе они могут составлять до 90 % от объема вылова (Мухин, Новиков, 2002). Таким образом, данное сырье является достаточно дешевым с экономической точки зрения. Внутренние органы беспозвоночных целесообразно использовать для получения препаратов протеиназ, так как они обладают сравнительно высокой активностью и имеют большой выход при их выделении. Одним из наиболее оптимальных способов рационального использования пищеварительных органов беспозвоночных, и тем самым решения технологической задачи, является получение ферментных препаратов из добываемого сырья и применение их в медицине, микробиологии, пищевой и легкой промышленности.

Рабочей гипотезой для исследования выступило предположение о существовании группы адаптированных к низким температурам ферментов в органах и тканях пойкилотермных животных, обитающих в холодных морях.

Целью данной работы было исследование влияния температуры инкубационной среды на активность пищеварительных протеиназ морских беспозвоночных.

Объектами исследования служили беспозвоночные Баренцева моря: ракообразные – акклиматизированный камчатский краб *Paralithodes camtschaticus*, северная креветка *Pandalus borealis*; иглокожие – морская звезда *Asterias rubens*.

В качестве материала были использованы пищеварительные органы (гепатопанкреас) вышеуказанных организмов. Порошкообразные ферментные препараты

для дальнейших анализов получали из гепатопанкреаса морских беспозвоночных путем осаждения белковых веществ ацетоном.

В исследуемом материале определяли общую протеолитическую активность в диапазоне от 5 до 70 °С по расщеплению гемоглобина и казеината натрия, используя метод Ансона с некоторыми модификациями (Мухин, Новиков, 2002).

Согласно полученным данным, температурные максимумы активности всех препаратов из гепатопанкреаса морских беспозвоночных по отношению к используемым белковым субстратам составляет 50–55 °С при 10–30 мин инкубации.

Эти результаты аналогичны результатам, полученным, характерного для теплокровных позвоночных (50–60 °С), хотя принято считать, что температурный оптимум активности ферментов обитателей холодных морей значительно ниже (Gildberg, 1988).

По данным других исследователей, максимальная активность по отношению к коллагену обнаруживается также при температуре 50–55 °С (Сахаров, 1992; Литвин, 1993; Chen, Lu, Tsai, 1991). При температуре инкубационной среды более 50 °С (55 °С для камчатского краба) отмечается значительное снижение протеолитической активности пищеварительных протеиназ исследуемых объектов, что, очевидно, обусловлено денатурацией ферментов.

Нельзя не отметить и тот факт, что протеолитическая активность в ферментном препарате из гепатопанкреаса камчатского краба значительно превосходит таковую в ферментных препаратах из гепатопанкреаса морских звезд и креветки. Подобная высокая активность протеиназ является экстенсивной эволюционной компенсацией за слабую дифференциацию пищеварительной системы, невысокую субстратную специфичность ферментов и, как уже отмечалось, за холодную среду обитания (температура воды в Северных морях далека от максимума проявления активности большинства ферментов).

Таким образом, мы делаем вывод, что при достаточно коротких сроках инкубации (взаимодействие фермента с субстратом), максимальная активность всегда будет проявляться при более высоких температурах. Источник выделения (происхождение) ферментов в данном случае практически не имеет значения. Это правило исходит из всей физико-химической логики. Ограничением в данной ситуации будет являться только тепловая денатурация самого фермента, которая и происходит у большинства ферментов при температуре выше 55 °С.

В этой связи, значительно больший интерес представляет собой область низких температур, т.е. среднегодовых температур морей Европейского Севера.

Отличительная черта протеолитической активности пищеварительного тракта морских беспозвоночных – наличие некоторой активности при низкой температуре (5 – 15 °С), что, вероятно, и следует рассматривать как биохимическую адаптацию к холодным условиям среды обитания данных организмов.

Мы полагаем, что следует ввести (или разграничить) понятия температурный «температурный оптимум» и «температурный максимум». Максимум проявления активности всегда будет соответствовать той максимальной температуре, при которой еще не происходит изменение третичной структуры фермента, а, следовательно, его активного центра. Понятие оптимум, видимо, ближе к экономике и технологии. С этих позиций, температурный оптимум – возможность преобразовывать максимальное количество субстрата при минимальном расходе фермента.

Как ни парадоксально, функционирование организма на биохимическом уровне не является «экономичным» и «технологичным». Иными словами, организм не заинтересован ставить рекорды и, поэтому, наиболее оптимальная температура работы ферментов та, при которой организм существует.

Именно это было подтверждено нашими исследованиями.

Так, при инкубации в течение 24 ч при 15 °С, протеиназы пищеварительных органов исследуемых организмов могли преобразовать в 1,2–2 раза больше субстрата, чем за аналогичное время инкубации при 55 °С. Именно в этом, на наш взгляд, и проявляется холодовая адаптация.

В тоже время известно, что большинство протеиназ теплокровных животных, практически прекращают свою работу в холоде. Так, препараты трипсина свиньи могут храниться в холодильнике неделями при температуре около 50С.

Таким образом, температурный максимум протеолитической активности пищеварительных протеиназ исследуемых беспозвоночных (камчатский краб *Paralithodes camtschaticus*, морская звезда *Asterias rubens*, северная креветка *Pandalus borealis*) составляет 50–55 °С, что не отличается от такового пищеварительных протеиназ теплокровных животных, и в частности, млекопитающих.

Однако проявление весьма существенной активности при низких температурах (5–15 °С) инкубационной среды, свидетельствует об адаптационных механизмах, имеющих место в пищеварительных органах холодолюбивых морских беспозвоночных на биохимическом уровне.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕТИКИ ВИДООБРАЗОВАНИЯ У ТРЕХИГЛОЙ КОЛЮШКИ

Н.С. Мюге

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии
развития им. Н.К. Кольцова Российской академии наук Москва, Россия,
e-mail: tigue@mail.ru,*

*Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-
исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Москва, Россия*

Трехиглая колюшка *Gasterosteus aculeatus* Linnaeus, 1758 является классическим объектом для изучения генетических механизмов адаптации и видообразования. Широко распространённая во всех северных морях северного полушария, колюшка образует в пресных водоемах жилые формы, отличающиеся от морских по ряду морфологических и физиологических признаков. Анадромная и жилая формы часто сосуществуют и нерестятся в одном озере, причем в ряде случаев наблюдается формирование различной степени выраженности репродуктивной изоляции.

Различными методами (микросателлитный и SNP-анализ, секвенирование контрольного региона мтДНК, а также полногеномное секвенирование на платформе Illumina) нами изучались жилые и анадромные популяции колюшки в озерах бассейна Белого моря, в реках и озерах Камчатки, а также несколько искусственных популяций, основанных В.В. Зюгановым в 1978–1981 гг в пресноводных озерах, образовавшихся в заброшенных карьерах в Лоухском р-не Карелии. Для беломорских популяций выявлено присутствие в геноме более двадцати участков генома, отличающихся большим количеством однонуклеотидных замен между анадромной (морской) и жилой (пресноводной) формами. Показано, что адаптации к пресноводным местообитаниям происходят не за счет новых мутаций, а путем отбора редких в морской популяции пресноводных аллелей, попавших в морскую популяцию из ранее заселенных колюшкой озер. Возраст пресноводных аллелей, определенный по степени дивергенции между аллелями, типичными для морской и пресноводной популяциями, насчитывает миллион и более лет, что значительно превышает возраст любой из существующих ныне озерных популяций трехиглой колюшки. Изменение частот аллелей за определенный период времени позволило охарактеризовать интенсивность отбора по каждому из локусов молодых озерных популяций и у рыб, заселенных в карьеры. Коэффициент селекции составил от 2 до 12% для различных участков генома. Будут приведены данные о генах находящихся под отбором и обсуждена их роль в формировании пресноводных рас трехиглой колюшки.

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ВОДОСБОРЕ БЕЛОГО МОРЯ

Л.Е. Назарова

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных проблем
Севера Карельского научного центра Российской академии наук, Петрозаводск, Россия,
e-mail: nazarova@nwpi.krc.karelia.ru*

Наибольшее внимание в течение последних 30 лет в проблеме изучения климата уделяется Арктике. Тщательное изучение последствий изменения климата в этом регионе представляет несомненный практический интерес для оценки возможных оценок ущербов водным объектам, биоресурсам, экономике, здоровью населения. Важность тщательного изучения этого региона очевидна также в связи с возрастанием интереса к освоению арктических ресурсов, предполагаемой интенсификацией использования Северного морского пути, заметным таянием льдов Северного ледовитого океана, что скажется и на формировании политической, экономической, социальной, научной деятельности. Для России детализированные по регионам оценки наблюдаемых и предполагаемых изменений климата особо важны, поскольку из-за значительных природно-обусловленных различий климата на ее территории изменения климата в ее регионах проявляются крайне неравномерно.

Физико-географические и климатические особенности рассматриваемого региона неоднородны. Климат исследуемой территории можно охарактеризовать как субарктический морской, имеющий черты континентального в Мурманской и северо-западной части Архангельской областей, и переходный от морского к континентальному на территории Карелии. Характерной особенностью климата является частая смена воздушных масс, формирующихся, в основном, над Атлантикой и Арктикой. Сложные физико-географические условия региона с наличием значительных по площади крупных водоемов – Финского залива, Ладожского и Онежского озер, Белого и Баренцева морей, разветвленной сетью озерно-речных систем, разнообразием форм рельефа региона от зоны тайги до тундры обуславливают неоднородную картину климата региона.

Для выявления региональных закономерностей изменений климата, а именно температурного режима территории водосбора Белого моря, были собраны сведения о средней месячной и годовой температуре воздуха. Изучение изменчивости климатического режима региона проводилось по данным наиболее длительных инструментальных наблюдений на метеорологических станциях и постах Федеральной службы РФ по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, расположенных на изучаемой территории, за период от начала наблюдений на станциях до 2010–2011 гг. При расчете аномалий температуры воздуха за климатическую норму принималось среднее многолетнее значение за базовый период 1961–1990 гг. Для сравнимости метеорологических рядов разных пунктов наблюдений рассматривались ряды одинаковой продолжительности.

Средние многолетние значения годовой температуры воздуха изменяются от -1.0°C на северо-западе Архангельской области, от 0°C на побережье Баренцева и Белого морей до -2°C в центральной части и $-3-4^{\circ}\text{C}$ в горных районах Кольского п-ова и до $+2.6^{\circ}\text{C}$ в центральных районах Карелии.

Региональные изменения приземной температуры воздуха, полученные по данным длительных инструментальных измерений на водосборе Белого моря, отражают общие черты и тенденции изменения температуры нижнего слоя атмосферы в северном полушарии в XX – начале XXI в.

В рассматриваемом регионе значения среднегодовой температуры воздуха не являются монотонно возрастающими в течение 20-го века: на потепление 1930-х годов пришло похолодание 1960–1970 гг., которое, в свою очередь, сменялось повышением температуры воздуха с конца 1980-х гг. Данные наблюдений свидетельствуют о почти синхронном характере изменчивости среднегодовой температуры воздуха от Петрозаводска до Архангельска и Мурманска с наличием квазипериодических колебаний с временными масштабами порядка 2, 10 и 30 лет. По данным наиболее продолжительных наблюдений за температурой воздуха на станциях Архангельск и Петрозаводск отмечается проявление 60 летних флуктуаций.

По всей рассматриваемой территории повышение средней годовой температуры воздуха происходило неравномерно. Наибольшие значения коэффициентов линейных трендов были получены по данным наблюдений метеостанций, расположенных в южных районах Карелии вблизи побережья Ладожского озера: МС Олонец $+0.34\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$, МС Сортавала $+0.3\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$. В центральных районах Карелии тенденции повышения средней годовой температуры воздуха менее выражены: $+0.26 \dots +0.27\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$. Значения коэффициента линейного тренда средней годовой температуры воздуха, характеризующие потепление в северных районах Карелии наименьшие: около $+0.2\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$. На территории Мурманской области за период 1951–2010 гг. коэффициенты линейного тренда составляли $+0.13\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ в Кандалакше, $+0.17\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ в Краснощелье и Мурманске, $+0.19\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ в Ловозере, $+0.25\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ в Никеле.

Таким образом, для рассматриваемого региона интенсивность повышения средней годовой температуры воздуха постепенно возрастает по мере продвижения от высоких широт к более низким. Самым холодным 11-летним периодом на Кольском полуострове стал период наблюдений с 1978–1988 гг.; самым теплым – период с 1999 года по настоящее время. Если рассмотреть ряды средней годовой температуры воздуха в отклонениях от климатической нормы (1961–1990 гг.), то можно сделать вывод, что, начиная с 1989 гг. значения средней годовой температуры воздуха превышали среднее многолетнее значение (рис. 1). Приведенный график характеризует изменения температурного режима в районе г. Петрозаводска, который не находится непосредственно на территории водосбора Белого моря, однако данная тенденция отмечена во всех временных рядах средней годовой температуры воздуха на исследуемой территории.

Рассмотрим далее изменения температуры воздуха по среднемесячным данным. На рис. 2 представлены коэффициенты линейного тренда ($^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$), характеризующие изменения температуры воздуха в исследуемом регионе по данным наблюдений некоторых метеорологических станций за период 1951–2010 гг.

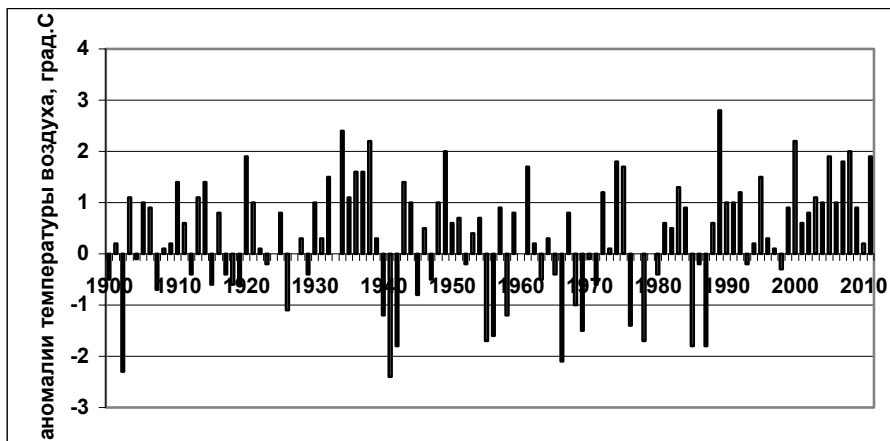


Рис. 1. Отклонение средней годовой температуры воздуха от нормы (1961–1990 гг.) по данным МС Петрозаводск с 1880 по 2011 г.

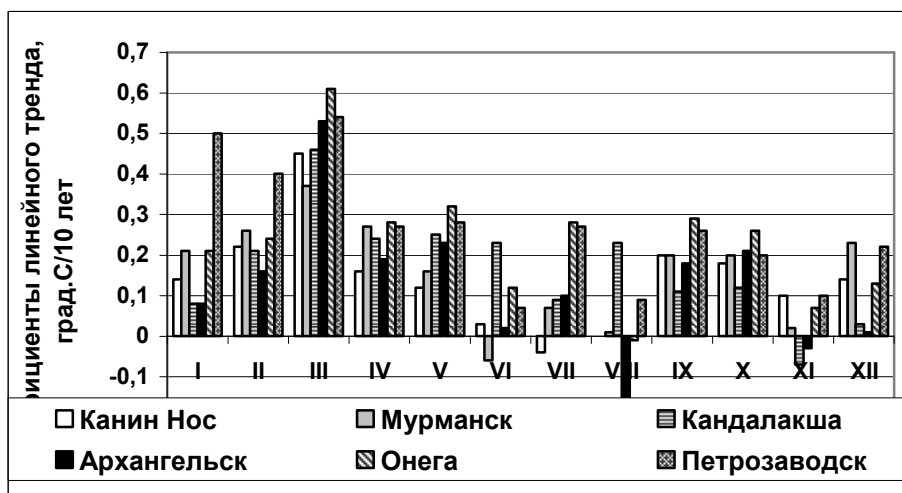


Рис. 2. Коэффициенты линейного тренда ($^{\circ}\text{C}/10$ лет) средней месячной температуры воздуха по станциям региона за период 1951–2010 гг.

Результаты анализа данных показывают, что во внутригодовом ходе изменение средних месячных значений температуры воздуха происходит неравномерно для разных сезонов года и неоднородно для исследуемого региона. Общим является то, что наиболее интенсивное потепление отмечается в марте ($+0.45 \dots +0.6$ $^{\circ}\text{C}/10$ лет) на всех станциях исследуемой территории (от Петрозаводска до Канина Носа). В весенние (апрель–май) и осенние (сентябрь–октябрь) месяцы потепление происходит равномерно по всему исследуемому региону. В течение летнего сезона отмечены разнонаправленные тенденции изменения температуры воздуха. Существенное влияние на температуру воздуха рассматриваемой террито-

рии оказывают водные бассейны. В весенние и летние месяцы на побережьях и, особенно в открытых частях крупных водоемов, температура воздуха несколько понижена, а в осеннее и зимнее время – повышена по сравнению с остальной территорией.

Изменения в температурном режиме территории приводят к смещению дат начала и окончания климатических сезонов года. В результате произведенных расчетов было установлено, что даты устойчивого перехода температуры воздуха через 0, 5 и 10 °С в сторону повышения и понижения температуры в течение 2000–2010 гг. были смещены относительно средних многолетних значений. Наибольшее отклонение от климатических норм характерно для дат наступления и окончания теплого периода года (выше 0 °С). Наступление холодного периода года происходило позже многолетней даты на 5–23 дня в Карелии и на 9–15 дней в Мурманской области. В течение 2000–2010 гг. холодный период оканчивался на 10–20 и 6–10 дней раньше средних многолетних значений в Карелии и на Кольском полуострове соответственно. В результате наблюдавшихся отклонений дат устойчивого перехода температуры воздуха через 0 °С средняя за указанный отрезок времени продолжительность теплого периода года составила 215–225 дней вместо 192–210 дней по климатической норме в Карелии и 180–200 дней вместо 160–180 дней в Мурманской области. Число дней в году, когда среднесуточная температура воздуха устойчиво превышала 5 °С, составляло в среднем за первое десятилетие XXI века 148 дней на севере Карелии и 170 в центральных и южных районах при климатической норме 134 и 151–159 соответственно. Число дней с температурой воздуха выше 10 °С было выше нормы на 7–13 дней. Устойчивый переход средней суточной температуры воздуха через 10 °С для территории Мурманской области, как правило, не рассчитывают, т. к. температура воздуха низкая и периоды со температурой более 10 °С очень непродолжительные.

Таким образом можно сделать вывод, что на территории водосбора Белого моря в течение последних 20 лет отмечаются устойчивые тенденции к повышению температуры приземного слоя воздуха.

ПОЧЕМУ В БЕЛОМ МОРЕ МЕНЬШЕ ВИДОВ, ЧЕМ МОЖНО ОЖИДАТЬ?

А.Д. Наумов

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Зоологический институт
Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: andrewnmv@gmail.com*

Еще К.М. Дерюгин (1928) обратил внимание на то, что в Белом море отсутствует целый ряд видов, которые вполне могли бы в нем встречаться, так как условия обитания в нем этому не препятствуют. Обнаруженный им дефицит видов он назвал *отрицательными чертами фауны Белого моря*. Это явление К.М. Дерюгин объяснял изолирующим гидродинамическим режимом Горла: с одной стороны интенсивные турбулентные потоки на всем протяжении этого пролива механически уничтожают пелагических личинок, а с другой – мощные течения препятствуют накоплению тонкодисперсных осадков, что закрывает дорогу инфауне.

В течение прошедших со времени публикации монографии К.М. Дерюгина десятилетий одни исследователи безоговорочно принимали его выводы, другие же, как например А.Е. Анцулевич (1991), анализируя списки видов отдельных таксономических групп морских животных, не находили существенной разницы между фауной Белого и Баренцева морей.

Спор этот будет оставаться беспредметным до тех пор, пока исследования соотнесения фаун будут проводиться на уровне визуального сравнения списка видов, как это было сделано К.М. Дерюгиным (1928), или даже с использованием мер включения одной фауны в другую, как это сделал А.Е. Анцулевич (1991). Очевидно, что процесс расселения фауны должен быть смоделирован, и только сравнение эмпирических данных с теоретически построенным распределением методами вариационной статистики может считаться достаточным основанием для решения вопроса о том, наблюдается ли в том или ином водоеме достоверный *дефицит видов*, т. е. недостающее их число, выраженное в процентах, от рассчитанного теоретически. Такая модель, представляющая собой функцию расстояния от центра расселения, была предложена Дж. Пикколи, С. Сартори и А. Франчино (Piccoli et al., 1986) в качестве метода изучения расселения донных моллюсков моря Тетис. Впоследствии она также успешно применялась для исследования рецентных фаун (Gontar, Naumov, 1994; Naumov, Gontar, 1997; Наумов, Гонтарь, 2004; Наумов, 2006).

Названная модель имеет вид:

$$S = S_0 e^{-D/L},$$

где S – число видов локальной фауны, S_0 – исходное число видов центре расселения, D – расстояние между связанными бассейнами, L – положительный коэффициент, e – основание натуральных логарифмов.

Следует иметь в виду, что вид, расширяющий свой ареал, должен обладать определенным набором свойств, позволяющих занимать новые местообитания. Очевидно, что на этот процесс влияет его эврибионтность, способ размножения, выживаемость молоди и т. п. Кроме того, такому виду приходится преодолевать сопротивление локальной фауны и флоры того региона, который он осваивает, т. е., большое значение имеет его конкурентоспособность. Понятно, что разные виды

могут сильно отличаться друг от друга по этим параметрам, поэтому и успех расселения будет для них различным и непредсказуемым. В целом можно считать, что процесс расселения – процесс случайный (Piccoli et al., 1986). Это позволяет подойти к нему с достаточно общих позиций и попытаться проследить освоение обширных пространств крупными таксономическими категориями организмов (Piccoli et al., 1986, 1991; Piccoli, 2002a, b; Gontar, Naumov, 1994; Naumov, Gontar, 1997; Наумов, Гонтарь, 2004; Наумов, 2006).

Зная закономерности заселения группой видов ряда граничащих друг с другом водоемов, можно выяснить, соответствует ли число видов в интересующем нас регионе, находящемся в стороне от основной магистрали, теоретически предсказанному, или же нет (Наумов, Гонтарь, 2004; Наумов, 2006). Принимая шельф арктических морей за основную магистраль расселения видов атлантического происхождения на восток, мы можем считать Белое море водоемом, лежащим от нее в стороне. Если теоретически полученное число не будет значимо отличаться от наблюдаемого, то мы не можем говорить об отрицательных чертах: снижение числа видов обусловлено исключительно увеличением расстояния от центра расселения. Напротив, если оно меньше, то это говорит о существовании неких барьеров, препятствующих вселению видов данной группы в Белое море. Если, наконец, их окажется достоверно больше, то это будет указывать на слабую изученность фауны вдоль основного пути ее расселения.

В таблице приведены результаты расчетов с помощью упомянутой модели дефицита видов беломорской фауны атлантического происхождения на основе данных, приведенных зоологической литературе (Гурьянова, 1951; Колтун, 1959, 1966, 1967; Наумов, 1960; Fedyakov, Naumov, 1989; Gontar, Denisenko, 1989 и др.).

Дефицит видов беломорских беспозвоночных атлантического происхождения различных таксономических групп в % от теоретически ожидаемого

Группа	Встречено видов	Ожидается видов	Дефицит видов, %
Porifera	38	65.97	*42.40
Hydrozoa	48	57.03	15.83
Gammaroidea	51	47.92	–6.44
Gastropoda	31	34.90	11.16
Bivalvia	17	38.50	*55.84
Bryozoa	19	19.87	4.39
Echinodermata	8	20.96	*61.83

Примечание: тестирование нулевой гипотезы, гласящей, что меньшее число видов в Белом море обусловлено только удаленностью его от центра расселения, проводилось методом χ^2 ; достоверный дефицит видов отмечен звездочкой.

Как видно, статистически достоверный дефицит видов был обнаружен только для губок, двусторчатых моллюсков и иглокожих. Что же касается других исследованных групп, то, по-видимому, у нас нет оснований считать, что их беломорская фауна обладает отрицательными чертами. Таким образом, гипотеза К. М. Дерюгина (1928) получает статистическое подтверждение, по крайней мере, для некоторых таксонов. Для других же нулевая гипотеза не отвергается, так что и мне-

ние А. Е. Анцулевича (1991) об отсутствии отрицательных черт в фауне беломорских гидроидов не противоречит имеющимся данным.

Раз для некоторых таксонов наличие дефицита видов статистически доказано, то встает вопрос о механизмах, препятствующих обмену фаунами между Баренцевым и Белым морями, по крайней мере в пределах этих групп. Отрицательные черты беломорской фауны в тех группах, где они обнаружены, очень весомы: в среднем в них вдвое меньше видов атлантического происхождения, чем могло бы быть, если бы их расселению ничто не препятствовало. Следовательно, и барьер на пути их расселения должен быть достаточно серьезным.

Модель Пикколи–Сартори дает возможность косвенно проверить гипотезу о том, что изолирующий механизм локализован именно в Горле. В нее можно ввести временную составляющую, и попытаться выяснить, в какое время в группах, имеющих дефицит видов атлантического происхождения, число их перестало пополняться.

Трансформированная модель Пикколи–Сартори, представленная в линейной форме, имеет вид

$$\ln Si = \ln S_0 - DT/t_i L$$

где Si – число видов, заселивших водоем к i -тому промежутку времени; T – общее время существования водоема; t_i – i -тый промежуток времени.

Соответствующие расчеты показывают, что число видов иглокожих перестало пополняться около 6 тыс. лет назад, двустворчатых моллюсков – около 5 тыс. лет назад, а число губок – около 4 тыс. лет назад. Эти временные рамки приблизительно соответствуют климатическому оптимуму голоцена, на протяжении которого, по-видимому, окончательно сформировался гидрологический режим Горла (Наумов, 2006). Это косвенно подтверждает гипотезу К. М. Дерюгина, что фаунистический барьер расположен именно в этом проливе.

Обращает на себя внимание тот факт, что первыми на изменения гидродинамического режима отреагировали пассивные сестонофаги (голотурии и морские лилии), вторыми – инфаунные фильтраторы и детритофаги (двустворчатые моллюски), а в последнюю очередь – эпифаунные фильтраторы (губки). В этом же порядке убывает и численное значение наблюдаемого дефицита видов. Итак, с мнением К. М. Дерюгина (1928), полагавшего, что в роли изолирующего механизма выступает жесткий гидродинамический режим Горла следует согласиться и рассмотреть возможные механизмы этой изоляции.

Обратимся к его гипотезе о механическом уничтожении пелагических личинок турбулентными потоками. В онтогенезе приведенных в таблице групп донных животных только у бокоплавов нет пелагической стадии. В остальных группах ее имеют либо все, либо многие формы. Виды, обитающие в самом Горле, в большинстве случаев также имеют планктонных личинок. Следовательно, надо полагать, что эта гипотеза не обоснована.

С другой стороны в группах, преодолевающих фаунистический барьер Горла, преобладают виды, активно заглатывающие пищу, а в группах, где обнаружен достоверный дефицит видов, – сестонофаги и фильтраторы. Иголкожие, казалось бы, составляют исключение из этого правила, однако, если учесть, что число видов голотурий в Белом море по сравнению с Баренцевым снижено, а морские лилии вообще не встречаются южнее средней части Воронки, то и они из него не выпадают.

Таким образом, можно предполагать, что течения Горла оказываются слишком сильными для нормального питания пассивных сестонофагов и фильтраторов.

Подробный анализ причин дефицита видов в Белом море к настоящему времени проведен только на примере двустворчатых моллюсков (Наумов, 2006). По его данным из числа форм этой группы, обитающих в Горле, 70% обладает пелагическими личинками, в то время как во внутренних частях Белого моря их всего 50%, причем среди них достоверный дефицит видов не наблюдается ни в самом проливе, ни в южной части моря. В то же время, во внутренних частях моря детритофаги составляют 35% всей фауны Белого моря, а в Горле – всего 10. То же самое можно сказать и о формах, зарывающихся в мелкодисперсные осадки: во внутренних частях они представляют 70% всего видового списка двустворчатых моллюсков, в то время как в Горле их только 10%. Таким образом, формы, связанные с мягкими грунтами, представлены в Горле крайне скудно. Для внутренних частей Белого моря наблюдается совершенно иная картина.

Из этого следует, что другая возможная причина дефицита видов беломорской фауны заключается в том, что мощные течения Горла, препятствующие накоплению тонкодисперсных фракций в донных осадках, тем самым преграждают путь инфауне, в первую очередь детритофагам. Это положение К.М. Дерюгина, надо думать, остается в силе.

Скорее всего, воздействие условий Горла на различные группы организмов имеет избирательный характер, и преобладающий механизм изоляции для каждой из них индивидуален. Вполне вероятно, что, кроме приведенных выше объяснений, можно предложить и другие. Ясно одно: основной фаунистический барьер для вселения новых видов в Белое море действительно локализован в Горле, причем он *не* заключается в механическом уничтожении пелагических личинок. В то же время весьма слабое развитие в Горле илистых грунтов (Дерюгин, 1928; Луканин и др., 1995; Денисенко др., 2006; Наумов, 2006; Solyanko et al., 2012) говорит в пользу второй гипотезы К.М. Дерюгина. Имеющиеся данные дают возможность также заключить, что гидродинамический режим Горла избирательно воздействует на организмы с различным типом питания.

ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКОМ РАЗНООБРАЗИИ И ХОЗЯЙСТВЕННОМ ЗНАЧЕНИИ ИХТИОФАУНЫ ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ СОЛОВЕЦКОГО АРХИПЕЛАГА

А.П. Новоселов

*Северный филиал Федерального государственного унитарного предприятия
«Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства
и океанографии им. Н.М. Книповича», Архангельск, Россия, e-mail: novoselov@pinro.ru*

Соловецкий архипелаг расположен на стыке Онежского, Двинского заливов и Бассейна Белого моря, что обеспечивает благоприятный температурно-соленостный режим, высокий уровень первичной продукции и, как следствие, богатую кормовую базу для рыб на разных стадиях онтогенеза: от личинок до половозрелых особей. Большое разнообразие и высокая плотность макрофитов формируют благоприятные условия как для нагула, так и для нереста беломорских рыб (как промысловых, так и непомысловых), в том числе представляющих эндемичные формы (Гончаров, 2009; Строганов и др., 2012). Все это создает особую привлекательность прибрежной акватории островов Соловецкого архипелага для представителей различных групп ихтиофауны и определяет сложность, динамичность и сменяемость рыбного населения. Здесь представлены как местные «оседлые» группировки, мигранты из других акваторий бассейна и заливов Белого моря, так и мигранты из Баренцева моря (Алтухов и др., 1958; Паленичко, 1968). Это, с одной стороны, дает возможности изучения широкого спектра видов и локальных форм, а с другой – создает достаточно большие трудности идентификации отдельных группировок, степени их репродуктивной самостоятельности, особенностей миграционных циклов и т. д. (Строганов и др., 2012). Через акваторию Соловецкого архипелага проходят пути миграции основных промысловых рыб: сельди, трески, наваги, корюшки. Восточная и Западная Соловецкие Салмы являются местами нагула беломорской сельди, где она образует значительные скопления (Гончаров, 2009).

Начиная с первой половины 2000-х годов лабораторией морских рыб Северного филиала ФГУП «ПИНРО» ведутся мониторинговые исследования состояния и структуры морского прибрежного ихтиоценоза Соловецкого архипелага. Они включают изучение возможностей и совершенствования промысла традиционных видов рыб (сельди, трески, наваги, зубатки), оценку численности стада беломорской сельди, а также сбор биологических материалов по размерно-возрастному и половому составу, питанию и пищевым отношениям изучаемых видов (Гончаров, 2009).

По результатам проведенных исследований, в *систематическом отношении* ихтиофауна прибрежных вод представлена 12 видами рыб, достаточно равномерно распределенными по 9 семействам (Кирпичников, 1935; Андрияшев, 1954; Алтухов и др., 1958; Андрияшев, Чернова, 1994; Расс, 1995; Атлас пресноводных рыб, 2002).

Семейство Сельдевые – Clupeidae Cuvier, 1816

1. Сельдь беломорская – *Clupea pallasii marisalbi* Berg, 1923

(включая экологическую форму – соловецкую сельдь)

Семейство Корюшковые – Osmeridae Regan, 1913

2. Корюшка беломорская – *Osmeru sepperlanus dentex nation dvinensis* Smitt

Семейство Тресковые – Gadidae Rafinesque, 1810

3. Навага – *Eleginus nawaga* (Koelreuter, 1770)
4. Треска беломорская – *Gadus morhua marisalbi* (Derjugin, 1920)
Семейство Колюшковые – Gasterosteidae Bonaparte, 1832
5. Трехиглая колюшка – *Gasterosteus aculeatus* Linnaeus, 1758
Семейство Зубатковые – Anarhichadidae Linnaeus, 1758
6. Зубатка полосатая беломорская – *Anarhichas lupus marisalbi* (Barsukow, 1959)
Семейство Песчанковые – Ammodytidae Linnaeus, 1758
7. Европейская песчанка – *Ammodytes hexapteru smarinus* (Raitt, 1934)
Семейство Керчаковые – Cottidae Bonaparte, 1832
8. Европейский керчак – *Myoxocephalus scorpius scorpius* (Linnaeus, 1758)
9. Остроносый тригlops – *Triglops pingelii* Reinhardt, 1831
Семейство Пинагоровые – Cyclopteridae
10. Пинагор – *Cyclopterus lumpus* Linnaeus, 1758
Семейство Камбаловые – Pleuronectidae Rafinesque, 1815
11. Полярная камбала – *Liopsetta glacialis* (Pallas, 1776)
12. Речная камбала – *Platichthys flesus flesus* (Linnaeus, 1758)

Семейства *тресковых* (навага и беломорская треска), *рогатковых* (европейский керчак и остроносый тригlops) и *камбаловых* (полярная и речная камбалы) включают по 2 вида (по 16,7%). По 1 виду (8,3%) входят в семейства *сельдевых* (беломорская сельдь и ее местная экологическая форма соловецкая сельдь), *корюшковых* (азиатская корюшка), *колюшковых* (3-иглая колюшка), *зубатковых* (полосатая беломорская зубатка), *песчанковых* (европейская песчанка) и *пинагоровых* (пинагор).

Согласно классификации А.П. Андрияшева и Н.В.Черновой (1994), всех рыб, встречающихся в прибрежных водах Соловецкого архипелага можно отнести к 5 **морским фаунистическим комплексам**. В видовом отношении наибольшее число видов (5 или 41,7%) относится к преимущественно *бореальному* фаунистическому комплексу (рис. 1). Он представлен беломорской треской, речной камбалой, пинагором, а также европейским керчаком и европейской песчанкой.

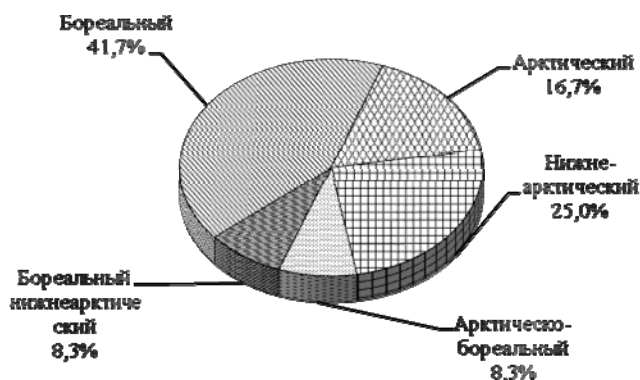


Рис. 1. Распределение прибрежной морской ихтиофауны Соловецкого архипелага по фаунистическим комплексам

В несколько меньшем количестве (3 вида или 25,0%) представлен *нижне-арктический* комплекс. Он включает беломорскую сельдь, азиатскую зубастую корюшку и полосатую беломорскую зубатку. Двумя видами рыб (16,7%), а именно навагой и полярной камбалой представлен *арктический фаунистический* комплекс. По одному виду (по 8,3%) входят в *арктическо-бореальный* (остроносый триглос) и *бореальный ниже-арктический* (3-иглая колюшка) морские фаунистические комплексы (рис. 1).

По *экологическому статусу* все виды рыб, обитающие в прибрежной зоне Соловецких островов, распределены достаточно равномерно (рис. 2). Большинство из них (5 видов или 41,7%) ведут *донный* образ жизни. Это полярная и речная камбалы, европейские песчанка и керчак, а также остроносый триглос. Такой же многочисленной группой (4 вида или 33,3%) представлены *придонно-пелагические* виды, а именно беломорская треска, навага, зубатка и пинагор. В несколько меньшем количестве (3 или 25,0%) в составе ихтиофауны отмечены *нерито-пелагические* виды, к которым относятся беломорская сельдь, азиатская корюшка и 3-иглая колюшка.

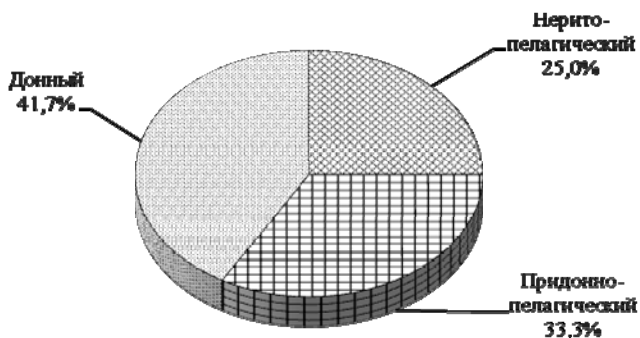


Рис. 2. Распределение прибрежной морской ихтиофауны Соловецкого архипелага по экологическому статусу

В *хозяйственном отношении* все виды рыб, обитающие в прибрежных водах Соловецкого архипелага, могут быть отнесены к следующим категориям, отмеченным в составе ихтиофауны в равных долях

К *ценным промысловым рыбам*, имеющим повышенный спрос в силу высоких потребительских качеств, относится прежде всего беломорская сельдь, азиатская корюшка, беломорская треска и навага. В уловах в летний период в прибрежной зоне архипелага доминирующим видом является именно сельдь, при этом наибольший гастрономический интерес представляет так называемая «соловецкая» сельдь. Это экологическая форма, отличающаяся крупными размерами и массой тела (до 700 г), ускоренным темпом весового и линейного роста, более продолжительным жизненным циклом, поздними сроками созревания, а также хищным характером питания. Следующими по промысловому значению видами являются треска и навага. Вышеуказанные виды рыб и являются основными промысловыми представителями ихтиофауны, составляющими основу местного прибрежного промысла, в основном местного населения.

Второстепенные промысловые рыбы – полярная и речная камбала, зубатка и пинагор не являются объектами специализированного промысла на Соловках, но активно используются в качестве прилова. Основные места обитания и нереста зубатки и пинагора практически совпадают, при этом наибольшая их концентрация приходится на западную часть бассейна Соловецкого архипелага. Этот район, включая о-ва Кузова и Конюховую губу, можно считать наиболее перспективным для организации лицензированного удебного лова трески и зубатки в рекреационных целях (Фукс, Гончаров, 2005).

Непромысловые виды – трехиглая колюшка, европейский керчак, европейская песчанка и остроносый триглопс потребительского интереса не представляют, но определяют в целом видовое разнообразие ихтиофауны прибрежной акватории Соловецкого архипелага. Значение песчанки и колюшки в ихтиоценозе рассматриваемого района заключается в том, что они являются значительным кормовым ресурсом для ценных промысловых видов, таких как сельдь и беломорская треска. Отмечались случаи, когда желудки крупных соловецких сельдей часто были набиты исключительно песчанкой.

Следует отметить, что в составе прибрежной ихтиофауны Соловецкого архипелага нет видов рыб, сокращающих свой ареал и находящихся на грани исчезновения. В целом, информация о видовых списках рыб, их систематике, принадлежности к фаунистическим комплексам, экологии и распространении может быть использована при разработке общероссийских и региональных программ по изучению и сохранению биологического разнообразия в северных водоемах России.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТВОРЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В БЕЛОМ МОРЕ

А.К. Павлов¹, А.В. Семушин², М. Гранско³, К. Стедмон⁴,
В.В. Явловская⁵, Т. Мартма⁶

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт», Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: pavlov.alexey.k@gmail.com;

² Северный филиал Федерального государственного унитарного предприятия «Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича», Архангельск, Россия;

³ Норвежский полярный институт, Тромсе, Норвегия;

⁴ Датский технический университет, Шарлоттенлунд, Дания;

⁵ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский государственный гидрометеорологический университет», Санкт-Петербург, Россия;

⁶ Таллиннский технологический университет, Таллинн, Эстония

В настоящее время Арктика претерпевает значительные трансформации, связанные с изменением климата. Наиболее выраженные изменения связаны с уменьшением ледового покрова (Serreze et al. 2003), таянием вечной мерзлоты (Osterkamp & Romanovsky 1999; Walvoord & Striegl 2007), повышением темпов береговой эрозии (Lantuit et al. 2011) и пресноводного сброса в Северный Ледовитый океан (Peterson et al 2002). Эти процессы имеют большое значение для регионального и глобального круговорота углерода.

Окрашенное растворенное органическое вещество (CDOM, «желтое вещество») является оптически активной долей растворенного органического вещества (DOM) и играет ключевую роль в биогеохимии и физике поверхностных вод Северного Ледовитого океана. Благодаря своей высокой значимости, свойства и динамика CDOM были изучены в непосредственной близости от всех основных рек Арктики в течение последнего десятилетия (Stedmon et al. 2011). В то же время, Белое море является последним из арктических морей, где свойства CDOM не изучены в достаточной мере. Все предыдущие исследования органического вещества в Белом море были выполнены не в соответствии с последними методологическими стандартами и не могут быть объективно сравнимы с современными исследованиями.

В 2012 г. основной целью исследования было количественное описание свойств CDOM, сезонной динамики и пространственного распределения в устьях двух крупных рек, впадающих в Белое море – Онеги и Северной Двины. Предварительный анализ результатов свидетельствует о том, что содержание «желтого вещества» в водах р. Онеги и Северной Двины, оцененное на основе спектрофотометрических измерений, сравнимо с другими крупными арктическими реками; значения показателей поглощения «желтым веществом» достигали 27–28 м⁻¹ на длине волны 375 нм (рис. 1 и 2). Также наблюдалась сезонная изменчивость в динамике содержания «желтого вещества». В дельте Северной Двины, максимальное содержание «желтого вещества» наблюдалось в весенний период, в то время как, в устье Онеги наблюдались пики его содержания наблюдались как в весенний, так и осенний период. В течение лета и осени наибольшее поглощение

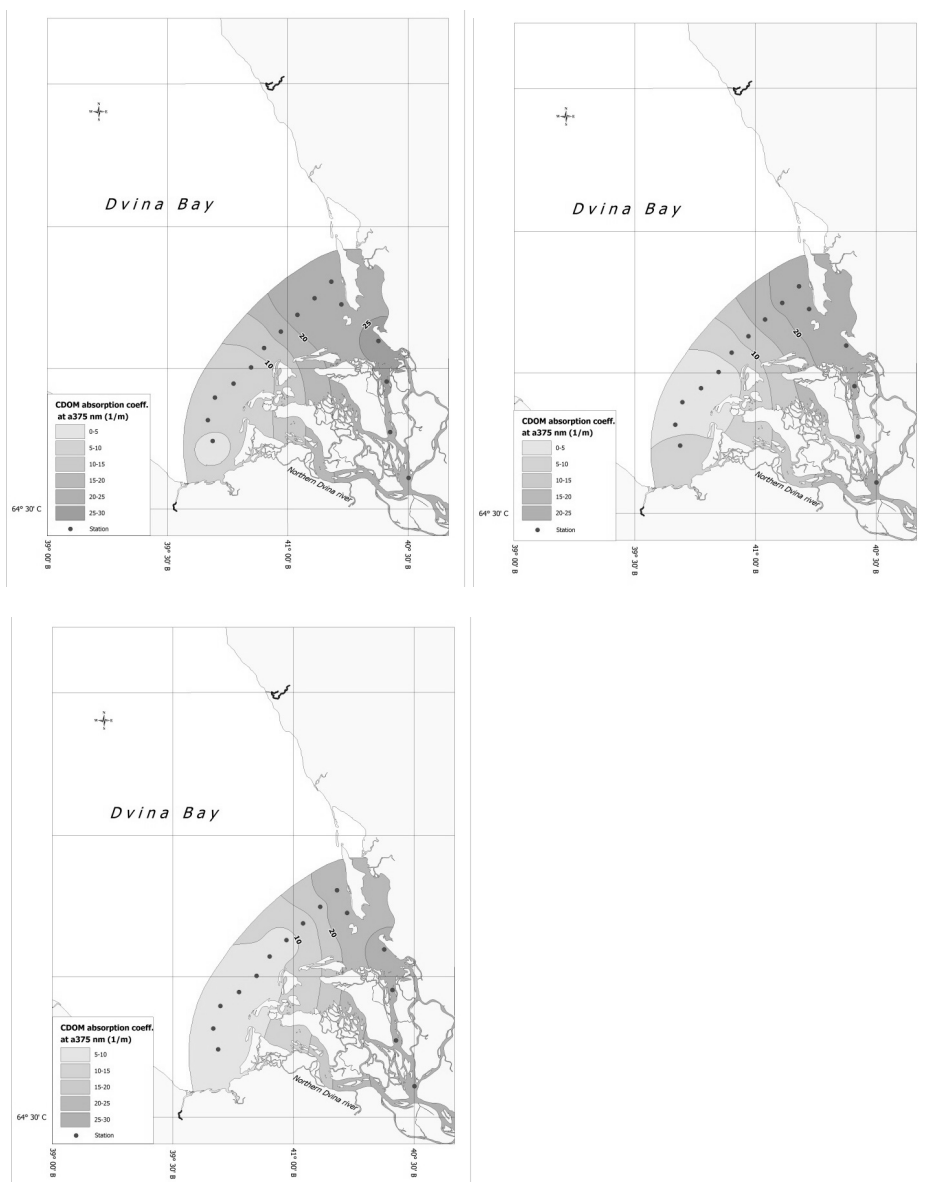


Рис. 1. Распределение величины коэффициента поглощения CDOM при длине волны 375 нм в устьевой части р. Северная Двина в различные сезоны, слева направо: июнь, август и ноябрь 2012 г.

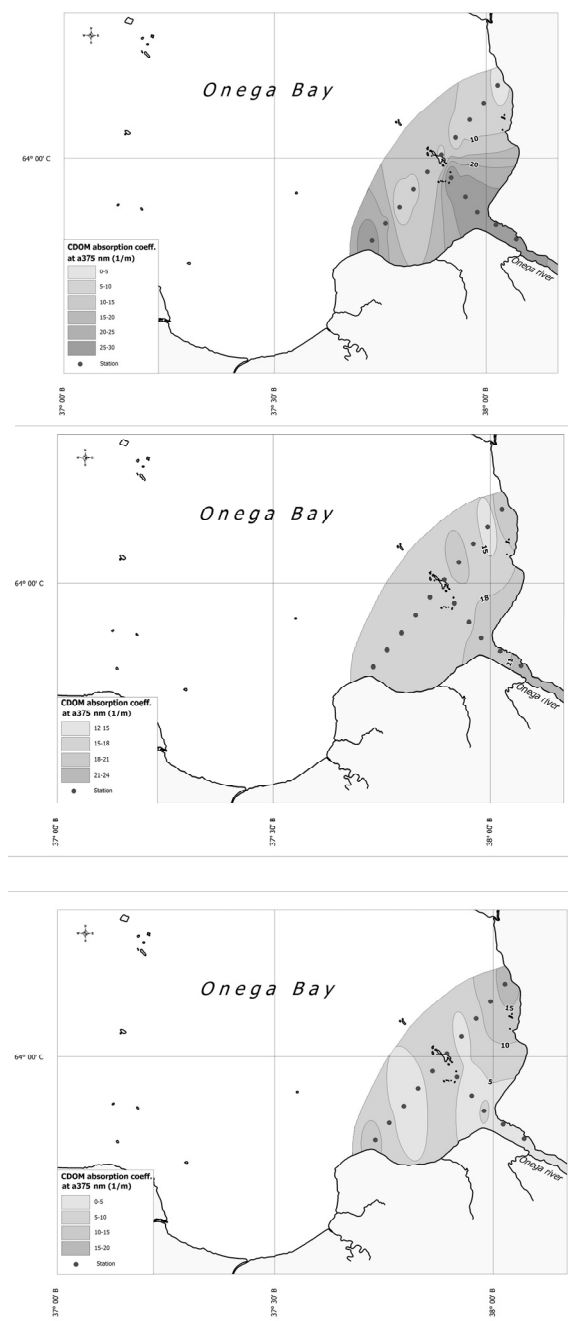


Рис. 2. Распределение величины коэффициента поглощения CDOM при длине волны 375 нм в устьевой части р. Онега в различные сезоны, сверху вниз: июнь, 3 декада июля и октября 2012 г.

«желтым веществом» наблюдалось в устье Северной Двины. Наименьшие значения наклона спектров поглощения наблюдались в весенний период, что соответствует «устойчивому к разложению» органическому веществу, в то время как в летний и осенний период наблюдались наибольшие значения наклона спектров, что соответствует «свежему» органическому веществу образовавшегося на водосборе в течение вегетационного сезона. Совместные анализ оптических свойств «желтого вещества» и солёности воды указывает на четко выраженное доминирование органического вещества континентального происхождения в эстуариях обеих рек.

Работы выполнялись как отечественными, так и зарубежными специалистами при сотрудничестве Северного Филиала ФГУП ПИНРО, Арктического и антарктического НИИ, Норвежского Полярного Института, Датского Технического Университета, Российского государственного гидрометеорологического университета, и Таллинского Технического Университета, и при поддержке Лаборатории полярных и морских исследований им. Отто Юльевича Шмидта (ОШЛ). Дальнейшие исследования планируются в 2013 и 2014 гг.

БИОТОПИЧЕСКАЯ СИСТЕМА БЕЛОГО МОРЯ

А.Н. Пантюлин

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», Москва, Россия, e-mail: apantiulin@newmail.ru

1. Предлагается взглянуть на Белое море как на систему водных биотопов различного конструктивного ранга. Опыт применения биотопического подхода в мореведении отсутствует. В океанологии его наиболее совершенная реализация принадлежит К.В. Беклемишеву (1969), давшему характеристику биотопических комплексов пелагиали океана. Настоящее исследование есть, в некотором смысле, продолжение и, в большей степени, развитие и адаптация идей и подходов, зародившихся в эпоху океанических исследований.

2. Белое море – идеальный объект для экологических исследований. Биота моря хорошо изучена, и ее интенсивное изучение продолжается. За последние два десятилетия произошел бурный прогресс исследований абиотических компонентов экосистемы моря. Достаточно упомянуть обширную программу «Система Белого моря», выполненную ИО РАН и другими институтами под руководством А. П. Лисицына. В результате складывается ситуация баланса уровней изученности биотических и абиотических частей экосистемы, исключительно благоприятная для продвижения междисциплинарных исследований.

3. Переход от традиционного гидрологического описания моря к биотопическому предполагает определение функциональной роли тех или иных структурных и динамических факторов и процессов. Обеспечивают они локализацию, устойчивое существование биотопа или работают на транзит, смешение и разрушение водного тела. Для маленького и очень динамичного Белого моря важной проблемой является выбор оптимальных координатных систем при описании биотопов. Это, прежде всего, широкое применение океанографических координат в разных вариантах вместо привычных географических. Также важно правильно оперировать и системами времени.

4. Форма и внутренняя структура водного тела Белого моря детерминируются различными группами факторов или матрицами. Снизу – тектонической, ледниковой и осадочной; сверху – климатической и гидрологической; насквозь водное тело пронизывает приливная матрица. Вместо частных матриц вводятся две интегральные матрицы: эстуарная и водных масс.

5. Потребовалась серьезная адаптация понятий эстуария и водной массы прежде, чем применять их в Белом море. **Эстуарий** (или эстуарная ситуация) возникает там, где есть две разнородные воды, которые в пределах некоторой акватории (топоса) взаимодействуют (смешиваются) при активном участии приливной энергии. Важнейший гидрологический признак эстуария заключается в определенном сочетании структуры вод и характера их движения. В эстуарии генеральное движение (приливного и градиентного генезиса) происходит в направлении градиентов плотности, тогда как в океане (море, шельфе) течения направлены поперек градиентов. Следуя этому критерию, получается, что море в целом тоже эстуарий, где течения направлены повсеместно поперек фронтальных зон.

6. **Водные массы** – фундаментальная идея, субстанция океанологии как самостоятельной науки. Вводится всемасштабность, иерархичность и многообразие водных масс. Важнейшее свойство – относительность водных масс и условность выделения их границ.

7. Белое море представляется как иерархическая эстуарная система, включающая четыре размерных диапазона эстуариев. Белое море, в то же время, – эстуарная система, включающая 4 залива – эстуария.

Мезенский залив – широкий эстуарий без стратификации с экстремально сильными приливами.

Двинский залив – широкий стратифицированный эстуарий с максимальным опреснением.

Онежский залив – широкий эстуарий с мозаичной структурой рельефа дна, расположения островов, интенсивности приливов, стратификации вод.

Кандалакшский залив – широкий эстуарий с распределенным речным стоком и изрезанной береговой линией.

Кандалакшский залив – одновременно есть эстуарная система, включающая цепь распределенных по побережью залива губ – эстуариев (около 40) меньшего размера. Это категория типичных эстуариев с размерным диапазоном 1–35 км.

В их числе есть несколько эстуариев, имеющих сложное строение – это также эстуарные системы следующего уровня. К ним относятся: Ругозерская губа + Великая Салма, Чупа+Кереть, Порья губа.

Минимальный уровень иерархии составляют микро – эстуарии с размерным диапазоном 0,01–0,5 км. Это литоральные водоемы (заливы-фестоны, лужи), а также широкий спектр отделяющихся (в связи с подъемом берегов Кандалакшского залива) водоемов.

Итак, выделяются 4 категории эстуариев:

- * макро – эстуарий (море), количество – 1, размер: 500 км;
- * мезо – эстуарии (заливы), количество – 4, размер: 100 км;
- * типичные эстуарии, количество – 40, размер: 1 – 35 км;
- * микро – эстуарии, количество – 500, размер: 0,01 – 0,5 км.

8. Эстуарная система Белого моря обладает выраженными чертами **масштабного самоподобия (фрактальности)**.

Геометрическое подобие: неубывающая сложность строения эстуарных систем разных уровней и повторяющиеся на нескольких масштабах формы эстуариев (фьорд, монотонный или ступенчатый рельеф дна, шхеры, лагуна).

Факторное подобие: определяющие факторы (разнородные водные массы, акватория взаимодействия и источники энергии взаимодействия) встречаются на всех масштабах.

Структурное подобие: повторяющиеся структурные элементы (перемешанные зоны, стратификации, фронты).

Динамическое подобие: на всех масштабах сочетания течений приливного и градиентного генезиса, подобие динамических элементов (круговоротов, противотечений, конвергенций, растекания струй).

Функциональное подобие: повторяющееся взаимодействие водных масс в разных морфометрических условиях на потоке приливной энергии переменной интенсивности обуславливает повторяемость биотопических комбинаций в эстуарной иерархии Белого моря.

9. Различаются три масштабных категории водных масс: макро-масштабные, мезо-масштабные и микро-масштабные. Первые распространены на акваториях, сравнимых с площадью моря, вторые имеют горизонтальный масштаб порядка 10 км, третьи – менее 1 км. Структура водных масс, выделяемая в той или иной части моря, не является абсолютной и детерминируется, во-первых, задачей, для которой предназначена структура, во-вторых, степенью детализации, в-третьих, изменчивостью структуры, сезонной и межгодовой. Так, например, в вертикальной структуре глубоководной части Белого моря возможно выделение от двух до шести водных масс.

10. Особую группу биотопов Белого моря составляют водные массы котловин, которые можно классифицировать по диапазонам глубин, механизмам обновления вод и характеру трансформации свойств водных масс. По глубинам выделяются четыре группы: главная котловина моря (макс. Глубина 350 м), котловины с диапазонами глубин: 50-100 м, 10-50 м, менее 10 м. Механизмы обновления: конвективный и адвективный. Режим обновления: раз в год или чаще. Адвекция через порог может быть с перемешиванием или без перемешивания слоев. Характер трансформации: от ее отсутствия в сезонном (и даже в многолетнем плане) до значительной трансформации всех характеристик или только некоторых.

ЭКОЛОГИЯ И ЧИСЛЕННОСТЬ ЛИЧИНОК КОРЮШКИ В ВЕРШИННОЙ ЧАСТИ ДВИНСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

Л.В. Парухина

Северный филиал Федерального государственного унитарного предприятия «Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича», Архангельск, Россия, e-mail: paruhina@pinro.ru

Весной в Белом море на приустьевых участках крупных рек и небольших речек встречаются личинки азиатской корюшки *Osmerus mordax dentex*. Они попадают сюда на ранних стадиях, скатываясь с нерестилищ, расположенных выше по течению, и вскоре приступают к активному откорму. Существующие в литературе сведения об этом этапе жизни корюшки в условиях Белого моря немногочисленны, тогда как этот вид здесь широко распространен, особенно в прибрежной части моря. По объемам вылова корюшку относят ко второстепенным промысловым объектам, однако в структуре любительского рыболовства она занимает одно из ведущих мест, особенно в последние годы (Шерстков, Семушин, 2012).

В данной работе представлен материал по встречаемости личинок азиатской корюшки, полученный в ходе наблюдений за ихтиопланктоном вершинной части Двинского залива (губа Яндова) в период 2004–2012 гг. Съёмки выполнялись ежегодно во второй половине июня–первой декаде июля на пяти станциях, обычно в 2–3 тура, на небольших глубинах от 1,5 до 3,0 м, местами до 5,5 м. Отбор проб производился методом циркуляции в поверхностном слое воды малой икорной сетью ИКС-50. Численность дана на 100 м³, а частота встречаемости – как процент проб, в которых отмечались личинки.

Исследования показали, что личинки корюшки в Яндовой губе являются постоянным компонентом ихтиопланктона, но их численность подвержена значительным межгодовым колебаниям. Наиболее высокие концентрации личинок отмечались в 2004–2006 и 2010 г. Особенно выделялся 2004 г., когда в первых числах июля показатели численности доходили на отдельных станциях до 1466 экз./100 м³, а частота встречаемости составила 100% (рис. 1). Такие относительно плотные концентрации в последующие годы не наблюдались: в 2006 г. наибольшие значения численности составляли 130 экз./100 м³, а в 2005 г. – 89 экз./100 м³, частота встречаемости – 67 и 50% соответственно. В 2007 г. личинки корюшки содержались лишь в 10% отобранных проб, а их численность была одной из самых низких за весь период наблюдений – не более 2 экз./100 м³.

В 2008 г. максимальное количество личинок в губе увеличилось до 41 экз./100 м³ при встречаемости 47%. В 2009 г. они отмечались в меньших концентрациях – до 32 экз./100 м³, но были широко распространены в районе исследований (встречаемость 78%). По данным съёмки 2010 г., численность личинок корюшки в Яндовой губе возросла и составила максимально 92 экз./100 м³. При этом частота их встречаемости оставалась сравнительно высокой – 73%. Картина, полученная в 2011 г., значительно отличалась от предшествующего года: личинки встречались здесь в очень малых количествах – до 7 экз./100 м³, хотя и довольно часто (до 60% по частоте встречаемости). В 2012 г. ситуация в целом оказалась сходна с малочисленным 2007 г. – отмечались лишь единичные личинки до 2 экз./100 м³ с частотой встречаемости 40%.

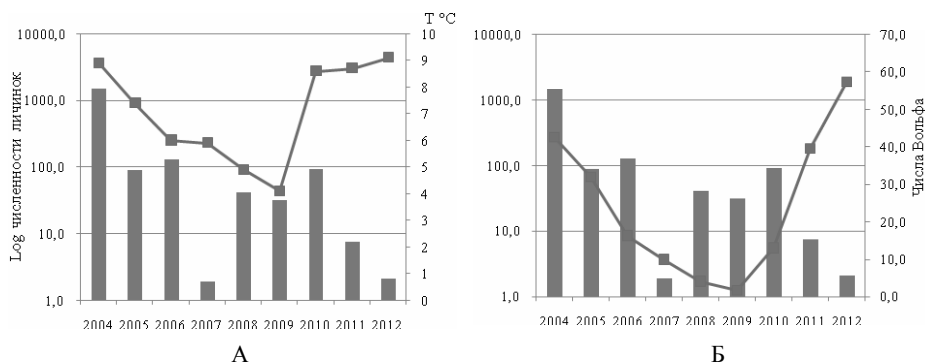


Рис. 1. Динамика численности личинок корюшки в вершинной части Двинского залива в 2004–2012 гг. и средняя температура воды в мае–июне (А); солнечная активность (Б)

Сопоставляя численность личинок со средней температурой воды в мае–июне (период наиболее активного эмбрионального и раннего личиночного развития корюшки), можно наблюдать определенную связь этих показателей, однако это относится не ко всем годам наблюдений (рис. 1А). Так, в 2006, 2008 и 2009 г. при температуре воды ниже среднемноголетних значений, личинки корюшки встречались в районе исследований довольно часто. В 2011 и 2012 г. отмечались лишь единичные личинки, тогда как температура была много выше среднемноголетней. Известно, что температурный режим в значительной степени определяет сроки нереста и появления личинок. Интенсивный и ранний прогрев способствует раннему выклеву, быстрому росту личинок и их переходу к активным движениям. Возможно, это явилось одной из причин их низкой численности в 2011 и 2012 г., когда к моменту выполнения съемки в составе ихтиопланктона оставались лишь немногочисленные экземпляры позднего выклева.

Также слабоположительной оказалась связь численности личинок корюшки и солнечной активности, выраженной числами Вольфа. Как видно на рисунке 2Б, эти показатели заметно расходятся в 2008–2009 гг. и, более заметно – в 2011–2012 гг. Взаимосвязь этих величин носит, вероятно, опосредованный характер. Кроме того, поскольку личинки корюшки выклеваются из икры в реке, большую роль в их выживаемости играют условия, сложившиеся в районе нерестилищ, а также во время ската в сторону моря, когда возможна гибель большого количества личинок от механических повреждений и резкой смены условий существования. Следует отметить, что для вершинной части Двинского залива и, в частности, Яндовой губы, характерна большая изменчивость гидрологических параметров. Этот район Белого моря находится под значительным влиянием вод, поступающих из р. Северная Двина, колебаний уровня моря, в том числе в результате приливных явлений, особенностей ветрового режима. В весенне-летний период температура воды здесь может довольно существенно меняться в короткие сроки.

Как было установлено рядом авторов, личинки азиатской корюшки выклеваются при длине от 5 мм, иногда чуть меньше (Соин, Унанян, 1963; Алтухов, Ерастова, 1974; Шадрин, 1988), а наиболее активный рост, по данным М.В. Балагуровой (1957), приходится на август–сентябрь. В наших материалах на протяже-

нии всего периода работ встречались личинки длиной от 4,6 до 23,0 мм. По размерному составу сильно выделяется 2010 г., когда вылавливалась самая крупная молодь (рис. 2А).

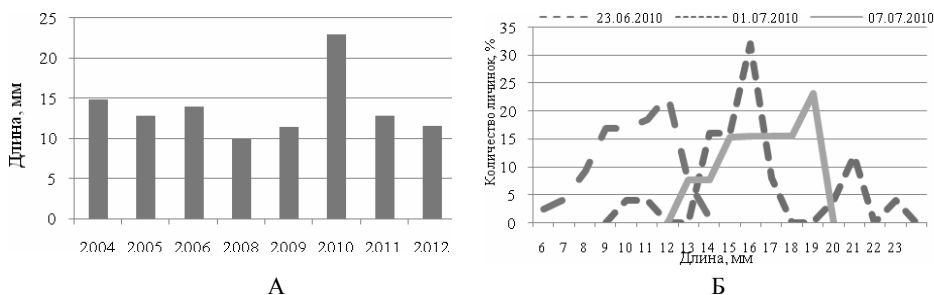


Рис. 2. Максимальная длина личинок корюшки в Двинском заливе Белого моря в 2004–2012 гг. (А)* и размерный состав в 2010 г. (Б), n = 156. * 2007 г. не включен из-за малочисленности материала

Уже к 23 июня у половины, а к 1 июля – у всех исследованных особей длина тела превысила 10,0 мм. Кроме того, 1 июля около 20% личинок выросли более 20,0 мм длиной, что происходит обычно лишь в третьей декаде июля (рис. 2Б).

Подобная скорость роста, наряду с относительно высокой численностью, может свидетельствовать о раннем нересте и благоприятных условиях, сложившихся в 2010 г. для развития молоди корюшки в вершинной части Двинского залива. Температура воды в мае–июне этого года была выше среднегодовых значений после «холодных» 2008–2009 гг. В эти годы рост личинок шел невысокими темпами: в 2008 г. не было встречено ни одной особи более 10 мм длиной. В 2009 г. ситуация была значительно лучше – около 21% личинок превысили этот показатель. Сравнительно крупные личинки встречались в губе в 2004 и 2006 г., до 14,8 и 14,0 мм соответственно. Несколько мельче, до 12,8 мм – в 2005 и 2011 г. Однако доля крупных особей, как правило, была невысока, в большинстве случаев основу численности составляли небольшие личинки длиной до 10,0 мм.

Присутствие в составе ихтиопланктона личинок широкого размерного ряда, когда наряду с мелкими особями встречаются подростки, определяется особенностями размножения корюшки. В зависимости от района моря и ряда других факторов, у этого вида может наблюдаться несколько нерестовых ходов, чаще всего их бывает два, и довольно продолжительный период нереста. В связи с этим в ихтиопланктоне периодически появляются мелкие личинки, выклюнувшиеся из икринок, отложенных в разное время и на разном расстоянии от устья реки. Такая стратегия размножения увеличивает шансы личинок на выживание. Появление очередной порции мелких личинок хорошо видно на рисунке 3, отражающем динамику размерного состава в 2005 г.

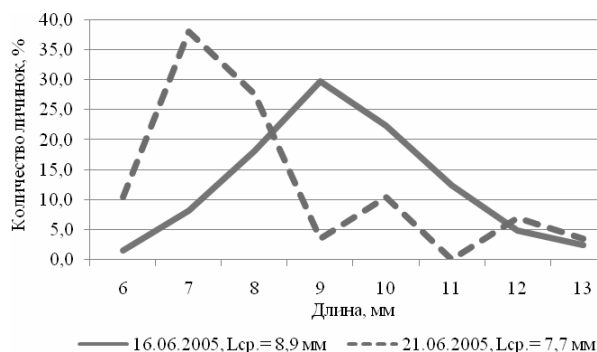


Рис. 3. Размерный состав личинок корюшки в Двинском заливе
Белого моря в 2005 г., n=150

Проведенное исследование показало, что в вершинной части Двинского залива личинки азиатской корюшки встречаются ежегодно, однако их численность сильно меняется по годам. Наибольшее ее значение было зарегистрировано в 2004 г. и составило 1466 экз./100 м³. Связь этого показателя со средней температурой воды в мае–июне, а также с уровнем солнечной активности оказалось слабой. Вероятно, здесь играет роль целый комплекс гидрометеорологических условий. Кроме того, выживаемости личинок корюшки, а, следовательно, их численность на морских участках в значительной степени определяется успешным скатом. По обобщенным данным, здесь встречаются личинки длиной от 4,6 до 23,0 мм, при этом основную массу составляют особи 7,0–12,0 мм. В отдельные годы при благоприятных условиях рост личинок может происходить быстрыми темпами, как это наблюдалось в 2010 г.

КАЧЕСТВО ВОДЫ ЛОСОСЕВЫХ РЕК БАСЕЙНА БЕЛОГО МОРЯ (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)

Н.Ф. Плотицына, А.Ю. Жилин

Федеральное государственное унитарное предприятие «Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича», Мурманск, Россия, e-mail: nplotits@pinro.ru

В августе 2012 г. были отобраны пробы воды в устьях лососевых рек Мурманской области Пулоньга, Лиходеевка, Бабья и Глубокая (бассейн Белого моря). Определение показателей качества воды лососевых рек выполнено в лаборатории прикладной экологии и токсикологии ФГУП «ПИНРО», аккредитованной в системе аккредитации аналитических лабораторий на техническую компетентность и независимость (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.518450).

Водородный показатель (pH) определялся на портативном pH-метре фирмы «HANNA Instruments», модель «PICCOLO» plus (Германия), биогенные элементы – на фотоэлектроколориметре КФК-2МП (Россия), хлориды, биохимическое потребление кислорода за 5 суток (БПК₅), перманганатная окисляемость, щелочность и жесткость – титрованием.

Нефтепродукты (*n*-парафины) C₁₀–C₃₁ определялись методом капиллярной газовой хроматографии на газовом хроматографе «Shimadzu» – GC-2010A (Япония) с пламенно-ионизационным детектором и капиллярной кварцевой колонкой длиной 50 м. Количественная концентрация алифатических углеводородов рассчитывалась с использованием калибровки по флотскому мазуту марки Ф-5. Качественная идентификация проводилась с использованием смеси индивидуальных *n*-парафинов фирмы «Sigma-Aldrich» (США).

Полициклические ароматические углеводороды, 19 соединений – нафталин, 2-метилнафталин, 1-метилнафталин, аценафтилен, аценафтен, флуорен, фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, бенз(а)антрацен, хризен, бенз(б)флуорантен, бенз(к)флуорантен, бенз(а)пирен, перилен, индено(1,2,3-*cd*)пирен, дибенз(а, *h*)антрацен, бенз(*g, h, i*)перилен, определялись методом хромато-масс-спектрометрии с использованием хромато-масс-спектрометрической системы «Agilent» 6890N/5973 (США) с кварцевой капиллярной колонкой HP-5 MS длиной 30 м. Идентификация индивидуальных соединений выполнялась в режиме SIM (Метод выбранных ионов). Количественное определение проводилось с использованием многоуровневой (многоточечной) калибровки тестовыми смесями, приготовленными из сертифицированных кристаллических ПАУ фирмы «Sigma-Aldrich» (США). Для автоматической обработки результатов анализа применялась программа «ChemStation» фирмы «Agilent».

Хлорорганические пестициды (α -, β -, γ -гексахлорциклогексан, гексахлорбензол, ДДТ и его метаболиты) и полихлорбифенилы (конгенеры с номерами по номенклатуре IUPAC: 28, 31, 52, 99, 101, 105, 118, 138, 153, 156, 180, 187) определялись методом газовой хромато-масс-спектрометрии на хромато-масс-спектрометре GCMS-QP2010 Plus фирмы «Shimadzu» (Япония) с капиллярной кварцевой колонкой HP-5 MS длиной 30 м. Идентификация индивидуальных соединений проводилась в режиме SIM (Метод выбранных ионов). Количественное определение выполнялось с использованием многоуровневой калибровки тестовыми смесями,

приготовленными из сертифицированных кристаллических пестицидов и полихлорбифенилов фирмы «Sigma-Aldrich» (США). Для автоматической обработки результатов анализа применялась программа «GCMSsolution 2.5» фирмы «Shimadzu».

Микроэлементы (Cu, Zn, Ni, Cr, Mn, Co, Fe, Pb, Cd, As, Hg) определялись на атомно-абсорбционном спектрофотометре фирмы «Shimadzu», модель AA-6800 (Япония), методами пламенной и непламенной атомно-абсорбционной спектрофотометрии с использованием многоуровневой калибровки тестовыми смесями, приготовленными из аттестованных стандартных растворов микроэлементов фирмы «Shimadzu».

**Характеристика качества воды рек Пулоньга, Лиходеевка, Бабья, Глубокая
(август 2012 г.)**

№ п/п	Определяемые показатели	Результат	ПДК _{р/х}
1	Водородный показатель, ед. pH	6,5 – 6,8	6,5–8,5
2	Хлориды, мг/л	6,56 – 10,5	300,0
3	БПК ₅ , мг O ₂ /л	0,26 – 1,56	2,0
4	Окисляемость перманганатная, мг O ₂ /л	23,0 – 38,0	–
5	Фосфор фосфатный, мг P/л	0,003 – 0,005	0,05
6	Азот аммонийный, мг N/л	<0,02	0,39
7	Азот нитритный, мг N/л	0,003 – 0,004	0,02
8	Щелочность общая, мг/л	11,9 – 16,7	–
9	Жесткость общая, мг-экв./л	0,290 – 0,390	–
10	Медь, мг/л	0,0006 – 0,001	0,001
11	Цинк, мг/л	0,003 – 0,004	0,01
12	Никель, мг/л	0,0002 – 0,0005	0,01
13	Хром, мг/л	0,0002 – 0,0003	0,02
14	Марганец, мг/л	0,0006 – 0,003	0,01
15	Железо общее, мг/л	0,02 – 0,08	0,1
16	Кобальт, мг/л	0,0001 – 0,0003	0,01
17	Свинец, мг/л	0,0001 – 0,0004	0,006
18	Кадмий, мг/л	0,00002 – 0,0001	0,005
19	Ртуть, мкг/л	0,004 – 00,009	0,01
20	Мышьяк, мг/л	0,00001 – 0,0001	0,05
21	Нефтепродукты, мг/л	0,0004 – 0,005	0,05
22	Нафталин, мг/л	0,00002 – 0,0001	0,004
23	Σ ПАУ, нг/л	57 – 285	–
24	Σ ГХЦГ, нг/л	2,4 – 7,9	10,0
25	Гексахлорбензол, нг/л	0,92 – 1,1	10,0
26	Σ ДДТ, нг/л	0,57 – 2,1	10,0
27	Σ ПХБ, нг/л	2,0 – 7,3	10,0

Примечания:

1 n.d. – ниже предела обнаружения применяемого метода анализа.

2 Σ ПАУ – суммарная концентрация полициклических ароматических углеводородов (19 соединений).

3 Σ ГХЦГ – суммарная концентрация α-, β и γ- изомеров гексахлорциклогексана.

4 Σ ДДТ – суммарная концентрация метаболитов о,р'- ДДЕ, р,р'- ДДЕ, о,р'- ДДД, р,р'- ДДД, о,р'- ДДТ, р,р'- ДДТ.

5 Σ ПХБ – суммарная концентрация конгенеров полихлорбифенилов с номерами по номенклатуре ИУРАС: 28, 31, 52, 99, 101, 105, 118, 138, 153, 156, 180, 187.

Качество аналитических работ оценивалось при участии лаборатории ФГУП «ПИНРО» в интеркалибровках с лабораториями норвежских институтов NIVA,

Akvaplan-niva, NILU, а также Всероссийского НИИ метрологии им. Д.И. Менделеева (ВНИИМ), Санкт-Петербургского научно-исследовательского центра экологической безопасности РАН, ГУ НПО «Тайфун» Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды РФ (г. Обнинск).

Результаты определения качества воды исследованных лососевых рек представлены в таблице. Критериями служили предельно допустимые концентрации (ПДК_{р/х}) вредных веществ в воде водных объектов рыбохозяйственного назначения.

В соответствии с ГОСТ 17.1.2.04-77 качество воды рыбохозяйственных водных объектов характеризуется следующими показателями:

- трофо-сапробностью;
- соленостью и жесткостью;
- водородным показателем (рН);
- вредными веществами.

Водородный показатель (рН) в воде исследованных рек соответствовал рыбохозяйственным требованиям, вода маломинерализованная, очень мягкая, так как основное питание рек осуществляется болотными водами, в меньшей степени – дождями. По таким трофо-сапробным показателям как БПК₅, азот аммонийный, азот нитритный и фосфор минеральный воды рек относились к ксено-, олигосапробному классу, по перманганатной окисляемости (ПО) – к альфамезосапробному классу. Индекс БПК₅/ПО, изменяющийся от 1,1 до 5,6%, указывал на слабое сапробное загрязнение воды рек, вызванное органическими веществами природного происхождения (болотные воды, питающие реки).

При мониторинге загрязняющих веществ в водной среде приоритетными считаются химические вещества, проявляющие стойкость, токсичность и способность к биоаккумуляции. Этим критериям отвечают нефтяные и полициклические ароматические углеводороды, хлорорганические соединения и тяжелые металлы. В соответствии с ГОСТ 17.1.2.04-77 вредные вещества в воде водных объектов, используемых для рыбохозяйственных целей, лимитируются по показателю токсичности для рыб и других водных организмов и характеризуются нормативами, утвержденными Приказом Росрыболовства № 20 от 18 января 2010 г.

Концентрации микроэлементов в воде исследованных лососевых рек не превышали рыбохозяйственные предельно допустимые концентрации (ПДК_{р/х}) (см. табл.).

Концентрация нефтяных углеводородов была значительно ниже предельно допустимой концентрации 0,05 мг/л. Применяемый газохроматографический метод анализа позволяет проводить идентификацию состава и происхождения углеводородов. В данном случае отношение концентраций нормальных алканов с нечетным и четным количеством атомов углерода в цепи свидетельствовало о биогенном характере происхождения углеводородов.

В настоящее время отсутствуют нормативы содержания полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в воде рыбохозяйственных водоемов, за исключением нафталина. Из индивидуальных соединений ПАУ в воде исследованных рек доминировали нафталин (значительно ниже ПДК_{р/х}), 1- и 2-метилнафталин. Из канцерогенных соединений обнаружен только бенз(а)пирен в очень незначительной концентрации (0,01 нг/л).

В исследуемых водах определены остаточные количества пестицида ДДТ. Он был представлен шестью метаболитами, суммарные концентрации которых были

значительно ниже рыбохозяйственной ПДК. Отношение концентраций метаболитов p,p' -ДДТ/ p,p' -ДДЕ < 1 свидетельствовало о давнем поступлении этого пестицида в воды рек. Отношение концентраций α -ГХЦГ/ γ -ГХЦГ > 1 также указывало на давнее загрязнение воды рек гексахлорциклогексаном, а остаточные количества гексахлорбензола и суммарные концентрации изомеров гексахлорциклогексана были значительно ниже ПДК_{р/х}.

Из индивидуальных полихлорбифенилов (ПХБ) в воде рек доминировали тетра- и пентахлорированные соединения с номерами по номенклатуре IUPAC 52, 99, 101, 105, 118, 138 и 153, составляющие 100 % суммарной концентрации ПХБ. Указанные соединения являются основными компонентами промышленных смесей типа Aroclor (российские аналоги – совол и совтол), применяющихся как диэлектрики в конденсаторах и трансформаторах, но суммарная концентрация полихлорбифенилов была значительно ниже рыбохозяйственной ПДК.

ЗООПЛАНКТОН РАСПРЕСНЁННЫХ НАСКАЛЬНЫХ ВАНН ЗОНЫ ЗАПЛЕСКА

Н.В. Полякова, А.И. Старков

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет»,
Санкт-Петербург, Россия, e-mail: nvpnataly@yandex.ru

Водоёмы зоны заплеска отличаются особенно экстремальными условиями – при небольших размерах и непостоянной связи с морем здесь отмечены максимальные колебания физико-химических показателей. Одним из ключевых параметров, определяющих возможность существования в этих переменчивых условиях, становится солёность, притом, что колебания её в течение сезона могут составлять здесь до 50 ‰. И, наряду с эстуариями, наскальные ванны зоны заплеска могут служить природными модельными объектами для исследований устойчивости пресноводных зоопланктонных организмов к повышению солёности.

Острова Канда拉克шского залива Белого моря характеризуются большим количеством подобных водоёмов, поскольку скалистый ландшафт с большим количеством неровностей и углублений способствует накоплению воды, попадающей, с одной стороны, из атмосферы и за счёт поверхностного стока, с другой стороны, из моря. Высота над уровнем моря подобных водоёмов составляет от 1 до 5 метров. За период с 2004 года нами исследовано порядка 100 подобных водоёмов более чем 10 островов Канда拉克шского залива Белого моря. На части из них проведены только разовые съёмки, несколько ванн на двух островах Керетского архипелага выбраны для сезонных наблюдений. В данном исследовании нас интересовали водоёмы, не имеющие регулярного поступления морской воды. Солёность в них повышалась за счет ветрового забрызгивания и штормовых заплесков и обычно не достигала 5‰, в редких случаях разовое увеличиваясь до 22‰, что связано также с испарением в засушливые периоды. В среднем же в этих водоёмах в течение летнего сезона солёность колебалась в диапазоне от 0 до 3‰.

Постоянные изменения солёности приводят к тому, что видовой состав зоопланктонных сообществ небогат, а их общая численность редко превышает 100–300 экз/л. Представители пресноводного комплекса (ветвистоусые рачки родов *Daphnia*, *Ceriodaphnia*, *Chydorus*, коловратка *Notholca acuminata*) обычно встречаются при солёностях до 3‰. Случаи нахождения дафний регистрировались нами и при 17 промилле, но это объясняется тем, что съёмка проводилась сразу после штормовой погоды и зоопланктонные сообщества не успевали среагировать на изменения условий. При дальнейшем увеличении солёности часто встречались массовые формы солоноватоводного комплекса *Euritemora affinis*, *Harpacticus uniremis*.

При этом, в пресноводных ваннах выше зоны заплеска видовой состав постоянен в каждой отдельной ванне и не меняется не только в течение сезона, но и за многолетний период наблюдений. Здесь отмечено 14 массовых форм, 9 из которых – ветвистоусые ракообразные, типичные для малых водоёмов эврибионтные виды. Солоновато-водные ванны, имеющие регулярные попадания морской воды так же достаточно стабильны в отношении видового списка. Здесь он значительно беднее, наиболее широкое распространение и количественное развитие показано

только для *Harpacticus uniremis*, *Eurytemora affinis* и некоторых коловраток, которые на протяжении сезона постоянно присутствуют в ваннах. Необходимо отметить мономорфный характер сообществ – практически во всех водоемах, где общая численность превышает 100 экз/л, она определяется каким-либо одним видом. В опреснённых ваннах же доминирующие формы могут несколько раз меняться в течение сезона.

В качестве примера приведены результаты наблюдений двух ванн луды Медянка Керетского архипелага: трёхлетних для ванны № 4 (рис. 1) и двухлетних для ванны № 7 (рис. 2). Площадь этих ванн составляла 3 м² и 2 м², глубина 30 см и 40 см соответственно. Оба водоёма достаточно хорошо изолированы от моря, тем не менее, при сильном ветре отмечен заплеск морской воды.

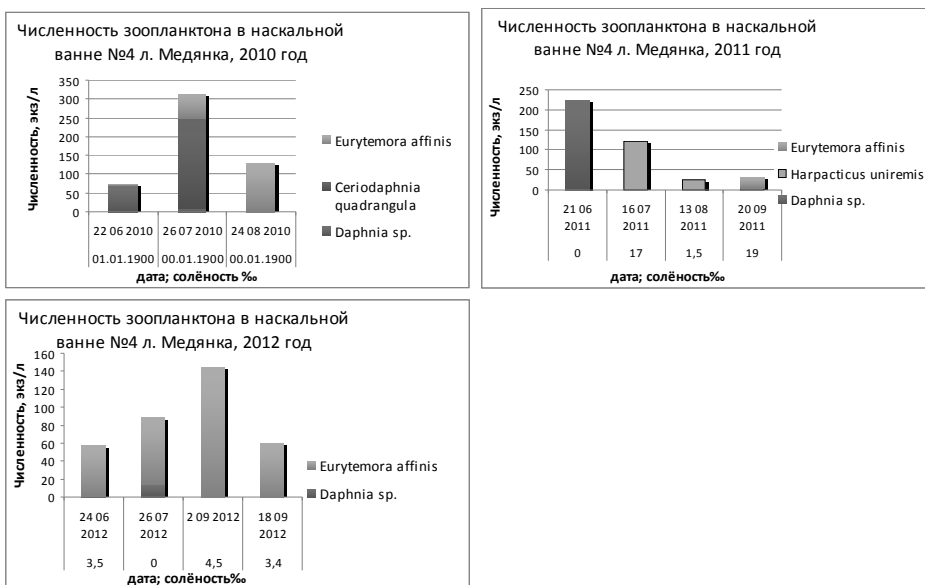


Рис. 1. Численность зоопланктона в наскальной ванне № 4 Луды Медянка за 2010–2012 гг.

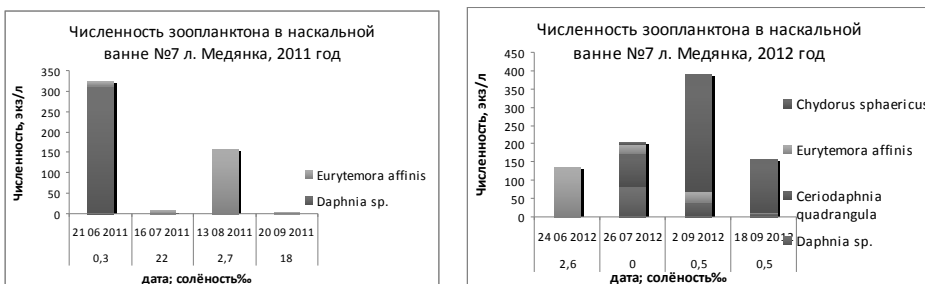


Рис. 2. Численность зоопланктона в наскальной ванне № 7 луды Медянка

Мы наблюдаем постоянную смену доминирующих видов, которую нельзя объяснить сезонной динамикой. Колебания численности этих же видов в близлежащих пресноводных и солоноватоводных ваннах имеют совершенно другой характер. Резкие перепады солёности приводят к элиминации пресноводных форм и развитию *Euritemora affinis*. Но в 2001 г. в ванне № 4 *Euritemora affinis* была вытеснена *Harpacticus uniremis*. Крупные представители рода *Daphnia* периодически сменяются мелкими формами – *Ceriodaphnia quadrangula* и *Chydorus* группы *shpaericus*. Подобные сукцессии на пресноводных ваннах нами не наблюдались. Показатели обилия также сильно варьируют в течение сезона, что нетипично для водоёмов с более высокой солёностью или пресноводных. Так, для пресноводных ванн луды Медянка характерны очень высокие величины численности и, особенно, биомассы, достигающей 900 мг/л за счёт бурного развития крупных ветвистых раков в ваннах богатых биогенными веществами. Причём высокие показатели обилия держатся на протяжении всего сезона. Расположенные поблизости солоноватоводные ванны характеризуются массовым развитием *Harpacticus uniremis* или *Euritemora affinis*, опять же стабильным в течение сезона.

Подобная картина типична для относительно больших ванн, которые представлены для примера. Меньшие по размеру опреснённые ванны с площадью поверхности до 1 м² характеризуются крайне низкими количественными показателями, ракообразные здесь представлены отдельными особями, и разовые вспышки обилия достигаются в основном за счёт коловраток как пресноводного комплекса – *Notholca acuminata* и *Mytilina mucronata*, так и солоновато-водного – *Notholca squamula salina* и *Brachionus* sp. Это показано сезонными исследованиями на луде Седловатая и разовыми наблюдениями, проведёнными на других островах архипелага, а так же в Кив-губе и бухте Кузокоцкая.

Таким образом, зоопланктон в опреснённых ваннах представлен в основном типичными представителями пресноводного комплекса *Notolca acuminata*, *Mytillina mucronata*, *Daphnia magna*, *Daphnia pulex*, *Ceriodaphnia quadrangula*, *Chydorus* группы *spaericus*. При возрастании солёности пресноводные организмы полностью или частично исчезают и им на смену приходят представители солоновато-водной фауны *Euritemora affinis*, *Notolca squamula* и представители сем. Harpacticoidae.

**ОСОБЕННОСТИ ЗАСЕЛЕННОСТИ МОРСКИХ ЗВЕЗД *ASTERIAS RUBENS* L.
КОПЕПОДАМИ *SCOTTOMYZON GIBBERUM* SCOTT
В КАНДАЛАКШСКОМ ЗАЛИВЕ БЕЛОГО МОРЯ**

А.А. Поромов, А.В. Смуров

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования «Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова», Москва, Россия, e-mail: aap1309@gmail.com*

Симбиоз широко распространен в природе, а симбиотические ассоциации часто играют ключевую роль в поддержании нормального функционирования наземных, пресноводных и морских экосистем. При оценки биоразнообразия обычно не принимают в расчет, что учитываемые организмы являются хозяевами различных экто- и эндосимбионтов. В тоже время, биоразнообразие симбионтов, как правило, значительно превышает биоразнообразие их хозяев. На симбионтов оказывается двойное действие среды – с одной стороны внешней среды, а с другой среды хозяина, внутренней для эндосимбионтов и наружной для экзосимбионтов. Таким образом, учет симбиотических, в том числе и паразитических, организмов, а также исследование состояния симбиотических ассоциаций позволяют более точно оценить биоразнообразие и характер динамических процессов в экосистемах и могут быть рекомендованы в качестве важных элементов экодиагностических и биоиндикационных исследований.

В качестве объекта исследования выбран симбиоценоз массового литорального вида морских звезд *Asterias rubens* L. и обитающих на них копепод *Scottomyzon gibberum* Scott. Взрослые самки *S. gibberum*, обитающие на коже морских звезд *A. rubens*, индуцируют образование галлов. Личиночные стадии, самцы и молодые самки свободноживущие и обитают непосредственно на поверхности тела хозяина, как типичные эктосимбионты. Ареал исследуемых видов распространяется по территории северных морей России. В работе приведены исследования симбиоценоза, как возможного биоиндикатора качества прибрежных вод северных морей.

Работы проводились в районе расположения Беломорской биологической станции МГУ имени М.В. Ломоносова и на территории Кандалакшского государственного заповедника. Точки сбора приведены на рис. 1. Для территории кута Ругозерской губы характерна близость железнодорожной станции с интенсивным движением ж/д транспорта, впадает речка Пояконда, протекающая через одноименный поселок, находятся причалы для многочисленных малых и причал для средних судов. Чернореченская губа характеризуется интенсивным движением малых судов, сюда впадает одноименная речка, протекающая через населенную деревню Черная речка.

Морских звезд *A. rubens* собирали с 13 точек, в течение всего вегетационного периода 2012 г. Сбор морских звезд проводился в Белом море на акваториях Ругозерской, Чернореченской, Кислой губ и «Бабьего моря».

Для характеристики заселенности рассчитывались три основных показателя численности симбионтов, широко используемые в паразитологических исследованиях: экстенсивность (среднее количество симбионтов на хозяине), интенсивность (относительное количество хозяев, имеющих симбионтов) и индекс обилия, которые, по сути, являются показателями заселенности хозяина.

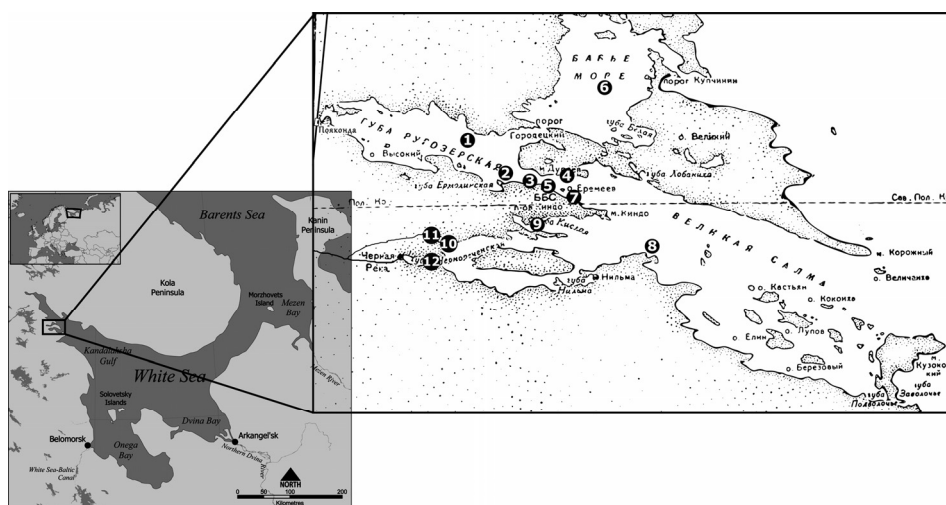


Рис. 1. Точки сбора морских звезд на акватории Кандалакшского залива Белого моря (в скобках указана глубина сбора)

Условные обозначения: 1 – Половые острова (5–10 м), 2 – Черные щели-Ермолинская губа (1 м), 3 – «У Креста» на территории БС МГУ (1–15 м), 4 – у острова Великий (8 м), 5 – Пирс БС МГУ (1 м), 6 – Бабье море (2–7 м), 7 – у Еремеевских островов (1 м), 8 – Крестовые острова (10 м), 9 – Кислая губа (1 м), 10 – Черная речка, у входа в залив (2 м), 11 – Черная речка, в заливе (1 м), 12 – Черная речка, за порогом (под кладбищем) (3 м)

Проведен анализ, описывающий размерную изменчивость морских звезд и показывающий соотношение размеров морских звезд *A. rubens* и зараженности копеподами *S. gibberum*, что позволяет определить наиболее зараженный размерный класс морских звезд. Полученные размерные границы используются, как ограничивающие при сборе морских звезд *A. rubens* с целью оценки влияния условий окружающей среды на зараженность и применение основных паразитологических индексов для биоиндикации по полученным данным.

Показана сезонная цикличность заселенности морских звезд в течение вегетационного периода с минимальными значениями в июне и возрастание до октября. Отмечается увеличение относительного возраста последней копепоидной стадии *S. gibberum* и доли самцов.

Проведен анализ расположения самок копепод *S. gibberum* по поверхности морских звезд и приуроченность к одиночному расположению или образованию галл. По полученным данным выделяются морские звезды, собранные в районе «Бабьего моря».

Исследованы пространственные особенности размерных, возрастных и репродуктивных показатели копепод *S. gibberum*. По этим показателям при использовании интегральных значений, полученных методом анализа главных компонент, можно выделить в один кластер точки у острова Великий, в Бабьем море, у Крестовых островов, точки «Пирс БС» «У креста»; точки на Черной речке и в Кислой губе во второй и остальные точки в третий кластер.

Пространственное распределение значений индексов заселенности показано на рис. 2. По значениям индексов заселенности выделяется кластер точек включающих Половые острова, Бабье море и Черную речку, кластер с противоположными значениями включающий Еремеевские острова, и кластер с промежуточными значениями, включающий все остальные точки. Можно предположить, что это связано со степенью антропогенного воздействия. Точка у Половых островов, наиболее приближенная к куту Ругозерской губы и верховья Чернореченской губы характеризуются повышенной антропогенной нагрузкой за счет хозяйственной деятельности и интенсивного использования маломерных судов. Бабье море за счет гидрологических особенностей и рельефа береговой линии характеризуется высокой интенсивностью аккумуляции веществ, в том числе и загрязняющих, поступающих сюда с одной стороны из пос. Пояконда, с другой из г. Кандалакша.

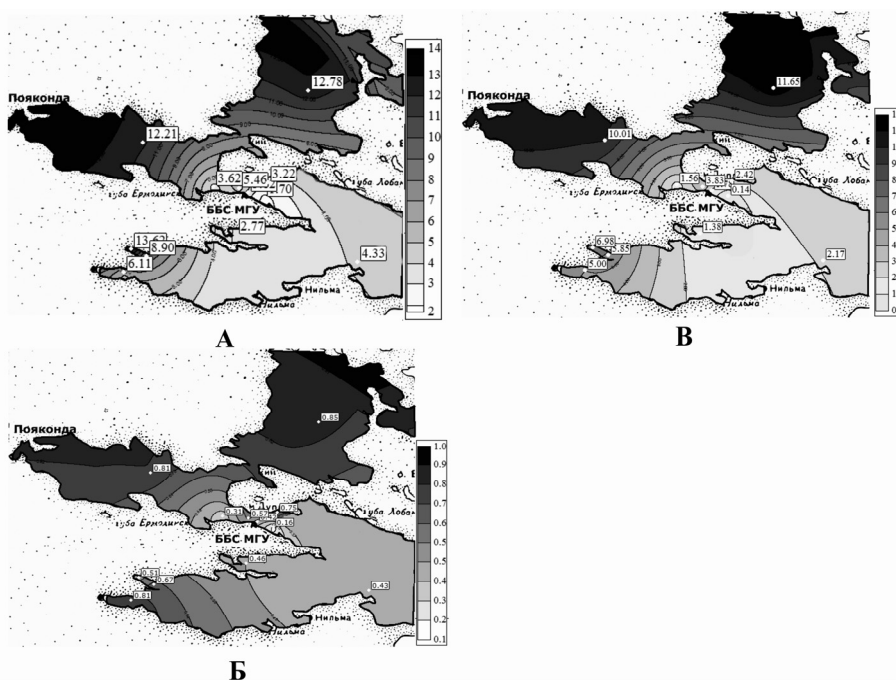


Рис. 2. Пространственные различия индексов заселенности:
А – интенсивность, Б – экстенсивность, В – индекс обилия

При анализе изменчивости индексов заселенности морских звезд *A. rubens* копеподами *S. gibberum* проведен с глубиной выделяется прибрежная зона с глубиной 1 метр, характеризующаяся статистически достоверно отличающимися низкими показателями заселенности. Возможно, это связано с различиями в размерной структуре морских звезд, для прибрежной зоны характерны ювенильные морские звезды, которые еще не заселены копеподами, а заселение происходит при миграции звезд с литорали на большие глубины. На глубине 1 метр неблагоприятные гидрологические условия для самих подвижных стадий копепод – приливно-отливные течения, перепады температур, опреснение. Значения заселенности в

остальных точках статистически достоверно не отличаются. Наибольшие значения заселенности на глубине 10 метров. Возраст копепод на разных глубинах не отличается.

Таким образом, полученные результаты показывают возможность применения показателей заселенности морских звезд *Asterias rubens* копеподами *Scottomyzon gibberum* с целью биоиндикации качества морской среды. Однако требуются дальнейшие, более подробные, исследования сезонной и пространственной динамики заселенности и сопоставление полученных данных с физико-химическими параметрами среды.

Выводы:

1. Наибольшие значения индексов заселенности морских звезд *Asterias rubens* копеподами *Scottomyzon gibberum* характерны для точек с повышенной антропогенной нагрузкой.
2. В течение вегетационного периода (с июня до конца сентября) отмечается увеличение заселенности морских звезд *Asterias rubens* копеподами *Scottomyzon gibberum*.
3. С глубиной отмечено увеличение средних размеров морских звезд *Asterias rubens* и их заселенность копеподами *Scottomyzon gibberum*.

ИЗУЧЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ОСНОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БИОМЕМБРАН МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ: СТРУКТУРА, СВОЙСТВА, ФУНКЦИИ НЕНАСЫЩЕННЫХ ЛИПИДОВ

А.Л. Рабинович¹, П.О. Рипатти¹, А.П. Любарцев², Д.В. Журкин³

¹ *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии
Карельского научного центра Российской академии наук, Петрозаводск, Россия,
e-mail: rabinov@krc.karelia.ru;*

² *Department of Material and Environmental Chemistry, Stockholm University, Stockholm, Sweden;*

³ *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования «Петрозаводский государственный
университет», Петрозаводск, Россия*

Биологическая мембрана – сложнейший молекулярный комплекс, – традиционно привлекает к себе внимание исследователей. Одним из центральных вопросов исследований обычно является поиск взаимосвязи между химическим строением исходных молекул и физическими свойствами итоговых структур в разных условиях. Очень важными являются также вопросы о функциональной роли того или иного их компонента. В биологической мембране обычно сосуществуют десятки или сотни типов липидных молекул, а также белки, углеводы, стеринны и другие молекулы, вовлеченные в разнообразные клеточные процессы. Липидные молекулы образуют основу мембраны, они различаются по химическому строению головных групп и/или углеводородных цепей (цепей остатков жирных кислот).

Оценить относительный вклад отдельных молекул (липидов или цепей ацилов) в свойства биомембраны можно, если изучить различия и сходства в свойствах этих молекул, как таковых, в разных условиях. На этом пути, однако, встречается много трудностей. Экспериментальные данные по различным свойствам молекул фосфолипидов, цепи которых могут содержать, в частности, двойные связи, или по свойствам этих цепей в отдельности, весьма немногочисленны. Ситуация остается таковой несмотря на то, что информация о таких свойствах крайне важна для понимания основ структурной организации и функционирования мембран, их практического использования, создания структур с заранее заданными свойствами. Отсутствие систематических экспериментальных данных по свойствам липидов объясняется несколькими причинами. С одной стороны, имеются объективные трудности экспериментального выделения, очистки, идентификации и сохранения ненасыщенных липидов (и липидов другого строения) и их компонентов. С другой стороны, встречаются затруднения на этапе интерпретации регистрируемых в физическом эксперименте спектров или других характеристик, поскольку получаемые характеристики относятся к образцу как целому, но из них требуется выделить нужную информацию, относящуюся к конкретным, отдельным молекулярным компонентам системы.

Один из путей восполнения имеющихся пробелов в данных – применить какие-либо теоретические подходы. Нужно подчеркнуть, что в общем объеме работ по изучению свойств молекулярных систем живой и неживой природы теоретическим исследованиям принадлежит очень важное место, – не менее важное, чем исследованиям экспериментальным. Теоретические исследования постоянно развиваются, за последние десятилетия достигнут ощутимый прогресс. Этот прогресс обусловлен несколькими причинами: совершенствуются аналитические подходы,

возникают некоторые новые концепции и представления, быстро развиваются методы так называемого имитационного компьютерного моделирования. Особого внимания заслуживает именно компьютерное моделирование: оно позволяет получить информацию о свойствах молекулярных систем, которая часто является уникальной по степени детальности, – это информация на “атомном” уровне. С компьютерным моделированием связаны многообещающие перспективы как в области теоретической разработки основ функционирования молекулярных систем, так и разнообразных приложений. В настоящее время, ввиду бурного развития вычислительной техники и ее доступности, компьютерное моделирование упрочилось как парадигма, как мощный общепризнанный инструмент изучения свойств объектов различного происхождения. Несмотря на то, что компьютерное моделирование биомембран и отдельных их молекулярных компонентов (наиболее распространенными методами – методом молекулярной динамики, МД, и Монте-Карло, МК) в течение последних десятилетий проводилось весьма интенсивно, теоретические данные об этих свойствах, имеющиеся на сегодня, также фрагментарны (аналогично упомянутым выше экспериментальным данным). Одна из причин, – огромное разнообразие мембран.

На основании уже имеющихся данных можно утверждать, что ключевое значение для функционирования биологических мембран имеют ненасыщенные и полиненасыщенные углеводородные цепи молекул липидов (цепи жирных кислот). Химическое строение ненасыщенных цепей, наиболее типичных для липидов биомембран, характеризуется тем, что все их двойные связи $C=C$ являются метилентпрерывающимися, т.е. между каждой парой двойных связей расположена только одна метиленовая группа (CH_2). Для обозначения химического строения таких цепей обычно используется сокращение $N:k(n-j)cis$. Здесь N – общее количество атомов углерода; k – количество метилентпрерывающихся двойных связей; j – количество атомов углерода до ближайшей двойной связи, считая от концевой группы CH_3 цепи (на это указывает наличие символа n ; иногда вместо $(n-j)$ используется обозначение ωj); cis – конфигурация двойных связей. Подавляющее большинство цепей жирных кислот в биомембранах имеет количество углеродных атомов № от 12 до 22 и количество двойных связей k от 1 до 6.

Методами компьютерного моделирования в настоящей работе проведено комплексное исследование свойств совокупности цепей жирных кислот (в разных условиях), – насыщенных и ненасыщенных, с метилентпрерывающимися двойными связями *cis*. Реализованы варианты исследования свойств этих молекул в изолированном состоянии, согласованные с вариантами их исследования в мембранах, для чего осуществлен следующий комплекс взаимно-дополняющих шагов:

I. Проведено моделирование совокупности мембран методом МД, в полном атомном приближении, при полной гидратации, в одинаковых условиях (по температуре, давлению, методике проведения имитации, количеству молекул липидов в расчетной ячейке) и с использованием единого, апробированного в литературе набора параметров силового поля.

II. Для МД-моделирования избраны варианты мембран, образованные липидными молекулами, которые различаются степенью ненасыщенности и/или длиной цепи углеводородных цепей. Совокупность молекул липидов выбрана так, чтобы получить информацию об искомым свойствах для всех основных вариантов в дан-

ном ряду. Среди этих вариантов есть бислои, моделирование которых осуществлено впервые в литературе.

III. Совокупность средних характеристик жирнокислотных цепей рассчитана как по результатам моделирования методом МД, так и МК. Параметры силового поля при моделировании этими методами были идентичными. Химическое строение цепей в МД и МК имитации различалось лишь тем, что группа C=O жирнокислотной цепи, связанная с глицериновым основанием в молекуле фосфолипидов, в МК имитации отдельной цепи заменена группой CH₃. Условия МД моделирования молекул липидов в каждом бислое отвечали жидкокристаллическому состоянию. Цепи в МК имитации изучали в невозмущенном состоянии.

Методом МД изучены варианты гомогенных бислоев, образованных молекулами фосфатидилхолинов (ФХ) разного строения: 16:0/18:1(n-9)cis ФХ, 16:0/18:2(n-6)cis ФХ, 16:0/18:3(n-3)cis ФХ, 16:0/18:4(n-3)cis ФХ, 16:0/18:5(n-3)cis ФХ, 16:0/20:4(n-6)cis ФХ, 16:0/20:5(n-3)cis ФХ, 16:0/22:6(n-3)cis ФХ, 18:0/18:1(n-9)cis ФХ, 18:0/18:2(n-6)cis ФХ, 18:0/18:3(n-3)cis ФХ, 18:0/18:4(n-3)cis ФХ, 18:0/18:5(n-3)cis ФХ, 18:0/20:4(n-6)cis ФХ, 18:0/20:5(n-3)cis ФХ, 18:0/22:6(n-3)cis ФХ. Основные расчеты методом МД осуществлены с использованием вычислительных ресурсов, предоставленных SNIC (Swedish National Infrastructure for Computing, Stockholm, Sweden).

Методом МК рассчитаны равновесные характеристики цепей 16:0, 18:0, 18:1(n-9)cis, 18:2(n-6)cis, 18:3(n-3)cis, 18:4(n-3)cis, 18:5(n-3)cis, 20:4(n-6)cis, 20:5(n-3)cis, 22:6(n-3)cis, которые являются компонентами липидных молекул всех перечисленных выше бислоев. Кроме того, методом МК изучены свойства длинных полиненасыщенных цепей N:4(n-6)cis, N:4(n-3)cis, N:5(n-6)cis, N:5(n-3)cis, N:6(n-6)cis, N:6(n-3)cis, где N – количество атомов углерода в цепи, N = 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38.

По итогам моделирования выявлены как общие для всех липидных молекул свойства, так и свойства, существенно зависящие от химического строения молекул. В частности, показано, что в ненасыщенных цепях всех бислоев степень упорядочения простых связей C-C, соседних с двойными, меньше, чем у двойных, и меньше, чем у простых связей с тем же номером в насыщенной цепи. Существенно различаются величины параметров порядка четных и нечетных связей углерод-углерод в насыщенных цепях всех бислоев. Показано, что молекулу фосфолипида можно охарактеризовать профилями коэффициентов упругости. Наименьшими значениями упругости и наименьшей амплитудой их изменений вдоль по цепи обладают липидные молекулы, в состав которых входит полиненасыщенная цепь. В бислоях, которые образованы молекулами липидов с ненасыщенными цепями ацилов, сосуществуют протяженные участки с различным характером ориентационного упорядочения связей, – различными степенями анизотропии кривых распределения по ориентациям связей относительно оси, перпендикулярной к поверхности бислоя.

Кроме того, показано, что в биомембране должны существовать молекулярные механизмы надлежащего изменения некоторых локальных свойств с сохранением свойств более общих. В частности, это проявляется в равновесной гибкости компонентов природных липидов, – жирнокислотных цепей. Для полиненасыщенной цепи, двойные связи cis которой являются метиленпрерывающимися, сохранение

свойств наблюдается при замене одной двойной связи $C = C$ в положении 3-го атома углерода на простую связь $C-C$. Гибкости исходной и итоговой цепей оказываются почти одинаковыми, хотя химическое строение и свойства их локальных участков существенно различаются. Увеличение количества двойных связей приводит к возрастанию гибкости цепи, а перемещение одной или нескольких двойных связей в направлении от середины цепи к ее концам уменьшает гибкость. В общем случае изменением количества двойных связей и их местоположений в цепи в биомембране достигается должный диапазон значений гибкости.

Выявлена совокупность экстремальных свойств у полиненасыщенных углеводородных цепей липидов. Наличие экстремальных свойств у определенных компонентов биомембран должно приводить к существованию особых свойств соответствующих кластеров мембран, а также таких мембран в целом. Функциональная роль компонентов мембран напрямую связана с молекулярным механизмом, который и обеспечивает реализацию свойств цепей того или иного строения. Выявленные закономерности позволяют предсказать некоторые общие тенденции, установить основные взаимосвязи “структура – свойства” для мембранных структур.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 10-03-00201a), программы Президента РФ “Ведущие научные школы” НШ-1642.2012.4.

КОНТРАСТНЫЕ СООБЩЕСТВА ЛЕТНЕГО ФИТОПЛАНКТОНА В СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ И ПЕРЕМЕШАННЫХ ВОДАХ БЕЛОГО МОРЯ

И.Г. Радченко¹, Л.В. Ильяш¹, В.П. Шевченко²

¹ *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», Москва, Россия, e-mail: IraRadchenko@yandex.ru;*

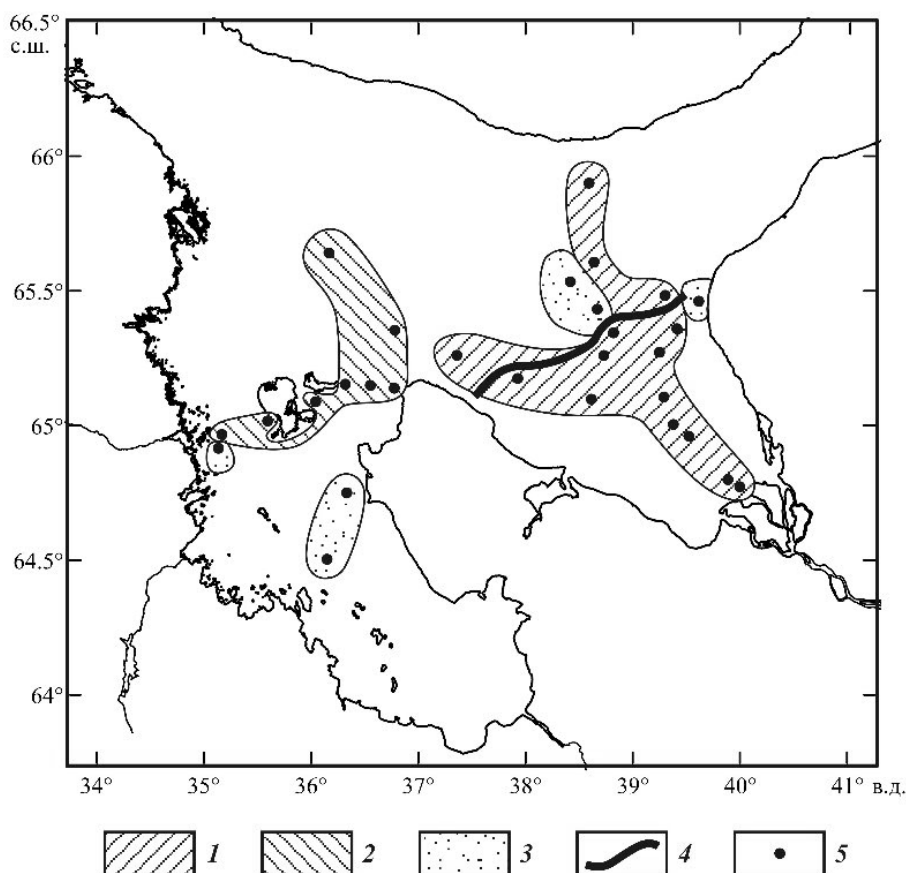
² *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, Москва, Россия*

Зависимость состава и обилия фитопланктона от структуры и динамики вод выявлена во многих морских экосистемах, включая шельфовые моря Арктики. Гидрологическому режиму каждого моря присущи свои характерные черты, которые в первую очередь определяются водообменом с океаном, топографией береговой линии, рельефом дна и речным стоком. Все это обуславливает специфичность основных механизмов формирования пространственной неоднородности фитопланктона в каждом водоеме. Первые представления о гидрологическом режиме Белого моря были сформулированы К.М. Дерюгиным и В.В. Тимоновым еще в середине прошлого века, и именно на них базировались все предшествующие работы, посвященные анализу пространственной неоднородности фитопланктона. В последнее десятилетие на основе применения современных методов океанологических наблюдений и дистанционного зондирования представления о гидрологии моря были в значительной степени пересмотрены и усовершенствованы (Пантюлин, 2012). Для Белого моря характерно чередование зон с выраженной горизонтальной термохалинной структурированностью вод (при полной вертикальной однородности градиенты характеристик направлены горизонтально, пример – воды Онежского залива у Соловецких островов, Горло) и зон с вертикальной термохалинной структурой вод. Между водами с разной структурой располагаются фронтальные зоны. Помимо структурных фронтов выделяются также градиентные соленостные фронты. Пример соленостного фронта – фронт на выходе из Двинского залива. В Белом море наблюдается многообразие динамических процессов разной природы и пространственно-временных масштабов, таких как трансфронтальный перенос; дисперсионный перенос в областях с горизонтальной термохалинной структурированностью вод; прибрежные (экмановские) апвеллинги, вызываемые ветром; эстуарные циркуляции и др.. Анализ пространственной неоднородности фитопланктона в июне – июле с позиций современных представлений о гидрологии Белого моря до настоящего времени не проводили. Цель настоящего исследования заключалась в оценке распределения видового состава, обилия, структуры фитопланктона по акватории Белого моря в конце июня – начале июля и анализе пространственного распределения фитопланктона в связи с гидродинамическими процессами.

Материалом для работы послужили пробы, отобранные на акватории Белого моря на 26 станциях (рис.) с 20 июня по 3 июля 2008 г. в ходе рейса НИС “Эколог”.

На комплексных судовых станциях проводили вертикальное зондирование температуры и солености зондом Idronaut 316. Воду отбирали с 3–4 горизонтов (выше термоклина, в слое термоклина и под термоклином) с помощью комплекса

Розетка с шестью 30-литровыми батометрами Нискина. Для исследования фитопланктона пробы воды концентрировали методом обратной фильтрации и фиксировали раствором Люголя. Концентрированные пробы просчитывали под микроскопом в камере типа Ножотта (объем 0.05 мл). Для расчета биомассы объемы клеток определяли методом геометрического подобия с последующим переводом в единицы углерода по аллометрическим зависимостям. Для анализа сходства сообществ фитопланктона использовали пакет анализа экологических данных PRIMER Version 5.2.4. В качестве характеристики структуры фитопланктона рассматривали значения биомассы популяций водорослей (мгС/м^3). Сходство оценивали с помощью индекса Брея-Кёртиса. Затем проводили ординацию сообществ методом многомерного шкалирования (MDS). Характерные виды, обуславливающие высокое сходство внутри каждой группы проб, выделяли с помощью процедуры SIMPER.



Распределение сообществ фитопланктона по акватории моря:

- 1 – сообщество *Skeletonema costatum*, 2 – сообщество *Thalassiosira* spp., 3 – сообщество динофлагеллят,
4 – соленосный фронт, 5 – станции отбора проб

В конце июня – начале июля 2008 г. на исследованной акватории выявлено три достоверно различающихся по структуре сообщества фитопланктона. Далее по тексту сообщества названы по характерным видам и группам: сообщество *Skeletonema costatum*, сообщество *Thalassiosira* spp. и сообщество динофлагеллят. Каждое из сообществ было приурочено к водам с определенными структурными и динамическими характеристиками. Сообщество диатомовой водоросли *Skeletonema costatum* приурочено к Двинскому заливу, для вод которого характерны выраженная стратификация, самая высокая температура и низкая соленость поверхностного слоя по сравнению с другими районами моря. Сообщество диатомей *Thalassiosira* spp. приурочено к перемешанным водам Онежского залива в районе Соловецких островов. Воды характеризовались самой низкой температурой и высокой соленостью по сравнению с другими районами моря. Глубина перемешиваемого слоя превышала протяженность фотического слоя. Сообщество с доминированием динофлагеллят отмечено в стратифицированных водах Бассейна и центральной части Онежского залива. Температура поверхностного слоя была выше, а соленость ниже, чем в нестратифицированных водах Онежского залива.

В пределах акватории развития каждого из сообществ биомасса фитопланктона варьировала в значительной степени. Так на акватории Двинского залива, где вегетировало сообщество *Skeletonema costatum*, наибольшая биомасса фитопланктона отмечена у внутренней границы соленостного фронта. Относительно высокая биомасса была характерна также для динамически активных участков, таких как зона трансформации промежуточных вод Бассейна при их подъеме вдоль склона в вершине залива, и периферия стокового течения Северной Двины. В целом биомасса фитопланктона до соленостного фронта была выше таковой за фронтом. Биомасса планктонных водорослей при выраженной стратификации резко убывала с глубиной. Соответственно, величину интегральной биомассы в столбе воды под 1 м^2 (до глубины 25 м) определяло обилие водорослей в поверхностном слое. Средние значения биомассы в поверхностном слое и в столбе воды составили: до фронтальной зоны $278 \pm 153 \text{ мг C/м}^3$ и $1381 \pm 704 \text{ мг C/м}^2$, за фронтальной зоной $146 \pm 185 \text{ мг C/м}^3$ и $640 \pm 716 \text{ мг C/м}^2$.

В нестратифицированных водах Онежского залива, где вегетировало сообщество *Thalassiosira* spp., фитопланктон был равномерно распределен в столбе воды. Биомасса фитопланктона в поверхностном слое изменялась в пределах $14\text{--}130 \text{ мг C/м}^3$ (среднее $44 \pm 48 \text{ мг C/м}^3$). В столбе воды под 1 м^2 (до глубины 25 м) интегральная биомасса варьировала от 344 до 3255 мг C/м^2 (среднее $1110 \pm 1207 \text{ мг C/м}^2$). Наибольшая биомасса отмечалась в центре пролива между Соловецкими островами и Онежским берегом.

Биомасса сообщества с доминированием динофлагеллят была невысока и примерно одинакова в разных районах моря (среднее $21 \pm 7 \text{ мг C/м}^3$). Однако в разных районах моря наибольший вклад в суммарную биомассу давали разные виды. Так в Онежском заливе в центральной части доминировала водоросль *Prorocentrum minimum* (миксотроф), а ближе к Онежскому берегу – *Heterocapsa triquetra* (миксотроф). В Бассейне преобладали *Dinophysis acuminata* (миксотроф) и виды рода *Protooperidinium* (гетеротрофы). Доминирование миксотрофных и гетеротрофных динофлагеллят косвенно свидетельствует о лимитировании планктонных водорослей недостатком биогенных элементов.

У структурного фронта, разделяющего стратифицированные воды Бассейна и перемешанные воды Горла, фитопланктон по структуре был сходен с фитопланктоном Двинского залива (одна группа сходства). Средняя суммарная биомасса в слое 0–30 м составляла 60 мг С/м³, наибольший вклад в суммарную биомассу давали *Skeletonema costatum* и *Dinophysis acuminata*.

Таким образом, вегетация на акватории моря в конце июня – начале июля контрастных по структуре и обилию сообществ фитопланктона обусловлена структурой и динамикой вод. Интенсивное развитие фитопланктона весной (конец апреля – май) ведет к практически полному истощению биогенных элементов в верхней (до пикноклина) части фотического слоя, что обуславливает прекращение роста водорослей и снижение биомассы фитопланктона в начале лета. В этот период развитие фитопланктона лимитировано, как правило, недостатком азота и идет в основном за счет его регенерируемых форм. Преимущество в таких условиях получают миксотрофные и гетеротрофные формы. Пример такой ситуации – районы моря, где вегетирует сообщество с доминированием динофлагеллят. Однако в верхнюю часть водного столба могут поступать новые биогенные элементы в результате действия локальных гидрофизических явлений, таких как интенсивное приливное перемешивание (пример, перемешанные воды Онежского залива у Соловецких островов, сообщество *Thalassiosira* spp.) и сток речных вод, богатых азотом и кремнием (Двинский залив, сообщество *Skeletonema costatum*). Но и в пределах залива существуют динамически активные зоны, в которых идет поступление биогенных элементов из глубинных слоев, такие как внутренняя граница соленосного фронта, зона трансформации промежуточных вод Бассейна при их подъеме вдоль склона в вершине залива, периферия стокового течения Северной Двины. В таких динамически активных зонах биомасса фитопланктона была выше.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 12-04-00477-а.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗВИТИЯ САДКОВОГО РЫБОВОДСТВА НА БЕЛОМ МОРЕ

Л.П. Рыжков

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Петрозаводский государственный университет», Петрозаводск, Россия,
e-mail: rlp@petrsu.ru*

Белое море – внутренний водоем России акваторией 90 тыс. км², объем водной массы 6 тыс. км³, средняя глубина 67 м. В отличие от других арктических водоемов Белое море слабо связано с океаном, узкое неглубокое горло ограничивает его водообмен. Обильный береговой сток (215 км³) обеспечивает его воды органикой. Хорошее прогревание верхнего слоя воды в весенне-летний период и поступление огромного количества органического вещества, в сочетании с континентальным арктическим климатом, создают необходимые условия для интенсивного формирования первичной продукции. Годовая продукция бактериопланктона достигает величины $2.4 \cdot 10^{14}$ ккал, фитопланктона – $6.0 \cdot 10^{13}$ ккал и криофлоры – $1.6 \cdot 10^{13}$ ккал. Общая величина первичной продукции равняется $10.32 \cdot 10^{13}$ ккал, что является базой для формирования $1.53 \cdot 10^{13}$ ккал зоопланктона и макрозообентоса, основных источников пищевой цепи рыбного населения. Годовая продукция рыбы равняется $1.8 \cdot 10^{13}$ ккал, млекопитающих $2.6 \cdot 10^9$ ккал млекопитающих (Бергер, 2007).

Приведенные фактические материалы являются одним из доказательств высокой продуктивности Белого моря. По сведениям В.Я. Бергера биомасса и продуктивность всех звеньев трофического статуса Белого моря существенно превосходят аналогичные показатели морей бореальной зоны. В то же время, как показывают расчеты, выполненные В.Я. Бергером (2007), пищевые ресурсы каждого звена пищевой цепи Белого моря не используются в полной мере. Например, зоопланктон и зообентос используют в качестве пищи не более 20% существующего резерва первичной продукции. Продукция же зоопланктона и зообентоса превосходит ее потребление рыбами примерно на два порядка.

Это значит, что высокая биологическая продуктивность Белого моря, разнообразные флора и фауна, благоприятные климатические условия и продолжительный вегетационный период дают основание оптимистично относиться к проблеме максимального освоения его биологических возможностей.

Особенно перспективен для этой цели карельский берег Беломорья с его многочисленными опресненными заливами и озерно-речными системами. Сочетание уникальных возможностей беломорского бассейна с хорошо развитыми озерно-речными системами может стать основной для разведения и выращивания ценных представителей как морской, так и пресноводной фауны. Это атлантический лосось, радужная форель, различные экологические формы сигов, сельдь, мидии, ракообразные. Как показано выше биологические возможности для этого в беломорском бассейне достаточно велики. Для большей убедительности в качестве примера можно привести объемы уловов рыбы в Белом море, которые в начале прошлого века достигали 30–35 тыс. тонн в год. В настоящее время они не превыша-

ют 500 тонн. Причина уменьшения вылова рыбы не в недостатке пищи, а в сокращении объемов воспроизводства и промысловой базы, а также недостатках в регулировании промысла. Ухудшение социально-экономических условий также негативно сказывается на объемах вылова рыбы, использования водорослей и других водных организмов.

Основной путь рационального использования богатых биологических ресурсов Белого моря и его бассейна – создание комплексной системы пастбищного и садкового рыбоводства, обеспечивающей как воспроизводство рыбных запасов для освоения самовоспроизводящейся в природных условиях кормовой базы, так и производство рыбной продукции на использовании искусственных кормов

В чем заключается эта система развития рыбного хозяйства в беломорском бассейне?

Во-первых, в единой организационной и материальной структуре выращивания посадочного материала как для садкового, так и для пастбищного рыбоводства. В частности, на первом этапе можно использовать существующие рыбоводные заводы, создаваемые для садкового рыбоводства озерные питомники и замкнутые системы индустриального рыбоводства. Создаваемые питомники целесообразно размещать в озерно-речных системах или даже в приустьевых участках рек со слабо солоноватой водой. Воспроизводство сельди целесообразно организовать на искусственных нерестилищах, технология создания которых разработана и апробирована. В дальнейшем для выращивания посадочного материала, наряду с реконструкцией существующей рыбоводной базы, необходимо создать 2–3 специальных инкубационно-выростных комплекса с замкнутой системой водоснабжения. Создание таких комплексов позволит решить проблему их размещения в районах Беломорья с хорошо развитой инфраструктурой (подъездные пути, энергообеспеченность, социальные условия и др.). При этом решаются проблемы экологической безопасности и занятости местного населения. В таких комплексах одновременно можно выращивать молодь атлантического лосося и сигов для воспроизводства рыбных запасов и разновозрастной посадочный материал радужной форели, сигов, осетров и других видов рыб для выращивания в садковых хозяйствах.

Во-вторых, в организационном, материальном и технологическом сочетании выращивания товарной продукции. Например, посадочный материал атлантического лосося и сигов, наряду с нагулом в естественных условиях на самовоспроизводящейся кормовой базе, целесообразно выращивать в садковых хозяйствах на искусственных кормах. Разновозрастную молодь радужной форели, выращенную в пресной воде, для получения товарной продукции экономически выгодно размещать в садках, устанавливаемых в заливах моря. Выполненные нами исследования показали, что при однолетнем выращивании радужной форели в морских садках скорость их роста возрастает до 30%. При этом в морских условиях появляется возможность сочетать выращивание радужной форели с развитием мидиевого хозяйства. Остатки корма форели, их экскременты и конечные продукты метаболизма существенно пополняют кормовую базу мидий, что существенно улучшит экономику аквакультуры.

В третьих, в совершенствовании и улучшении социально-экономического потенциала в регионе за счет инновационных мероприятий в различных направлениях рыбного хозяйства, а также создания устойчивой системы взаимосвязи и

последовательности технологического процесса. При этом предусматривается последовательное использование креативности в технологии, в совершенствовании стратегии, в организации хозяйственной деятельности и даже в управлении, обеспечивающее качественный рост эффективности производства и создания продукции, востребованной рынком. В частности, освоение ресурсосберегающих технологий, создание озерно-морских комплексов, круглогодичное обеспечение рынка востребованной продукцией, регулярное освоение профилактических мероприятий, формирование единой системы управления и так далее.

В четвертых, в минимизации экологической опасности для природных водоемов при осуществлении хозяйственной деятельности для получения качественной, востребованной рынком, рыбной продукции. При выращивании посадочного материала в искусственных условиях и товарной продукции в садковых хозяйствах в водоемы попадают остатки пищи (до 10% от внесенного корма), экскременты (до 25% от потребленного корма), конечные продукты метаболизма (до 20% от ассимилированного корма), а при переработке рыбы образуются органические отходы в виде крови (до 3% от массы рыбы) и внутренности рыб (до 15% от массы рыб). Комплексное использование ресурсов пресных и морских водоемов для аквакультуры позволяет более рационально размещать хозяйства, осваивать инновационные мероприятия, регулировать плотности выращивания рыб и использовать другие способы с учетом экологической емкости водоемов. В частности мною разработан способ оценки уровня воздействия хозяйства на водную экосистему (запатентован), позволяющий определять уровень воздействия и своевременно предупреждать возможные негативные последствия. В лаборатории экологических проблем Севера ПетрГУ (под руководством Сидоровой Н.А.) разрабатывается способ биоутилизации органических отходов рыбного хозяйства для получения чистого биогаза. Использование названных способов и других рекомендаций науки в комплексных системах аквакультуры позволяет минимизировать воздействие рыбоводных хозяйств на водные экосистемы водоемов.

Таким образом, несмотря на сложности и трудности использования богатых биологических ресурсов Белого моря и его бассейна, их освоение в интересах рыбного хозяйства (особенно аквакультуры) биологически целесообразно и экономически выгодно. Моделью такого хозяйствования может быть инновационный комплекс пастбищного рыбоводства для ценных в промысловом отношении видов морских и пресноводных рыб (использование самовоспроизводящейся кормовой базы водоемов) в сочетании с садковой аквакультурой (использование искусственных кормов).

Создание инновационного комплекса развития садковой аквакультуры позволит интенсивно использовать биологические ресурсы Белого моря и его бассейна. Предлагаемая структура хозяйствования будет способствовать улучшению социальных условий местного населения, станет одной из основ для развития рыбного и экологического туризма и в целом повысит экономику Беломорья.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ БЕЛОГО МОРЯ

А.В. Семушин, С.Б. Фролов

Северный филиал Федерального государственного унитарного предприятия «Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича», Архангельск, Россия, e-mail: andr@pinro.ru

Изучение состояния биологических ресурсов водоемов – важная стратегическая задача, которая обеспечивает стабильность в экономике страны, возможность планирования потребления ресурсов и многолетнее рациональное их использование. Белое море является уникальным внутренним водоемом России, обеспечивающим ресурсами три субъекта – Мурманскую, Архангельскую области (в том числе НАО) и Республику Карелия. Объективный подход к прогнозированию запасов Белого моря – это гарантия стабильной экономики данных регионов и высокого уровня жизни жителей побережья. Северный филиал ФГУП «ПИНРО» уже 50 лет занимается исследованиями биоресурсов Белого моря, обеспечивая научно обоснованное прогнозирование состояния запасов и возможного вылова промысловых видов рыб, макроресурсов и беспозвоночных.

Наиболее востребованные и эксплуатируемые виды рыбных ресурсов Белого моря это беломорская сельдь, навага, корюшка, камбаловые, атлантический лосось (семга) и сиг. Менее активно ведется добыча беломорской трески и пинагора. Из нерыбных объектов в Белом море добываются только водоросли макрофиты (ламинарии и фукусы). Такие перспективные объекты как мидии и гребешок пока не востребованы.

Сельдь Белого моря представлена тремя экологическими группировками, имеющими различные биологические показатели – сельди Кандалакшского, Онежского и Двинского заливов. В отличие от предыдущих лет, в январе 2012 г. были отмечены мощные подходы сельди на зимовку в Сорокскую губу Онежского залива. Судовой лов продолжался до конца первой декады января. В первом квартале 2012 г. промышленный лов был продолжен в Сорокской губе ставными орудиями лова. В устьевой зоне р. Северная Двина и Унской губе Двинского залива также проводился промышленный, любительский и спортивный лов. В январе-феврале 2012 г. промысловая обстановка в Двинском заливе была несколько лучше, чем в прошлом году. Большая часть сельди была выловлена в устьевой части р. Северная Двина – 86 т. В районе речного участка Покровское Онежского залива подходов сельди в мелководную зону не отмечено. Большая площадь льда в вершине Онежского залива препятствовала выхолаживанию водных масс и сельдь, не образуя плотных концентраций, не подходила к берегам. В июне 2012 г. промысел сельди был продолжен ставными орудиями лова на участках вдоль Терского берега Бассейна Белого моря, где было выловлено 44 т. В Восточной Соловецкой Салме в 2012 г. судовой промысел не проводился. В Онежском заливе было выловлено более 300 т. Официально зарегистрированный общий вылов сельди в 2012 г. составил 435 т, что превышает уловы последних лет. Рекомендуемый объем вылова освоен 20%. Вылов сельди в 2012 г. не отражает состояния ее промыслового запаса и значительно ниже прогнозируемых величин. Причины этого – продолжающееся сокращение промысловых усилий, неблагоприят-

ные погодные условия в осенне-зимний период (основное время промысла), в частности позднее становление льда, а также недостоверная статистика вылова. Запас сельди находится на устойчивом уровне.

Популяцию наваги Белого моря также можно условно разделить на три экологические группировки: Онежского залива, Двинского залива и Мезенско-Канинского района. Промышленный лов наваги в путину 2011/12 гг. начался в Унской губе Двинского залива с ноября 2011 г. по открытой воде. Высокая температура воздуха и воды в ноябре-декабре 2011 г. препятствовали образованию льда в местах промысла, сильно ограничивая количество выставляемых орудий лова. Возможность установить орудия лова в Онежском заливе и Мезенско-Канинском промрайоне появилась только в феврале 2012 г.

Несмотря на небольшой рост промысловой нагрузки в последние годы, почти полностью освоить рекомендуемые объёмы вылова удаётся лишь в Онежском заливе. В Двинском заливе вылов растёт за счёт резкого увеличения количества рыбаков-любителей в последние годы. По Мезенско-Канинскому району ситуация остаётся прежней — освоение рекомендуемого вылова остаётся на низком уровне.

Промысел в Онежском заливе в 2012 г. велся на пяти участках (по Карельскому берегу – губы Колежомская, Шуерецкая, Сумская, Сорокская; по Поморскому берегу губа Ухта). За путину освоено 90 т (по официальным данным). По опросным данным вылов наваги в Онежском заливе составляет не менее 200 т, из них не менее 10 т приходится на любительское рыболовство. Точное количество выставленных промысловых орудий лова неизвестно, но оно составляет не менее 200 экз. В Двинском заливе единственным промысловым участком является Унская губа. Массовый любительский лов ведётся как в Унской, так и в Яндовой губах. В Яндовой губе навага в качестве прилова (до 50 % от вылова) встречается на летнем промысле беломорской сельди. Вылов наваги в Двинском заливе за путину 2011–2012 гг. по официальным данным составил 43 т, по экспертным данным – не менее 100 т, из них 80 т – промысловыми орудиями лова в зимнее время. Количество выставленных орудий лова в 2012 г. составило не менее 50 экз. В 2012 г. в Мезенско-Канинском районе по официальной статистике лов наваги не велся, по экспертным данным было добыто не менее 100 т. Промысел традиционно ведётся на четырех участках (р. Кия, р. Шойна, р. Месна, р. Чёрная). Сырьевая база в Мезенско-Канинском районе используется крайне слабо, отсутствие сбыта и инфраструктуры тормозит развитие добычи рыбных запасов в данном регионе. В целом по Белому морю рекомендуемый объем вылова в 2012 г. был освоен на 12 % (по экспертной оценке не более 40 %). Опираясь на многолетние данные по численности поколений в зависимости от температуры воды и тенденцию к потеплению в последние годы, можно сделать вывод, что в ближайшие годы численность поколений наваги в Двинском и Онежском заливах будет ниже среднего уровня, а в Мезенском заливе и Воронке Белого моря – выше среднего.

Азиатская корюшка – полупроходной вид, обитающий в прибрежных морских солоноватых заливах и губах, откуда входит в реки ещё до их вскрытия. В Белом море представлена экологическими группировками, приуроченными к крупным заливам. В зимний период корюшка сосредотачивается в сильно опреснённых кутových частях заливов (Двинский, Онежский). В весенний период промысел традиционно ведётся в реках, где облавливаются нерестовые скопления.

По официальной информации вылов корюшки в Белом море в 2012 г. составил 26 т. В Ненецком автономном округе (НАО) официальный вылов отсутствует. Между тем, по экспертным данным Северного филиала ПИНРО, в ряде районов Карелии, Архангельской области и НАО ведется специализированный лов корюшки в период образования нерестовых скоплений и реальный вылов превышает официально зарегистрированный в несколько раз. Корюшка постоянно, хотя и в незначительных количествах, присутствует в качестве прилова при промысле основных объектов морского прибрежного рыболовства – наваги и сельди. Нерестовые подходы в период 2009–2012 гг. были достаточно мощными, чтобы обеспечить в ближайшем будущем стабильное пополнение и сохранить в структуре промыслового запаса существенную долю рыб в возрасте 3–4 лет, обычно составляющих основу уловов. Максимальный вылов корюшки в Белом море был зафиксирован в 1960 г. – 357,8 т. Среднегодовой вылов за 50 лет (1950–1999 гг.) составил 111,9 т. С 1995 г. вылов корюшки значительно сократился. С этого же времени стала существенно ухудшаться достоверность официальной промысловой статистики, которая в настоящий момент не отражает реальных объемов добычи и состояния запаса.

В Белом море наиболее многочисленными являются два вида камбаловых – полярная и речная камбалы. Их экологические группировки приурочены к крупным заливам и рекам. Промышленный лов камбаловых в Белом море практически не ведется, однако в ходе любительского рыболовства вылавливается значительное количество рыбы, особенно речной камбалы во время ее осенней миграции. Данные официальной статистики вылова таковы: полярная камбала – 6,2 т, речная камбала – 2,6 т. Исследования последних лет показали, что доля рыб старших возрастных групп в запасе камбаловых достаточно велика, что говорит о недоиспользовании данного объекта. Особенно это проявляется в отдаленных восточных районах (Воронка), граничащих с Баренцевым морем. По нашим оценкам, запасы камбаловых в Белом море остаются стабильными в связи с хорошим пополнением запасов и невысоким промысловым изъятием.

Беломорская треска представлена единой популяцией. Ловится в Кандалакшском заливе, прибрежных водах Бассейна, а также сопредельных с Бассейном районах Онежского и Двинского заливов. Официальная промысловая статистика за последние десятилетия не отражает истинных объемов вылова трески. Ежегодный вылов беломорской трески составляет в среднем 4–5% от общего годового вылова рыбы в Белом море. Официальный объем вылова в 2012 г. составил 3 т. Специализированный промысел беломорской трески отсутствует. Однако данный вид водных биоресурсов часто встречается в качестве прилова при промысле других видов донных рыб. Треску в Белом море добывают с помощью ставных ловушек разных конструкций, жаберных сетей и удочек. Удебный лов распространен повсеместно по Карельскому берегу и в Кандалакшском заливе.

В настоящее время специализированного промысла пинагора не ведётся. Возможно возрождение этого вида лова в Мезенском заливе в районе реки Койда, иногда отмечаются подходы пинагора к Соловецким островам. В Республике Карелия наиболее перспективным для возобновления промысла пинагора следует считать район Гридино, где по историческим данным уловы были наиболее высоки. С 1941 по 1960 г. среднемноголетний вылов пинагора по Белому морю составлял 110,6 т, максимальный в 1950 г. – 240 т.

Атлантический лосось и сиг. Из перечисленных видов рыб данные запасы наиболее активно эксплуатируются, численность популяций находится на невысоком, но стабильном уровне. Вылов сига в 2012 г. составил около 1 т, в основном пришелся на бассейн р. Северная Двина. Вылов семги составил около 20 т.

Ламинария и фукусы. Данные объекты добываются, в основном, предприятиями Республики Карелия и Архангельским опытным водорослевым комбинатом (АОВК). Промысел ведется архаичными орудиями лова – косами, практически без применения механизированных средств. Вылов составляет не более 10 % от рекомендуемого в целом по Белому морю, однако на некоторых, наиболее доступных участках, освоение составляет до 80%.

В настоящее время ведется разработка новых Правил рыболовства Северного рыбохозяйственного бассейна, где в качестве основной идеи декларируется сокращение запретов на лов (районов, сроков, орудий лова), для стимуляции прибрежного промысла. Хочется надеяться, что данная идея будет реализована.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ТРАНСФОРМАЦИИ РЕЧНЫХ ВОД В УСТЬЕ РЕКИ КЕРЕТЬ

Р.Е. Смагин

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург, Россия, e-mail: rsmagin@yandex.ru

Изучение динамических, термохалинных, биохимических процессов в устьевых областях рек впадающих в приливное море – одна из фундаментальных проблем современной гидрологии и прибрежной океанографии (Долотов и др., 2002). Важность изучения таких областей обуславливается сложным взаимодействием стока речных вод с приливной динамикой морской акватории. Именно в эстуариях имеют место малоизученные явления и процессы, такие как приливной бор, гидрофронт. Исследование указанных феноменов требует комплексного подхода, сочетающего в себе постановку стандартных натурных гидрологических, океанологических и метеорологических наблюдений, неконтактных методов исследования физических явлений в толще вод в реальном масштабе времени, а также численное гидродинамическое моделирование динамических процессов. С этой точки зрения, устье реки Кереть, представляющая собой приливной эстуарий (губа Кереть) и расположенная в пределах Карельского берега Кандалакшского залива Белого моря – подходящий природный полигон для подобного изучения взаимодействия речных и морских вод (рис. 1).

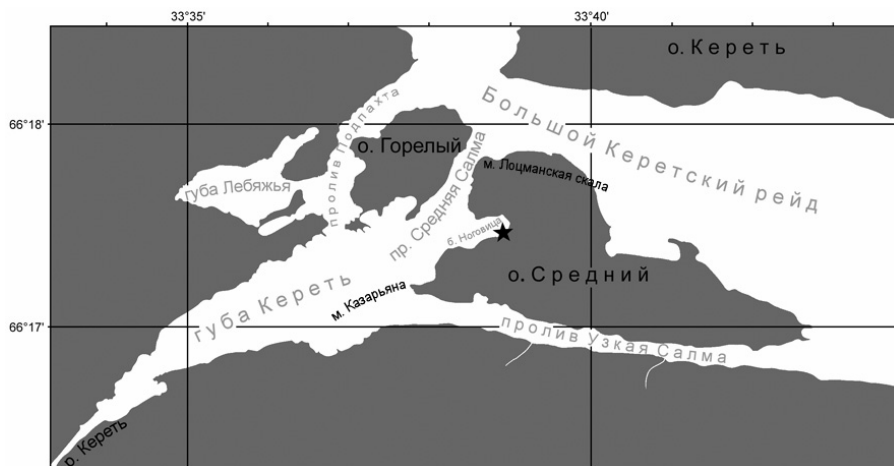


Рис. 1. Карта устья реки Кереть и расположение уровня поста в губе Кереть (отмечено звездочкой)

Здесь, во время экспедиционных работ в период с 2007 по 2012 гг., была собрана информация, необходимая для создания численной гидродинамической модели эстуария р. Кереть. В частности, выполнена подробная батиметрическая съёмка закрытой части устьевоего взморья с требуемой пространственной дискретностью, на открытых границах модели измерены колебания уровня моря и тече-

ний, определён расход реки в гидрометрическом створе там, где влияние прилива не сказывается, вычислены и уточнены гармонические постоянные для основных волн, определяющих приливные колебания уровня у о.Средний.

Река Кереть берёт начало из озера Кереть, расположенного на севере Карелии и при впадении в Белое море образует одностороннюю устьевую область. Среднегодовой расход реки составляет $22,6 \text{ м}^3/\text{с}$. По морфологическим признакам устье р. Кереть является бездельтовым, что характерно для малых рек с небольшим стоком наносов и заметным воздействием приливов. От прямого влияния моря устье реки отгорожено цепью островов: Средний, Горелый, Кереть; а водообмен осуществляется через проливы Средняя Салма, Узкая Салма и Подпахта (Ионов и др., 2009).

В ходе исследования гидрологии устьевой области р. Кереть особое внимание уделялось промерным работам. Это объясняется тем, что в данном районе хорошо выражены приливные колебания уровня, которые постоянно меняют очертания береговой линии. Произведённые наблюдения на уровне поста на о. Средний показали, что продолжительность приливного подъёма (роста) уровня воды в среднем равна 5 ч 10 мин, а время падения уровня составляет 6 ч 40 мин; на стояние уровня приходится около 35 мин (для данного места характерен правильный полусуточный прилив, с доминированием главной лунной полусуточной волны M_2 с периодом 12 ч 25 мин).

При организации натурального эксперимента приходилось пользоваться навигационной картой масштаба 1:25000, на которой глубины приведены к наиминимум возможному уровню. Однако, для выявления характерных особенностей устьевых процессов потребовалась более подробная батиметрическая карта, которую пришлось создать на основе собственных промеров с помощью многофункционального пакета *ArcGIS 9.3.1*. (рис. 2).

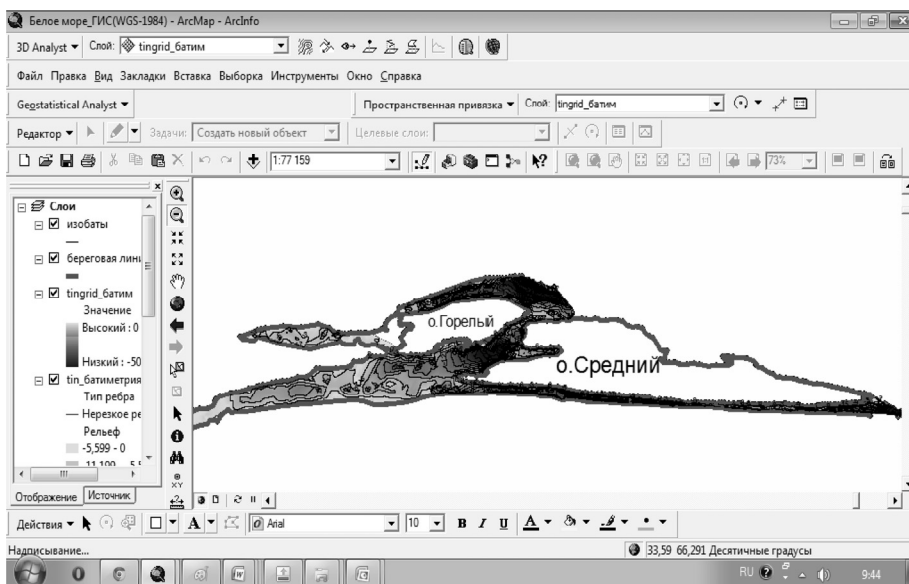


Рис. 2. Батиметрическая карта устьевой области реки Кереть
(пример построения в среде *ArcGIS 9.3.1*.)

На рис. 3 представлен один из основных исследуемых участков устьевой области реки Кереть – место, где речное русло расширяется, образуя залив эстуарного типа. Установлено, что здесь располагается зона смешения, где активно взаимодействуют речные и морские воды. В отдельные периоды времени происходит интенсификация перемешивания вод различного генезиса, наблюдаемая по всей толще воды. В 2007–2008 гг. для подробного исследования пространственной структуры галоклина участок был размечен при помощи береговых вех и буйков и выбраны три профиля для дальнейших георадиолокационных работ – один продольный (по направлению течения реки) и два поперечных. Привязка профилей на местности осуществлялась при помощи приемников GPS. Буйками отмечены положения станций, где проводились океанологические наблюдения.

Батиметрическая карта устьевой области реки Кереть

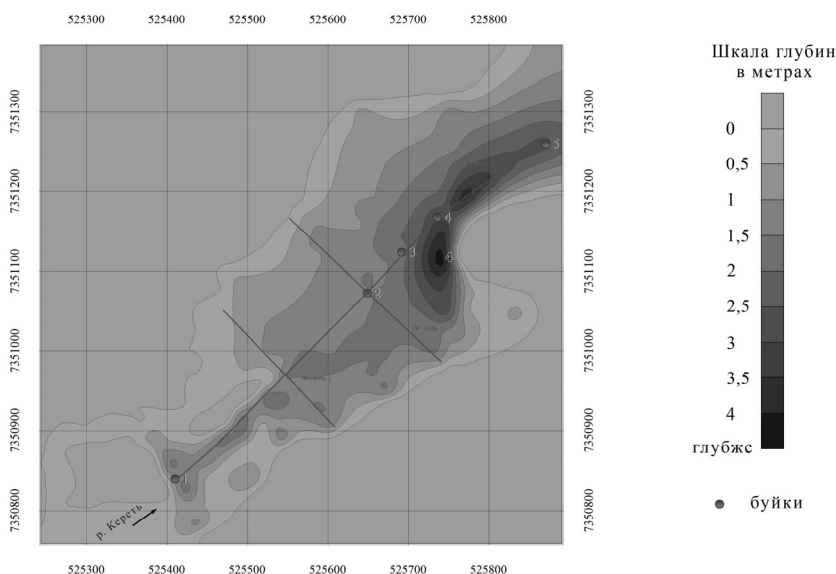


Рис. 3. Схема участка работ с георадиолокационными профилями и точками расположения океанологических станций

Такой комплекс контактных и дистанционных (неконтактных) наблюдений позволяет определять пространственные положения и временную изменчивость таких явлений как гидрофронт, слики, вихревые структуры, помогает рассчитать площадь приливной осушки. Под неконтактными наблюдениями здесь подразумевается уникальная технология георадиолокации водной толщи. Этот метод, разработанный при участии сотрудников кафедры Земли СПбГУ (Крылов и др., 2011), позволяет в близком к реальному масштабе времени непрерывно определять глубину залегания галоклина, и, возможно, другие неоднородности вертикальной структуры речных вод. Поскольку морская и речная вода обладают резко отличающимися значениями электропроводности, существуют хорошие предпосылки для оперативного выявления границы между ними при помощи метода георадиолокации.

Данный метод применялся не только в ходе выполнения радарного профилирования по заданным галсам (маршрутам), но и в режиме многочасовых океанологических станций. План натурного эксперимента предполагал детальную георадиолокационную съёмку устьевой области на разных фазах приливо-отливного цикла, проведение океанологических работ на многочасовых станциях, а также проведение подробных промерных работ. Такие натурные эксперименты проводились, как правило, в летний межсезонный период (август). Направление профиля при буксировке георадара контролировалось визуально по гидрометрическим створам. При прохождении профиля на радарограмме ставились временные метки, чтобы впоследствии получать истинное расстояние по приемнику *GPS*. Это позволило в дальнейшем, при визуализации радарограмм, учесть непостоянство скорости перемещения по профилям, связанное с влиянием течения реки и ветрового сноса. В моменты постановки меток производилось измерение глубины с помощью закрепленного на буксирующей лодке эхолота *Garmin*. Одновременно с георадарными работами в закреплённых точках акватории выполнялись измерения температуры, электропроводности, скорости и направления течения на разных глубинах. Помимо этого, проводились подробные наблюдения за уровнем воды на различных участках устья Керети.

Все это дало весьма большой объём различных данных о распределении и особенностях взаимодействия пресных и соленых вод в устьевой области реки Кереть. Были построены карты распределения различных гидрологических характеристик на различных фазах приливо-отливного цикла. Однако, уже в ходе предварительной обработки результатов встала проблема оперативной визуализации данных междисциплинарных исследований. Наиболее перспективным путем решения этой проблемы видится использование компьютерной технологии *географических информационных систем (ГИС)*. При помощи многофункционального пакета *ArcGIS 9.3.1*, получена интересная интерпретация результатов измерений, причём исследование динамики вод может проводиться в ходе реализации проекта *ГИС устьевой области реки Кереть Белого моря*. Это существенно облегчит усвоение и анализ пространственных данных и упростит задание граничных условий для численной гидродинамической модели устьевой области.

Выражаю особую признательность моим коллегам по проведению исследований взаимодействия вод в устье Керети: В.В. Ионову (кафедра океанологии СПбГУ), С.С.Крылову (кафедра физики Земли СПбГУ), Г.В.Пряхиной (кафедра гидрологии суши СПбГУ). Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант РФФИ-11-05-01211-а.

Литература

Долотов Ю.С., Коваленко В.Н., Ливищ В.Х., Филатов Н.Н. и др. О динамике вод и взвеси в эстуарии р.Кереть (Карельское побережье Белого моря). *Океанология*, 2002. Т. 42, № 5, с. 765–774.

Ионов В.В., Смагин Р.Е., Пряхина Г.В., Федорова И.В. Исследование зон смешения в устьевой области р. Кереть Белого моря. *Известия Русского географического общества*, 2009. Т. 141, № 2. С. 63–70.

Крылов С.С., Бобров Н.Ю., Киселев Е.Ю., Петлеванный Д.И. Пряхина Г.В., Смагин Р.Е. Применение георадарной технологии для изучения динамических процессов в устьевых областях. «Исследования океанов и морей» Труды ГОИН, 2011. Вып. 213. Москва, с. 356–368.

К ВОПРОСУ О ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ В МОРСКИХ БЕНТОСНЫХ СООБЩЕСТВАХ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ МАРИКУЛЬТУРЫ

Д.С. Смагина, М.В. Иванов

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет»,
Санкт - Петербург, Россия, e-mail: daria.smag@yandex.ru*

Создание хозяйств марикультуры в акватории приводит к усилению потоков органических веществ в бентосные системы. Что, в свою очередь, приводит к изменениям, проявляющимся в бентосных сообществах.

Существует большое количество работ описывающих подобные эффекты. Но большинство таких работ носит относительно кратковременный характер (как правило, однократное исследование) и почти всегда они проводятся уже в момент существования хозяйства марикультуры. Контролем в этом случае выступают соседние неза тронутые влиянием марикультуры бентосные сообщества, что не всегда корректно. Очень редки ситуации подробных гидробиологических исследований до начала культивирования в акватории. Одно из таких исследований (Голиков и др., 1988) подробно описывает состояние бентосных сообществ в районе о. Соностров (Кандалакшский залив, Белое море) до установки там хозяйств марикультуры мидий.

В 1985 г. А. Н. Голиков с коллегами осуществили подробнейшую гидробиологическую съемку в акватории Соностровской Салмы, буквально за год до начала культивирования в ней беломорских мидий. Именно эти данные и были использованы нами в качестве фоновых. С тех пор прошло более 25 лет, все это время промышленные мидиевые хозяйства около о. Соностров функционировали и создавали дополнительную нагрузку на бентосные сообщества.

Идея нашей работы заключалась в проверке гипотезы, что за такой длительный срок воздействия бентосные сообщества должны пройти период адаптации к новым условиям и перейти в новое устойчивое состояние, отличное от предыдущего – фонового. Этот эффект должен быть градуирован относительно источника поступления органических веществ.

Таким образом, целью исследования было оценить изменения, происходящие в бентосном сообществе при длительном и устоявшемся поступлении дополнительных органических веществ в донные экосистемы.

В 1985 г. исследователи заложили в акватории Сонострова пять гидробиологических разрезов полного профиля, на которых были взяты пробы макро- и мейобентоса. Из пяти разрезов для изучения нами были выбраны два: в южном и северном проливах в районе о. Соностров. Материал был собран в летние сезоны 2011–2012 гг. Такой выбор был определен тем фактом, что над этими разрезами впоследствии мидиевые хозяйства функционировали и, как следствие, воздействовали на бентосные системы, наиболее длительный период. В южном проливе между островком и Соностровом, где был заложен гидробиологический разрез № 2, участок мидиевого хозяйства существует с 1986 г. до настоящего времени. Над разрезом № 4 участки мидиевого хозяйства были ликвидированы в конце 1990-х годов. С 2009 г. мидиевое хозяйство снова расширилось до разреза № 4.

Проботбор макрозообентоса у Голикова осуществлялся водолазным количественным методом. Сначала водолаз оценивал площади, занятые одним субстратом

и однотипным населением, выделялся биоценоз, затем в каждом биоценозе производился отбор проб водолазным дночерпателем 0,2 м². В нашем случае возможности работать водолазным методом не было, но мы постарались собрать материал максимально подробно. Пробы были собраны дночерпателем Ван-Вина (1/40 м²) в трехкратной повторности в местах расположения всех биоценозов выделенных Голиковым с коллегами. Отдавая себе отчет в том, что водолазный метод сбора более подробен, для анализа из данных Голикова нами были выбраны только те виды, вероятность попадания которых в 3/40 м² выше 5%, то есть не учитывались виды с очень низкими численностями.

Для каждой из точек мы провели сравнение с данными Голикова по общим характеристикам (численности, биомассы), видам-доминантам, представленности трофических и таксономических группировок, были рассчитаны индекс видового разнообразия Шеннона и индекс фаунистического сходства Жаккара.

Разрез № 2, расположенный в южном проливе, представлял наибольший интерес, так как пересекает участок мидиевого хозяйства, существовавший здесь более длительное время: весь период от 1989 года и по сей день. Кроме того, этот участок отмечен Голиковым как типичный для распределения жизни у материка в районе о. Соностров.

Южный пролив представляет собой чашеобразный участок с наибольшими глубинами порядка 14 м, расположенными в средней части пролива. В 1985 г. на данном разрезе Голиковым было выделено семь биоценозов, два из которых располагались на малых глубинах с обоих концов пролива. Стараясь попасть в каждый из них, ориентируясь по глубинам с помощью эхолота и расстоянию от материка, нами в 2011 г. было заложено девять точек сбора проб.

У Голикова во всех биоценозах доминирующими формами были моллюски и асцидии. Через 25 лет культивирования мидий относительные величины обилия донной фауны сильно сместились в сторону полихет. На самых глубоких станциях полихеты стали доминантами, на остальных вышли в субдоминанты. Нами не было поймано ни одной асцидии.

В самой глубокой точке пролива нами отмечены заморные проявления, выражающиеся в редукации биоразнообразия (найден только один вид оппортунистических полихет *Capitella capitata*, численностью порядка 200 экз./м²).

Практически на всех станциях, кроме заморной, биомасса полихет увеличилась в 3–5 раз при уменьшении количества видов полихет на станции с 6±1 в 1985 г. до 3±1 в 2011 г. Основную долю в биомассе многощетинковых червей стали занимать *Terrebelides stroemi* и *Scoloplos armiger*, сменив *Pectinaria hyperborea* и *Nereis* sp.

Биомассы моллюсков на большинстве станций уменьшились. Этот таксон исчез на заморной станции и практически исчез на станции 6 рядом с ней. В несколько раз сократил обилие на мелководных станциях. И только на двух станциях, располагающихся рядом с мидиевым хозяйством, биомассы моллюсков сильно увеличились в основном за счет крупных *Astarte elliptica*. По видовому составу *A. elliptica* и *Macoma calcarea* в целом заменили *Astarte borealis* и *Arctica islandica*.

В отношении трофических группировок, доминанты сменились с сестонофагов на собирающих детритофагов (за счет смены *Ascidia* gen. sp. на *M. calcarea* и *T. stroemi*).

Количество таксонов несколько уменьшилось (23 ± 6 в 1985 г., 14 ± 7 в 2011 г.), (что может быть связано как с изменениями сообщества, так и различиями в методах сбора), при сохранении показателей общих биомасс (62 ± 38 г/м² в 1985 г., 62 ± 38 г/м² в 2011 г.).

Таким образом, семь биоценозов Голикова, через 25 лет культивирования моллюсков в акватории сменились на пять биоценозов: на малых глубинах (до 6 м) в левой части пролива располагается биоценоз *A. borealis* и *T. stroemi*, затем биоценоз с преобладанием *Mya truncata*, глубины 12–14 м в левой и в правой частях пролива занимает биоценоз *S. armiger* и *T. stroemi*, на малых глубинах в правой части пролива расположен биоценоз *A. elliptica* и *A. borealis*, наибольшие глубины пролива занимает *C. capitata*.

Разрез №4 был заложен на участке с большими глубинами, до 30 м, и более высокими скоростями течения. Голиков отметил на участке между островком и Соностровом пять биоценозов, один из которых отмечен на разрезе в двух местах. В 2012 г. мы осуществили сбор проб, стараясь попасть в каждый из биоценозов, выделенных предыдущими исследователями.

Асцидии исчезли по всей акватории. Голиков массово отмечал их на глубинах 8–15 м. В 2012 г. нам не удалось поймать ни одной.

На всех станциях возросла биомасса полихет в 4–5 раз, при этом их видовое разнообразие осталось на прежнем уровне (6 ± 2 , 5 ± 1 видов на станции в 1985 и 2012 гг. соответственно).

Биомасса моллюсков на разрезе выросла, кроме станции 1, где не были найдены крупные *Serripes groenlandicus*. В основном увеличение биомассы моллюсков произошло за счет крупных *A. elliptica* и *A. borealis*.

В 2012 г. по трофическому составу доминируют собирающие детритофаги, за счет развития полихет *T. stroemi*, и, на глубинах более 15 м, моллюсков *M. calcarea*. Число таксонов, в среднем, уменьшилось (29 ± 12 в 1985 г., 21 ± 2 в 2012 г.), при этом в три раза возросли общие биомассы (48 ± 35 г/м² в 1985 г., 131 ± 73 г/м² в 2012 г.).

Таким образом, пять биоценозов, выделенных Голиковым, через 25 лет культивирования мидий в акватории сменились на три биоценоза: в правой части у островка преобладают *Ophiura robusta* и *T. stroemi*, всю возвышенную часть и малые глубины в левой части пролива занимает биоценоз *A. elliptica* и *T. stroemi*, на наибольших глубинах располагается биоценоз *M. calcarea* и *P. hyperborea*.

За 25 лет существования Соностровского мидиевого хозяйства в бентосе акватории сменились практически все биоценозы. Доминирующее положение практически на всех станциях заняли крупные полихеты-собиратели, по-видимому, именно они оказались наиболее устойчивы к увеличению потока органических веществ.

Величины обилия возросли примерно в 3 раза на более удаленном от основного места культивирования разрезе №4 и остались на прежнем уровне на разрезе №2, непосредственно проходящем через основной участок мидиевого хозяйства.

На разрезе №2, в наиболее глубоком месте под марикультурой, были отмечены локальные заморные явления (станция 5), но они не распространялись на соседние станции. Это свидетельствует о достижении предела экологической (аквакультурной) емкости данной акватории.

О ДИНАМИКЕ ЧИСЛЕННОСТИ НАВАГИ ОНЕЖСКОГО И ДВИНСКОГО ЗАЛИВОВ БЕЛОГО МОРЯ

В.А. Стасенков, С.В. Пастухов

Северный филиал Федерального государственного унитарного предприятия «Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича», Архангельск, Россия, e-mail: stasenkov@pinro.ru

Промысел наваги существует в Белом море уже несколько сот лет. Более ста лет ведётся статистика вылова этой рыбы. Согласно этим данным максимальные уловы наваги в Белом море достигали 2,5 тыс. т. Причем такие уловы отмечались как в первой половине 20 в., так и во второй. Интересно отметить, что среднегодовой вылов наваги в Белом море за первые пятьдесят лет ведения статистики практически оказался равным среднегодовому вылову за последующие пятьдесят лет, около 1200 т. Это несмотря на то, что промысловое усилие (количество выставленных орудий лова) сократилось почти в десять раз. Сохранению уловов на достаточно высоком уровне способствовало значительное увеличение вылова на орудия лова, что явилось результатом более эффективного их использования.

Доля вылова наваги в каждом из заливов (в процентах от общего вылова в Белом море) за столетие также почти не изменилась (рис. 1). Это косвенно указывает на то, что вылов в каждом из заливов в многолетнем аспекте, определялся, прежде всего, численностью локального стада наваги, а не колебаниями интенсивности промысла.

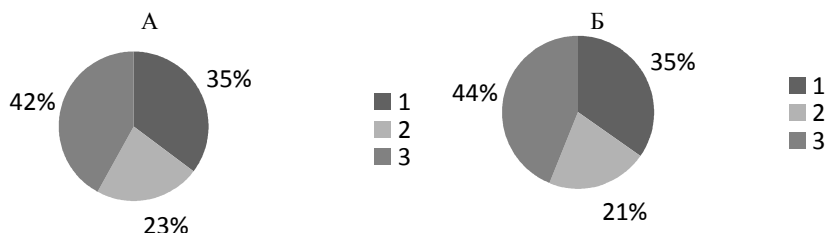


Рис. 1. Соотношение вылова наваги в заливах Белого моря в 1898–1958 гг.(А) и в 1959–2006 гг.(Б):

1 – Онежский залив; 2 – Двинский залив; 3 – Мезенский залив и Воронка.

Надежная промысловая статистика является важным, если не основным компонентом процедуры оценки численности рыб биостатистическими методами. В конце XX – начале XXI-го вв. промысловая информация с прибрежных рыболовных участков в Белом море сократилась до минимума. В частности данные по вылову наваги уже не отражают состояние ее запасов. По нашим наблюдениям примерно только около половины выловленной рыбы попадает в статистические сводки. Кроме того промысел наваги ориентируется на возможности неорганизованного вывоза, который осуществляется нерегулярно. Промысловое усилие за двадцать лет сократилось во много раз, данных по количеству выставленных орудий лова нет. В этих условиях проблематичными становится оценка запасов этой рыбы и подготовка прогноза вылова.

Выявление многолетней динамики запасов наваги методом линейных преобразований временных рядов в некоторой степени позволяет решить эту задачу. Ранее нами было установлено, что для северной наваги существует зона оптимальных температур воды и воздуха, при которой формируются урожайные поколения. В связи с тем, что навага принадлежит к рыбам арктического комплекса, на южной границе ареала (Онежский и Двинский заливы) температурный оптимум формируется в «холодные» годы, на северной границе (Мезенский залив и Воронка) – в «теплые». Соответственно коэффициент корреляции между численностью поколений наваги и температурой воды и воздуха в южных районах имеет отрицательные значения, в северных – положительные. Однако, период для которого были рассчитана численность поколений и запас является относительно коротким, с начала 60-х гг. до конца 80-х гг. XX в. Именно за этот промежуток времени имеются надежные данные по уловам наваги и возрастному составу популяций. Это не позволило в должной степени проследить динамику численности наваги за длительный период времени. Тем не менее, отсутствие надежных данных по вылову наваги в последние десятилетия, заставило использовать все возможности для изучения колебаний ее запасов, в частности архивные данные по промыслу.

В Онежском и Двинском заливах навага имеет короткий цикл жизни и созревает в два года. В составе запаса пополнение преобладает над остатком. В первом приближении запас можно принять равным величине поколения, которое вступает в промысел. Далее приняли, что вылов отражает величину запаса. Таким образом, имея более или менее надежную статистику вылова за продолжительный период времени (60 лет), приняли, что динамика вылова соответствует колебаниям численности поколений или запаса за это же время. Сравнительный анализ показал, что вылов наваги в Онежском и Двинском заливах возрастает через два года (время созревания наваги) после года с холодной весной, когда формируется урожайное поколение. Для наглядности показатели весенней температуры воды сдвинуты на два года назад. Эта зависимость прослежена на протяжении 60 лет, что говорит об ее устойчивости (рис. 2, 3).

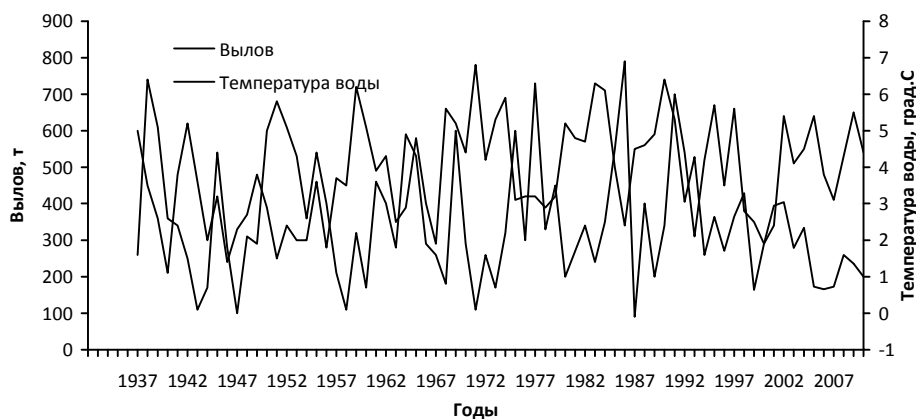


Рис. 2. Динамика весенней температуры воды (ГМС Раз-Наволоки, май) и вылова наваги через два года в Онежском заливе Белого моря

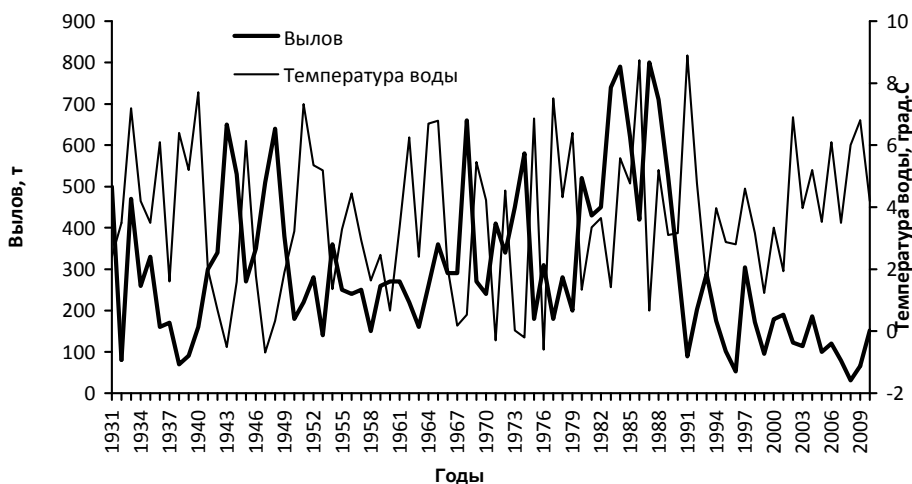


Рис. 3. Динамика весенней температуры воды (ГМС Унский маяк, май) и вылова наваги через два года в Двинском заливе Белого моря.

Как видно из приведенных графиков амплитуда колебаний значений температуры воды и вылова является неоднородной. Периоды высоких значений этих параметров сменяются низкими. При сглаживании значений 5-летними скользящими средними обнаруживаются циклические колебания температуры воды и соответственно противофазные колебания вылова (рис.4). Можно полагать, что таким же образом изменяется и величина запаса наваги.

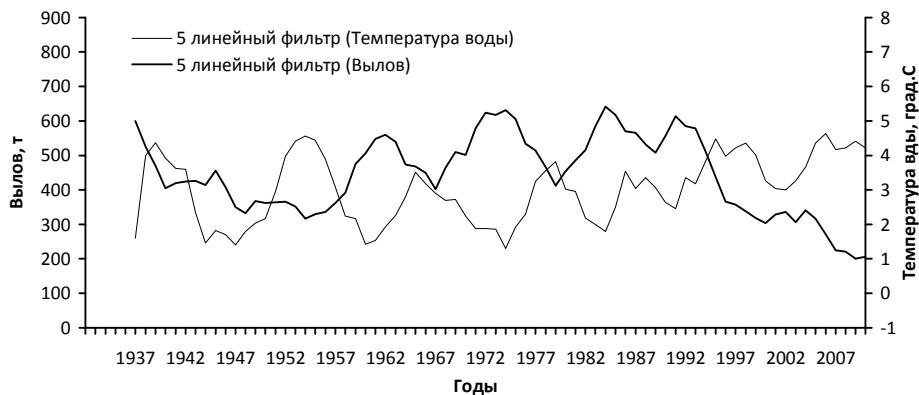


Рис. 4. Динамика весенней температуры воды (ГМС Раз-Наволоки, май) и вылова наваги через два года в Онежском заливе Белого моря, сглаженная по пятилетиям

На протяжении семидесяти лет наблюдалось семь циклов колебаний температуры и вылова, т.е. их период в среднем равнялся 10–11 годам. Очевидно, что период колебаний этих параметров связан с циклами солнечной активности и общей циркуляции атмосферы.

Связь между показателями вылова наваги и весенней температуры воды продолжительное время была достаточно четкой. Только в первом цикле вылов не вполне соответствовал климатическим изменениям, что по-видимому было связано с его уменьшением во время войны (см.рис. 4). Выявленную закономерность вполне можно было использовать при подготовке прогноза вылова наваги. Однако, за последние двадцать лет среднемесячная температура воды в мае в Онежском и Двинском заливах выросла почти на два градуса. Амплитуда годовых изменений температуры уменьшилась, а майская температура воды в годы с относительно пониженным весенним прогревом водных масс практически стала соответствовать таковой в «теплые» годы (рис. 5).

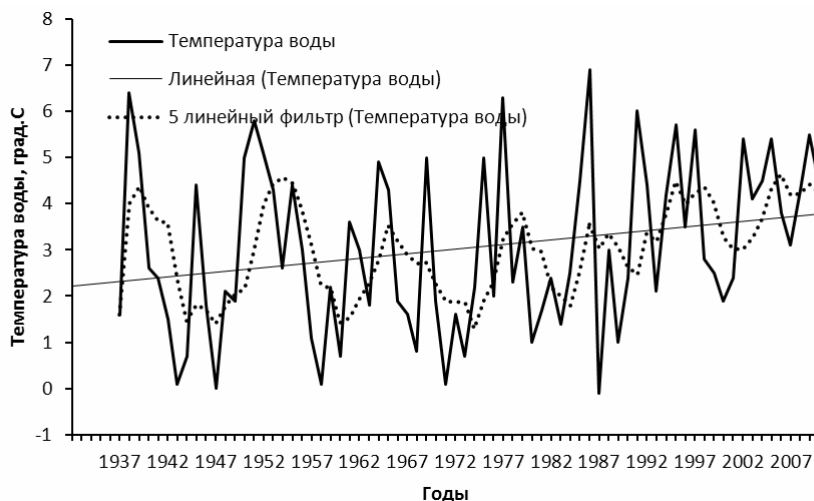


Рис. 5. Динамика весенней температуры воды (ГМС Раз-Наволоки, май) в Онежском заливе Белого моря, сглаженная по пятилетиям

К сожалению, проверить насколько соответствует современная численность поколений наваги климатическим изменениям сложно, так как данные по уловам уже не соответствуют критерию величины поколения и запаса. Тем не менее, цикличность изменений численности поколений наваги, очевидно, сохранилась, о чем можно судить по динамике возрастного состава популяций. То есть выявленную закономерность можно учитывать при подготовке прогноза вылова. При существующей климатической ситуации очевидно не следует рассчитывать на появление в Онежском и Двинском заливах урожайных поколений наваги. Скорее всего, их численность будет средней или ниже среднего уровня. Не исключается также некоторое изменение характера зависимости «весенняя температура воды – численность поколения» за счет ускорения эмбрионального развития и более раннего выклева личинок в «теплые» годы. К моменту высокого прогрева верхних слоев воды личинки уже мигрируют в нижние и выживаемость их повышается. Эти предположения нуждаются в дополнительных исследованиях.

ОЦЕНКА РОЛИ ВОДЕМОВ СУПРАЛИТОРАЛИ В БИОТИЧЕСКОМ БАЛАНСЕ БЕЛОГО МОРЯ

И.А. Стогов, Е.А. Мовчан

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет»,
Санкт-Петербург, Россия, e-mail: igor_stogov@yahoo.com*

В ходе многолетних исследований эфемерных водоемов побережья островов Керетского архипелага Кандалакшского залива Белого моря, которые ведутся специалистами кафедры ихтиологии и гидробиологии СПбГУ с 1990 г., с высокой степенью надежности оценены структурные показатели их биоты (Стогов и др., 1996; 2000; 2005; 2009; 2010; Мовчан, Стогов, 2002). В этих публикациях неоднократно подчеркивалась специфика таксономического состава биоты, большая вариабильность величин обилия гидробионтов и исключительно высокая биологическая продуктивность этих своеобразных микрогидроэкосистем супралиторали.

Авторами на основании исследования 35 водоемов 9 островов Керетского архипелага Кандалакшского залива Белого моря оценены морфометрические показатели водоемов и структурные показатели их биоты (таб.).

**Морфометрические и биологические характеристики
водоемов супралиторали Белого моря**

Показатель	Минимум	Максимум	Среднее
Площадь, кв.м	0,5	90	9,9+1,6
Объем воды, куб.м	0,2	31,5	3,5+0,7
Численность зоопланктона, тыс.экз/куб.м	10	1850	289,5+40,5
Биомасса зоопланктона, г/куб.м	0,1	832,9	60,4+13,3
Численность зообентоса, тыс./кв.м	0,6	57,6	12,3+1,3
Биомасса зообентоса, г/кв.м	1,6	479,2	41,5+7,0

На основании полученных данных можно предположить, что общие запасы зоопланктона пресноводных супралиторальных ванн составляют около 210 г., зообентоса – 410 г. сырого органического вещества в среднем на водоем. При среднегодовых Р/В-коэффициентах 15 для зоопланктона и 8 для зообентоса суммарная продукция консументов составит около 6,5 кг сырого органического вещества на водоем или около 650 г на кв. метр поверхности в среднем за год.

По литературным данным и нашим наблюдениям на 100 м береговой полосы островов Белого моря приходится не менее 15–20 водоемов, располагающихся от 3–5 до 40 м над уровнем моря. Специфика круговорота органического вещества в этих своеобразных водоемах заключается в том, что, невзирая на высокие скорости аккумуляции донных отложений, средняя глубина их в течение всего более чем 20-летнего периода наблюдений практически не изменялась. Это возможно лишь в случае полного сноса аккумулярованных донных отложений, содержащих в основном органическое вещество (потери при прокаливании составили в среднем 58,9+4,6%), паводковыми и талыми водами, стекающими по склону в море.

Таким образом, со 100-метровой береговой линии островов Кандалакшского залива в прибрежные экосистемы Белого моря ежегодно поступает не менее 50 кг сырого органического вещества, создаваемого планктонными и донными беспозвоночными на скальных ванн супралиторали.

Авторы с грустью и благодарностью вспоминают профессора ЗИН РАН Э.Е. Кулаковского (1939–2003), предложившего оценить вклад водоемов супралиторали в биотический баланс Белого моря.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА УРОВЕНЬ ВОССТАНОВЛЕННОГО ГЛУТАТИОНА В ТКАНЯХ МИДИЙ

И.В. Суховская¹, Л.П. Смирнов¹, О.Б. Столяр²

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии
Карельского научного центра Российской академии наук, Петрозаводск, Россия,
e-mail: sukhovskaya@inbox.ru;

²Тернопольский национальный педагогический университет им. Владимира Гнатюка,
Тернополь, Украина

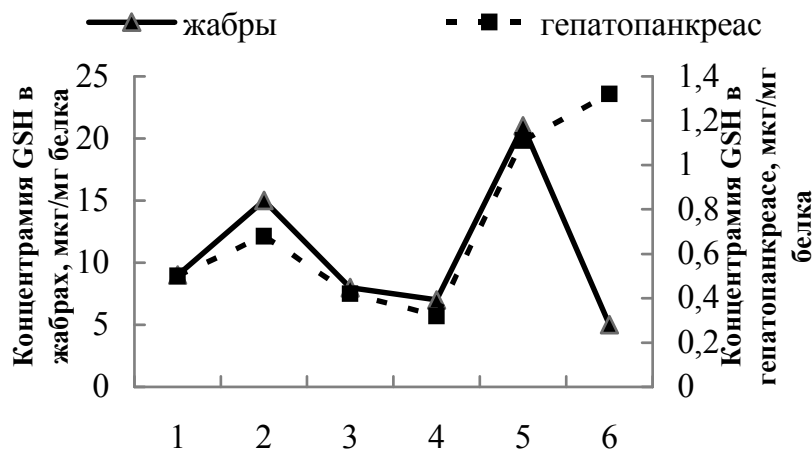
Известно, что восстановленный глутатион (GSH) является одним из наиболее важных низкомолекулярных тиолсодержащих соединений пептидной природы, обнаруженных в клетках животных и растений (Бойцова, 1998; Gonzalez, 1995; Lind et al., 1989; Meister, Anderson, 1983; Meister, 1994). Этот трипептид играет уникальную роль в формировании резистентности организма к самым различным химическим и физическим воздействиям (Gonzalez, 1995; Meister, Anderson, 1983; Meister, 1994).

В задачу настоящего исследования входило изучение влияния разных температур на содержание GSH в тканях обыкновенной мидии *Mytilus edulis* L., типичного обитателя прибрежной зоны Белого моря. Сбор субстратных мидий проводили с обрастаний искусственных субстратов экспериментальной марикультуры в бухте Круглая (губа Чупа, Кандалакшский залив, на базе Беломорской биологической станции «Картеш» ЗИН РАН) с глубин 1,5–2,0 м. Перед началом эксперимента животных акклимировали к лабораторным условиям в течение трех суток в аквариумах с аэрируемой водой, при постоянной температуре (0–+2 °C) и солености 25‰, с постоянной сменой воды (контрольная точка) (Bakhmet I.N., Zdorovenov R.E., 2008). В ходе эксперимента мидии подвергались воздействию повышенной температуры (+8 °C) в течение 24 часов, затем были возвращены в исходные лабораторные условия (0–+2 °C). Отбор проб проводился через 1 и 24 часа температурного воздействия, а также через 1, 24 и 72 часа после его окончания.

Концентрацию GSH определяли спектрофлуориметрически с помощью о-фталевого альдегида (Sigma-Aldrich) на спектрофлуориметре CM 2203 (Беларусь) с использованием модифицированных методик Cohn, Lyle (1966) и Hissin, Hilf (1976).

Обнаружено, что концентрация GSH в жабрах была на порядок выше, чем в гепатопанкреасе. Вероятно, это связано с тем, что жабры - важнейший орган, который первым реагирует на изменения в окружающей среде (Avery et al., 1998; Trevisan et al., 2012).

Показано, что изменение температурного режима приводило к изменению уровня GSH в обоих органах. При этом тренд изменений концентрации GSH в жабрах и гепатопанкреасе был сходным, за исключением последней точки (72 часа после возврата к обычным условиям). Через 1 час температурного воздействия (+8 °C) уровень GSH возрос почти в два раза, что может являться компенсаторной реакцией на стресс, вызванный резким изменением температуры воды. Известно, что повышение уровня восстановленного глутатиона в клетках играет защитную роль (Britten, Green, 1989), которая состоит в стимуляции процессов репарации и предохранении макромолекул от алкилирования (Ahmad et al., 1987).



Концентрация восстановленного глутатиона в жабрах и гепатопанкреасе мидий при температурном воздействии в условиях эксперимента по оси абсцисс:

1 – контроль (0 °C); 2–1 час (+8 °C); 3–24 часа (+8 °C); 4–1 час (+0 °C); 5–24 часа (+0 °C); 6–72 часа (+0 °C)

Спустя сутки после воздействия содержание GSH как в жабрах, так и в гепатопанкреасе, вернулось к контрольным значениям. Вероятно, именно такое время потребовалось мидиям для компенсации последствий теплового стресса.

Через час после возвращения животных к исходным условиям уровень GSH в исследованных тканях несколько снизился, а затем через 24 часа его содержание в жабрах и гепатопанкреасе резко увеличилось (в 3–3,5 раза, соответственно). Через 72 часа в жабрах концентрация GSH вернулась к контрольным значениям, а в гепатопанкреасе отмечен дальнейший рост его уровня. Вероятно, обнаруженный эффект связан с повторным изменением температурного режима, который привел к холодовому стрессу, оказавшему на исследованных мидий более сильное, по сравнению с тепловым, воздействие. Стоит отметить, что в эксперименте были использованы животные сублиторальных популяций, имеющие, скорее всего, более узкий диапазон термотолерантности по сравнению с мидиями, обитающими в литоральной зоне в условиях больших температурных перепадов.

Полученные результаты свидетельствуют, что изменение уровня GSH является биологическим ответом на создавшиеся условия среды обитания организмов, отражающие уровень устойчивости и лабильности глутатионовой системы (как отдельного звена АО защиты) к изменяющимся факторам среды и потенциальные возможности антиоксидантной системы в целом.

Настоящая работа выполнена с использованием оборудования ЦКП ИБ КарНЦ.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ «Ведущие научные школы Российской Федерации» НШ № 1642.2012.4, Программы ОБН РАН «Биологические ресурсы России: оценка состояния и фундаментальные основы мониторинга» на 2012–2014 гг.

МЕТАБОЛИЗМ И РАЗМЕР ТЕЛА МИДИЙ: ПРОВЕРКА ОДНОЙ АЛЛОМЕТРИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

А.А. Сухотин¹, О.Л. Возняк², Д.М. Мартынова¹, Н.Н. Фокина³

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Зоологический институт
Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: sukhotin@zin.ru;

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет»,
Санкт-Петербург, Россия;

³ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии
Карельского научного центра Российской академии наук, Петрозаводск, Россия

Снижение удельной скорости метаболизма (R) с размером тела животных отмечено более 150 лет назад, а после работ Клейбера (Kleiber, 1932), Броди (Brody, 1945), Цойтена (Zeuthen, 1947), Винберга (Винберг, 1950) и многих других установлено, что она зависит от массы тела (W) согласно степенной функции с показателем степени, близким к -0.25 (R пропорциональна $W^{-0.25}$). На протяжении второй половины 20 века накоплено огромное количество фактического материала, подтверждающего справедливость этой зависимости, как в разных таксонах организмов, так и в пределах одного вида и даже одного организма в онтогенезе. На млекопитающих животных показано также, что клеточный метаболизм снижается с увеличением размеров тела особи (Hulbert, Else, 2000; West et al., 2002). Однако до сих пор не существует удовлетворительной общепринятой теории, объясняющей как сам феномен снижения интенсивности обмена с массой тела, так и универсальный коэффициент -0.25 , описывающий это снижение. Отдельные попытки объяснения этих закономерностей осуществлялись давно, а в последние 15 лет был предложен целый ряд теорий, претендующих на решение данной задачи (обзор этой проблемы в специальном выпуске The Journal of Experimental Biology, v. 208, № 9, 2005). Все предложенные теории критикуются оппонентами, и пока ни одна из них не была однозначно принята. На наш взгляд, наиболее удовлетворительно и непротиворечиво объясняет снижение скорости клеточного и организменного метаболизма с размерами у птиц и млекопитающих теория мембранных пейсмекеров метаболизма (Membrane Pacemaker Theory – MPT: Hulbert, Else, 1999, J.Theor.Biol.), потому что она связывает морфологию и функцию биомембран и клеточные процессы, требующие максимальных затрат энергии, из чего составляется энергетический бюджет клетки и целого организма. Суть теории MPT сводится к следующему. С увеличением размеров тела организмов меняется состав жирных кислот в фосфолипидах клеточных и митохондриальных мембран в сторону повышения степени насыщенности жирных кислот. Это приводит к снижению жидкостности, а также проницаемости мембран, что, в свою очередь, снижает расходы энергии на процессы поддержания ионных градиентов вблизи клеточных мембран (например, работа Na^+/K^+ -АТФазы). Кроме того, уменьшается утечка протонов через внутреннюю мембрану митохондрий, и таким образом, повышается общая эффективность метаболизма. Мы проверяли применимость MPT к водным беспозвоночным животным. Предполагается, что в случае ее подтверждения, эта теория смогла бы послужить основой для объяснения биологической закономерности снижения метаболизма с массой в живых системах. Если MPT

оказывается не применима к беспозвоночным организмам, то ее универсальность отвергается. В качестве объекта для тестирования теории МРТ были выбраны беломорские мидии *Mytilus edulis* L. (Mollusca: Bivalvia). У них была определена зависимость от массы тела следующих параметров: 1. удельной скорости метаболизма на организменном уровне; 2. скорости метаболизма отдельных тканей (жабры); 3. скорости клеточного метаболизма в суспензии клеток; 4. относительного вклада в энергетический бюджет клеток основных процессов, связанных с затратами энергии (синтез белка, функционирование Na^+ - K^+ -АТФазы, потеря энергии за счет утечки протонов); 5. липидного и жирнокислотного состава клеточных и митохондриальных мембран.

Работа была выполнена на Беломорской биологической станции «Картеш» Зоологического института РАН, в Институте Биологии КарНЦ РАН и в Институте Полярных и Морских Исследований им. А. Вегенера (Бремерхафен, Германия) в 2010–2012 гг. Мидии были собраны на плотках аквакультуры вблизи Биостанции и акклимировались в лаборатории (+10°C, аэрация, ежедневная смена воды) в течение недели. Размерный диапазон изученных моллюсков составлял 3 порядка – общая масса животного (с раковиной) от 40 мг до 40 г. Скорость потребления кислорода мидиями, отдельными кусочками жаберной ткани (20–100 мг) и суспензиями клеток (10^7 клеток/мл) определяли методом «замкнутых сосудов» (объем респирометров от 1 до 500 мл). Концентрация кислорода была определена объемным методом Винклера или с помощью микрооптода (needle type microoptode, TX2-Тур, PreSens GmbH, Germany). Клетки изолировали путем инкубирования кусочков жаберной ткани в буфере, не содержащем ионов Са и Mg (Cherkasov et al., 2006). Вклад в общий энергетический бюджет клеток различных энергозависимых процессов, таких как биосинтез белка, поддержание ионных градиентов (работа Na^+ / K^+ АТФазы), а также противодействие утечки протонов оценивали опосредованно, по замедлению клеточного дыхания в присутствии ингибиторов (олигомицина, циклогексимида и оубаина для блокирования АТФ-синтазы, биосинтеза белка и Na^+ / K^+ АТФазы, соответственно) (Cherkasov et al., 2006). Качественный и количественный состав общих липидов, спектра жирных кислот и отдельных фракций фосфолипидов жабр мидий определяли с помощью тонкослойной, газо-жидкостной и высокоэффективной жидкостной хроматографии.

В результате исследования показано, что:

1. На организменном уровне удельная скорость метаболизма мидий (R) снижается с увеличением массы моллюсков согласно степенной функции с аллометрическим коэффициентом, характерным для большинства животных (рис. 1А).
2. Ни на тканевом (рис. 2А), ни на клеточном (рис. 2Б) уровнях организации не было обнаружено достоверной аллометрической зависимости скорости метаболизма. Отмеченная нами практически полная независимость клеточного метаболизма от размеров тела у мидий не согласуется с известными данными для млекопитающих и птиц (Hulbert, Else, 2000; Hulbert et al., 2002).

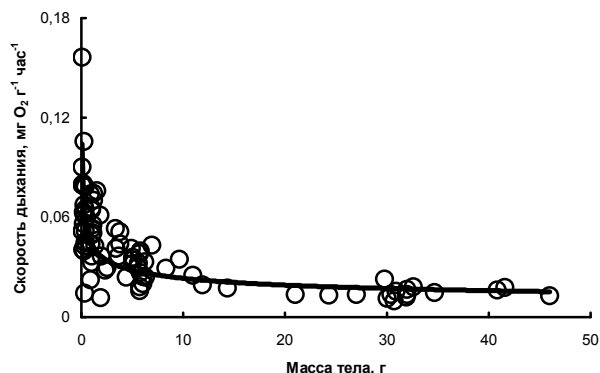


Рис. 1. Удельная скорость дыхания мидий в зависимости от массы тела

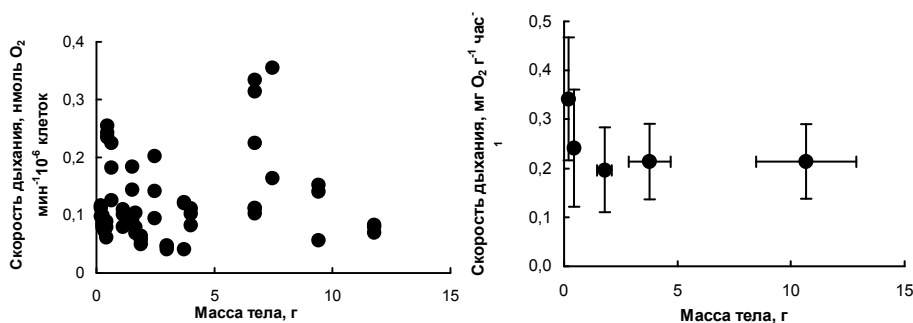


Рис. 2. Скорость дыхания жаберной ткани (А) и суспензии клеток этой же ткани (Б) мидий в зависимости от массы тела животных

3. Среди процессов, которые определяют клеточный бюджет энергии и, соответственно, скорость метаболизма, активность Na^+/K^+ -АТФазы не зависела от размеров организма. Энергетические затраты на биосинтез белка закономерно снижались с размером тела моллюсков, что, вероятно, связано с различиями в скорости роста крупных и мелких особей. По нашим данным, интенсивность утечки протонов не зависела от массы мидий. Это согласуется с аналогичными данными, полученными на гепатоцитах других эктотермных животных – рептилий (ящериц и крокодилов, Hulbert et al., 2002). В то же время, для млекопитающих было показано, что именно этот процесс во многом объясняет различия в интенсивности дыхания клеток особей разного размера (Brand et al., 1994; Hulbert, Else, 1999; 2000; Porter, 2000).

4. С увеличением массы тела мидий наблюдалось снижение доли структурных липидов, главным образом, доминирующего фосфолипида мембран – фосфатидилхолина. Повышенное содержание мембранных липидов у мелких особей связано, по-видимому, с активно протекающими ростовыми процессами и с высокой потребностью в структурных компонентах мембран при формировании новых клеток. В жирнокислотном спектре фосфолипидов жабр мидий выявлены изменения, обусловленные различиями в размерах тела моллюсков (снижение доли олеи-

новой (18:1n-9), α -линоленовой (18:3n-3) и докозапентаеновой (22:5n-6), а также повышение содержания гадолеиновой (20:1n-11), эйкозапентаеновой (20:5n-3) и арахидоновой (20:4n-6) кислот с увеличением размера мидий). Однако аллометрического снижения индекса ненасыщенности или повышения доли насыщенных жирных кислот в составе фосфолипидов мембран не наблюдалось. Наши результаты не согласуются с литературными данными, полученными на млекопитающих разных размеров (Couture, Hulbert, 1995), у которых отмечено значительное аллометрическое снижение доли докозагексаеновой кислоты (22:6n-3) и общее повышение уровня насыщенности жирных кислот.

На основе различий в проницаемости клеточных и митохондриальных мембран, обусловленной жирнокислотным составом фосфолипидов, была предложена теория мембранных пейсмекеров метаболизма (Hulbert, Else, 1999; 2000; Hulbert, 2007). В нашем случае, судя по косвенным данным (оценка утечки протонов и работа Na^+/K^+ АТФазы) проницаемость мембран в клетках мидий разного размера была сходной. Состав жирных кислот в мембранах менялся у разноразмерных моллюсков, но закономерных различий в степени насыщенности не отмечено. Аллометрия метаболизма не проявлялась на суб-организменных уровнях организации. Поэтому, следует заключить, предложенная для эндотермных животных (птиц и млекопитающих) теория мембранных пейсмекеров не объясняет аллометрию интенсивности метаболизма эктотермных организмов (например, мидий), и, вероятно, не может считаться универсальной.

Работа была поддержана грантом РФФИ № 10-04-00316а, а также стипендией института Hanse-Wissenschaftskolleg (Германия).

ХАРАКТЕРИСТИКА ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРЫ АТЛАНТИЧЕСКОГО ЛОСОСЯ Р. ПОНОЙ

А.В. Ткаченко

Федеральное государственное унитарное предприятие «Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича», Мурманск, Россия, e-mail: tkach@pinro.ru

Река Поной – крупнейшая лососевая река в Мурманской области, впадающая в Белое море. В ней обитает популяция атлантического лосося (*Salmo salar* L.) с группами летнего и осеннего хода в несколько десятков тысяч особей. Многолетнее соотношение летнего и осеннего лосося составляет 16 и 84%, соответственно. Возрастная структура включает в себя 34 группы (2+2+ – 6+3+; 2+2+SM+ – 6+3+SM+) (Неклюдов, Егорова, 1993). В период нагула лосось р. Поной проводит в море от одного до трех лет. Рыбы с морским возрастом 1+ (1SW) составляют в среднем 45%, 2+ (2SW) – 55%, а 3+ (3SW) достаточно редки – менее 1%. Среднемноголетняя встречаемость лососей с морским возрастом 1+ и 2+ для летней расы составляет 61,0 и 38,8%, а для осенней – 42,3 и 57,4% соответственно (Прусов, 2004). Перед скатом в море молодь атлантического лосося проводит в реке от двух до шести лет. Основная масса рыб скатывается в возрасте 3+ и 4+ (около 90%). Возрастные группы 2+ и 5+ редко превышают 10%, а особи в возрасте 6+ встречаются единично. Среднемноголетнее процентное содержание этих групп среди покатикиков составляет 51,2 и 40,2% соответственно (Прусов, 2004).

В последнее время в различных частях ареала атлантического лосося наблюдается тенденция к снижению численности производителей с возрастом более одного года морского нагула. В этой связи цель исследования – сравнительный анализ возрастной структуры атлантического лосося р. Поной в 2010–2012 гг. и среднемноголетних данных за период 1995–2003 гг. для речного возраста и с 1964–2003 гг. для морского возраста.

Сбор ихтиологического материала осуществлялся в конце мая–начале октября 2010–2012 гг. Всего собранно и обработано 1060 возрастных проб.

Проведенные исследования показали, что соотношение рыб с речным возрастом 3+ и 4+ изменилось. Встречаемость лососей с речным возрастом 3+ была выше среднемноголетнего значения, и их процентное содержание в нерестовом стаде в 2010–2012 гг. составило 67,4, 72,4 и 59,5% соответственно. Лососей с речным возрастом 4+ было 30,9, 21,0 и 33,3% соответственно. Численность рыб в возрасте 2+ и 5+ не превышала 8%, а рыбы в возрасте 6+ встречались единично. Соотношение возрастных групп в нерестовом стаде в 2010–2012 гг. и возрастных групп покатикиков в период 1995–2003 гг. показано на рис. 1.

В 2010 г. основу летней группы лосося составили рыбы с морским возрастом 2+ – 61,2% от общего количества, а рыб в возрасте 1+ – 35,8%. В 2011–2012 гг. преобладали лососи с возрастом 1+ – 57,6 и 92,3% соответственно. Лососи с морским возрастом 2+ составили 42,5% в 2011 г., 7,7% – в 2012 г. (рис. 2).

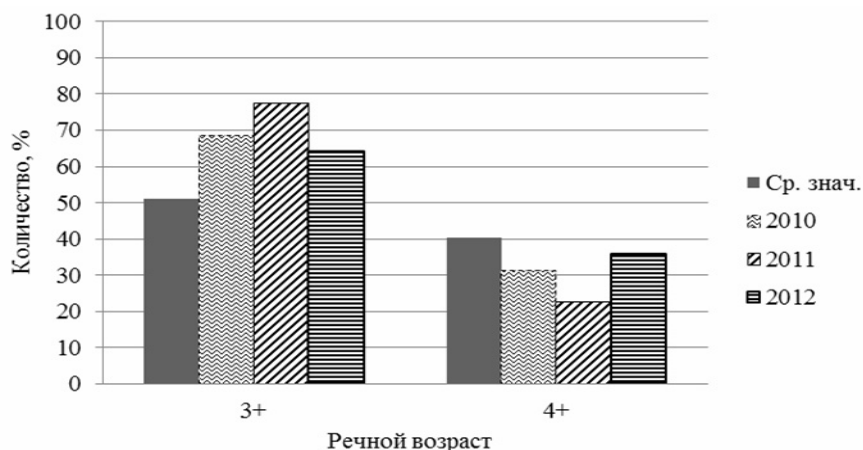


Рис. 1. Речной возраст атлантического лосося р. Поной у покатников в 1996–2003 гг. и среди производителей в 2010–2012 гг.

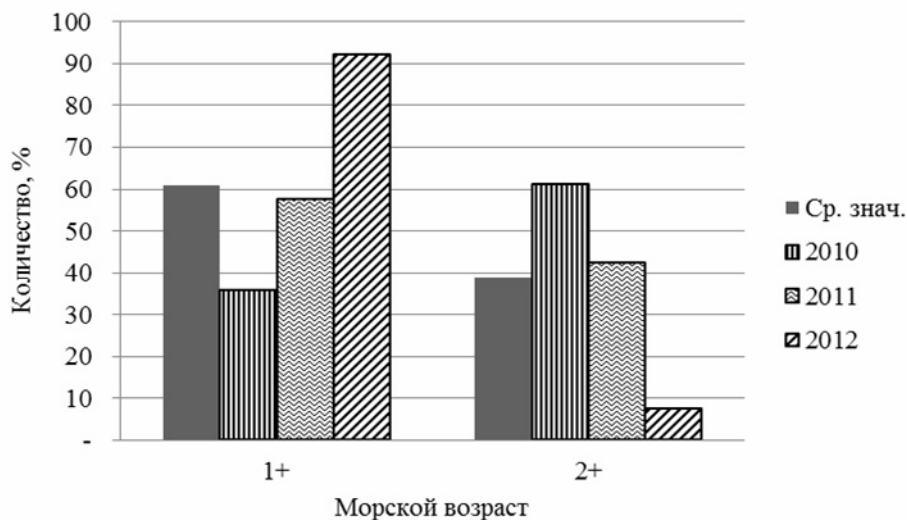


Рис. 2. Морской возраст атлантического лосося летней расы р. Поной в 1964–2003 гг. и в 2010–2012 гг.

В 2010–2011 гг. среди лососей осенней расы преобладали рыбы с возрастом 2+ – 74,6 и 84,3%. Лососи с возрастом 1+ составили в 2010 г. 23,3%, в 2011 г. – 15,7%. В 2012 г. чаще встречались лососи с морским возрастом 1+ – 82,2%, 2+ – 17,8% (рис. 3).

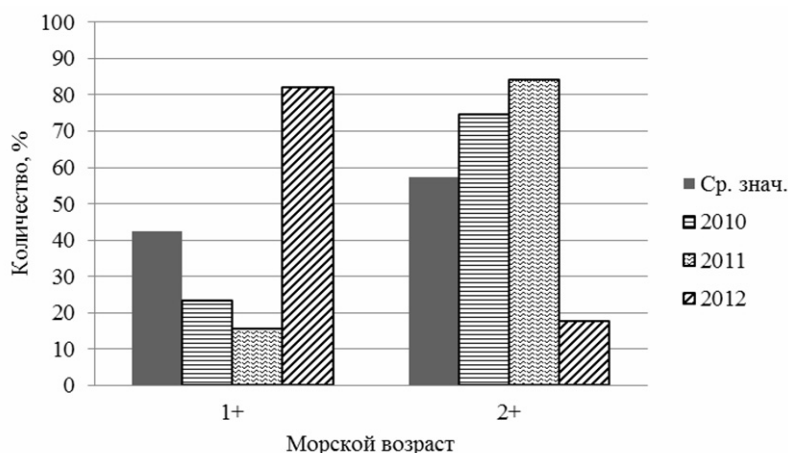


Рис. 3. Морской возраст атлантического лосося осенней расы р. Поной в 1964–2003 гг. и в 2010–2012 гг.

На основе данных 2010–2011 гг. соотношение лосося с морским возрастом 1+ и 2+ было в пределах среднего значения. Возрастная группа 1+ составила 31,7 и 47,0%, 2+ – 66,6 и 51,1%. В 2012 г. наблюдается значительное увеличение количества рыбы с морским возрастом 1+ – 78,3%, 2+ – 20,9% (рис. 4). Количество семги повторно-нерестующей и с морским нагулом 3+ в 2010–2012 гг. не превышало 1% от общего количества.

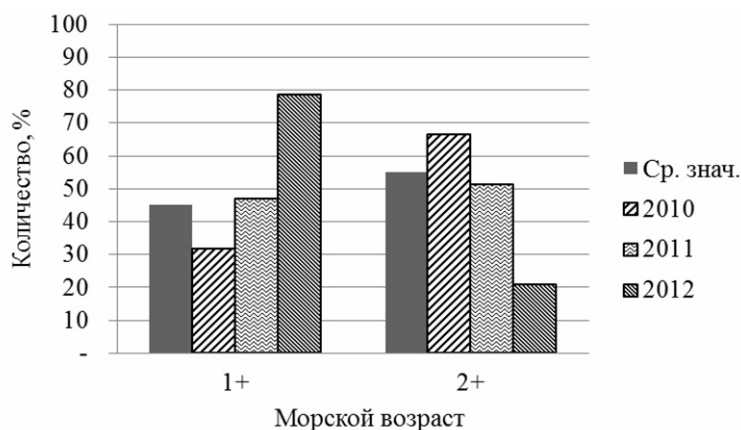


Рис. 4. Морской возраст атлантического лосося р. Поной в 1964–2003 гг. и в 2010–2012 гг.

Таким образом, проведенные исследования показали, что в 2010–2012 гг., встречаемость лосося с речным возрастом 3+ превышала среднемноголетнее значение, а в 2010–2011 гг. встречаемость семги с речным возрастом 4+ была ниже среднемноголетнего значения.

Морской возраст лосося в 2010–2011 гг. был в пределах среднемноголетнего значения. В 2012 г. наблюдалось значительное увеличение рыбы с морским возрастом 1+ как среди лососей летнего, так и осеннего хода. Это позволяет предположить, что общая тенденция к увеличению количества лосося, нагуливающегося в море один год, для р. Поной в 2010–2012 гг. не наблюдалась. Результаты исследования 2012 г. можно сравнить с 2002 и 2006 гг., когда общая численность лосося в реке и численность лосося с морским возрастом 1+ также была выше среднемноголетних значений.

ГНЕЗДОВАНИЕ ОЗЕРНОЙ ЧАЙКИ *LARUS RIDIBUNDUS* В КАНДАЛАКШСКОМ ЗАЛИВЕ БЕЛОГО МОРЯ

Е.Л. Толмачева, А.С. Корякин, М.Н. Кожин

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Кандалакшский государственный
природный заповедник», Кандалакша, Россия, e-mail: tolmacheva-e@list.ru

В Кандалакшском заливе Белого моря озерная чайка *Larus ridibundus* обычный летующий вид. Весенний прилет отмечают в первой декаде апреля, осенью последние встречи птиц обычно приходится на конец сентября – начало октября (табл. 3).

Первые сведения о гнездовании озерных чаек на островах Кандалакшского залива были получены в 2008 году: на острове Тар-Прикордонный в Порьей губе отметили 25 гнезд с кладками (наблюдения Н.Г. Панариной).

Данные по количеству гнезд и величине кладки озерной чайки на острове Тар-Прикордонный приведены в табл. 1.

Таблица 1

Величина кладки озерной чайки *Larus ridibundus*, 2008–2012 гг.

Дата	Количество гнезд (n)	Величина кладки, %						Средняя величина кладки	Гнезда с птенцами, %
		1	2	3	4	5	6		
20.06.2008	25	12,0	40,0	48,0				2,36	
23.06.2009	23	13,0	26,1	39,1				2,33	21,7
27.06.2010	20	30,0	20,0	15,0	10,0			2,07	25,0
14.06.2011	35	5,7	22,9	37,1	2,9	20,0	2,9	2,91	8,6
14.06.2012	19	36,8	15,8	47,4				2,11	

Наибольшее количество гнезд было отмечено в 2011 г., когда находили гнезда с 5 и 6 яйцами, что нехарактерно для вида, возможно, в таких гнездах откладка яиц осуществлялась несколькими самками. Насиженность яиц мы определяли по водному тесту. По нашим наблюдениям, откладка яиц начинается в последней пятитдневке мая, вылупление птенцов приходится на конец июня – начало июля (табл. 3).

Данные по размеру яиц озерных чаек представлены в табл. 2. Различия в размерах яиц по годам достоверны.

Таблица 2

Размеры яиц озерной чайки *Larus ridibundus*, 2011–2012 гг.

Год	Количество яиц (n)	Максимальная длина x диаметр	Минимальная длина x диаметр	Средняя длина x диаметр ± ошибка измерений
2011	87	58,0 x 39,2	45,4 x 32,5	50,76 ± 0,206 x 35,68 ± 0,128
2012	40	54,7 x 37,9	47,1 x 33,0	50,68 ± 0,292 x 35,80 ± 0,196

К сожалению, оценить уровень воспроизводства и выживаемость птенцов озерной чайки нам не удалось.

Кроме озерной чайки на острове Тар-Прикордонный в 2008–2012 гг. на гнездовании отмечались: гага обыкновенная *Somateria mollissima*, камнешарка *Arenaria*

interpres, кулик-сорока *Haematopus ostralegus*, чайки серебристая и сизая *Larus argentatus*, *L. canus*, крачка полярная *Sterna paradisaea*. Из указанных видов ежегодно гнездится только крачка (колония до 30 пар).

Данные по фенологии вида за 2008–2012 гг. представлены в табл. 3.

Таблица 3

Фенология озерной чайки *Larus ridibundus*, 2008–2012 гг.

Год	Первая встреча	Начало откладки яиц	Первые птенцы	Первые летные птенцы	Последняя встреча
2008	20.04.08	н/д	н/д	н/д	10.10.08
2009	19.04.09	н/д	н/д	н/д	16.09.09
2010	02.04.10	н/д	н/д	н/д	10.10.10
2011	06.04.11	20–22.05.11	13–14.06.11	10–12.07.11	10.10.11
2012	10.04.12	26–27.05.12	21–22.06.12	18–20.07.12	06.10.12

Работа была выполнена при частичной поддержке РФФИ, проект № 12-05-31395.

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ БЕЛОГО МОРЯ ПО ДВУМ МОДЕЛЯМ ТЕРМОГИДРОДИНАМИКИ

А.В. Толстиков¹, И.А. Чернов²

¹ *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных проблем Севера Карельского научного центра Российской академии наук, Петрозаводск, Россия,
e-mail: alexeytolstikov@mail.ru;*

² *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт прикладных математических исследований Карельского научного центра Российской академии наук,
Петрозаводск, Россия*

Все более актуальными становятся вопросы оценки многолетних колебаний температуры морей Севера России. Многими исследователями отмечено проявление тенденции потепления климата в этом районе, которое связывают как с природными, так и с антропогенными процессами.

Белое море и его водосбор – с одной стороны хорошо изученная система, так как данный район представляет существенный интерес для использования природных ресурсов. Однако многие вопросы, связанные, например, с особенностями его термогидродинамических условий, остаются до сих пор открытыми.

В расчетах температуры поверхностного слоя Белого моря использовались данные трехмерных моделей термогидродинамики: И.А. Неелова и Н.Г. Яковлева, адаптированной нами для условий Белого моря. Модели основаны на полных уравнениях движения со свободной поверхностью в приближении Буссинеска и гидростатическом приближении. Уравнения записаны в сферической системе координат. По вертикали уравнения аппроксимируются 22 и 16 уровнями переменной толщины, соответственно. Пространственные шаги моделей составляют по широте три, по долготе – шесть угловых минут. Первая модель относится к классу климатических моделей с учетом сезонных составляющих. Вторая расчетная модель – это модель Северного Ледовитого океана проф. Н.Г. Яковлева, адаптированная для Белого моря – водоема с существенно другими вертикальным и горизонтальным масштабами. Входными данными расчетных алгоритмов являются граничные условия на жидкой границе (Белое море – Баренцево море), метеорологические данные (реанализ NCEP) и сток рек (Северная Двина, Мезень, Онега, Варзуга, Умба, Поной, Кемь, Ковда и Нижний Выг), реализованных как пресноводные проливы со среднемесячной температурой пресной воды. Нормальная скорость течения на жидкой границе вычисляется по среднегодовому расходу каждой реки с учетом эмпирического распределения расхода по месяцам, общего для всех рек. Учитываются потоки массы, тепла и соли, импульса. Численные методы, применяемые для расчета моделей, различаются, хотя в обоих случаях основаны на методе конечных элементов. Различны также модели динамики и термодинамики льда, а также некоторые параметризации. В частности, в модели И.А. Неелова используются данные NCEP по ветру, тогда как в модели, основанной на модели Н.Г. Яковлева, квазигеострофический ветер вычисляется по данным NCEP по атмосферному давлению.

В 2012 г. обе модели доступны пользователям вычислительного кластера Карельского научного центра РАН, что значительно сократило время вычислений и повысило защищенность модельных данных. Характеристики вычислительного кластера Карельского НЦ следующие: 80 ядер, пиковая производительность

850 Gflops, функционирует грид-сегмент на базе BOINC, использующий выделенный сервер в качестве управляющего узла.

Результаты расчетов показали, что первая модель хорошо воспроизводит условия безледоставного периода года, а вторая – зимний период. И одна, и вторая модель показывают практически одни и те же тенденции многолетней изменчивости температуры поверхности Белого моря.

Представляет определенный интерес влияние изменения метеорологических данных на состояние моря. Несомненно, что такой численный эксперимент весьма затруднителен, однако некоторые выводы на его основе можно сделать.

На рис. 1 представлены карты распределения температуры поверхностного слоя воды по второй модели. Температура воздуха, соответственно, бралась из реанализа NCEP неизменной, занижалась на один градус, завышалась на один градус, и подвергалась нелинейному преобразованию: положительная температура завышалась, а отрицательная – занижалась на один градус. Видно, что качественное распределение согласуется с общепринятыми представлениями о термодинамике Белого моря и многолетними данными, полученными при непосредственном

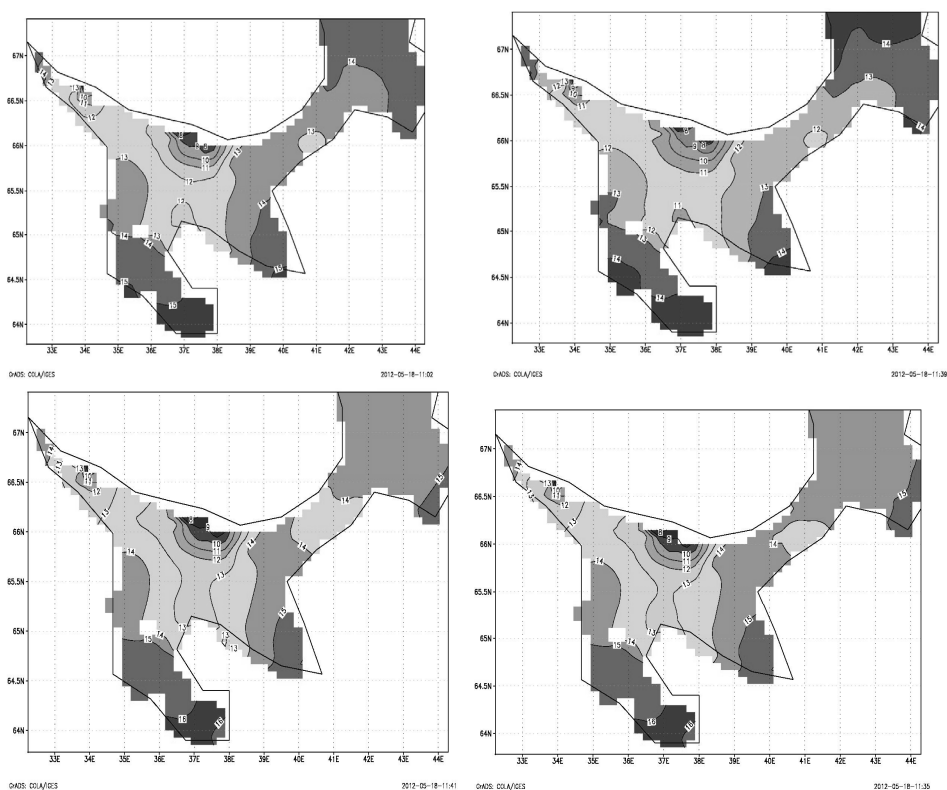


Рис. 1. Сравнение температуры поверхности Белого моря при неизменной температуре воздуха T_a , заниженной на один градус Цельсия, завышенной на один градус Цельсия и нелинейно искаженной по формуле $T_a = T_a + \text{sgn}(T_a)$, 30 модельных лет

измерении температуры с научно-исследовательских судов и с помощью спутниковой аппаратуры: воспроизводится волна Кельвина в Горле, фронты в заливах. Кроме того, качественная картина распределения температуры мало меняется (за 30 модельных лет) в зависимости от вариации температуры. Реакция моря на завышение либо занижение температуры есть, но сравнима с возмущением: приблизительно один градус Цельсия. Можно сделать предварительный вывод о том, что достаточно малое систематическое потепление или похолодание несущественно влияет на морскую систему Белого моря, при условии адекватного описания ее данной моделью.

На рис. 2 приведены графики зависимости средней температуры поверхности моря от времени при неизменной температуре воздуха из данных NCEP и при завышенной на три градуса Цельсия. Общий вывод состоит в малой реакции системы на подобное воздействие: температура воды Белого моря возрастает, однако для поверхностного слоя повышение средней температуры составляет всего $1,27^{\circ}\text{C}$ за 60 лет, тогда как приращение максимальной температуры составляет $2,05$ градуса. Минимальная температура, разумеется, не меняется, поскольку равна температуре замерзания и слабо зависит от температуры воздуха.

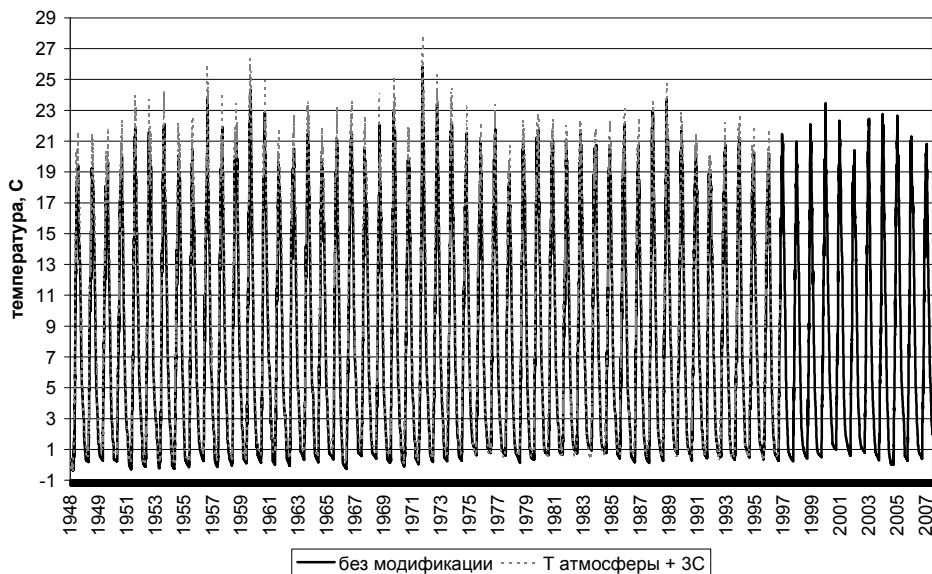


Рис. 2. Температура поверхностного слоя Белого моря без модификации атмосферного блока модели и при увеличении температуры воздуха на 3°C

Наиболее низкие значения температуры отмечаются в 1969 и 1978 гг., а наиболее высокие – 1972 и 1989 г. Результаты спектрального анализа показывают, что для среднегодовых модельных значений температуры поверхностного слоя Белого моря характерен квазипяти-, а для температуры всей водной массы – квазидвухлетний периоды. Явных трендов не наблюдается. Эти результаты хорошо согласуются с данными, полученными прямым измерением температуры Белого моря за многолетний период времени различными организациями (ММБИ КНЦ РАН, ИО РАН, Севгидромет, ЗИН РАН, ПИНРО, ИБ и ИВПС КарНЦ РАН и др.).

Так, моделируя различные условия состояния атмосферы можно рассматривать изменчивость температурных полей Белого моря при различных сценариях.

Таким образом, по двум моделям получены новые данные для Белого моря и проанализированы колебания температуры воды за период 1961–1990 гг. Результаты моделирования подтверждаются оценочными расчетами, выполненными авторами ранее. В настоящее время на базе этих двух моделей ведется разработка новой модели, наиболее адекватно воспроизводящей термогидродинамическое состояние Белого моря.

СЕЗОННАЯ И МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ БИОПРОДУКТИВНОСТИ ПЕЛАГИАЛИ ОНЕЖСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

В.А. Трошков, И.Ю. Македонская, Н.Г. Отченаш

Северный филиал Федерального государственного унитарного предприятия «Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича», Архангельск, Россия, e-mail: victor@pinro.ru

Изучение продуктивности отдельных районов Белого моря имеет большое значение как для более четкого представления о тех процессах, что протекают в биогеоценозах в данном регионе, так и для оценки общей продуктивности моря. Ранее, по результатам многолетних исследований нами была произведена оценка продуктивности пелагиали Двинского залива (Трошков, Фролов, 2005). В данной работе, на основе материалов комплексных исследований Северного филиала ПИНРО Белого моря в 2001-2008 гг. предпринимается попытка оценки продуктивности пелагиали Онежского залива.

Пробы фито- и зоопланктона отбирались в течение 9 лет по стандартной сетке станций (всего 6 на залив) во все сезоны года (кроме зимнего). Биомасса фитопланктона определялась расчетным методом на основе полученных при помощи приборов данных о концентрации хлорофилла в морской воде. Первичная продукция рассчитывалась исходя из соотношения Р/В коэффициентов (Бобров, 1982). Оценка запасов зоопланктона производилась на основе среднемноголетних значений биомассы зоопланктона в заливе, с учетом геоморфологических характеристик залива. Запасы пелагических видов рыб оценивались на основе прогнозных материалов Северного филиала ПИНРО.

Фитопланктон

На основе полученных материалов была исследована как видовая структура фитопланктонных сообществ Онежского залива и ее сезонная изменчивость, так и количественные характеристики фитопланктона.

Таблица 1

**Состав фитопланктона Онежского залива в различные сезоны,
2001–2008 гг.**

Сезон	Отделы								Всего
	<i>Bacillariophyta</i>	<i>Dinophyta</i>	<i>Chlorophyta</i>	<i>Chrysophyta</i>	<i>Cryptophyta</i>	<i>Euglenophyta</i>	<i>Cyanophyta</i>	<i>Xanthophyta</i>	
Весна	63	8	6	3	1	1	3	--	85
Лето	109	18	13	3	1	1	6	--	151
Осень	53	5	8	1	1	1	2	--	41

Доминирующими видами в весенний период года чаще всего были диатомовые *Thalassiosira rotula*, *Thalassiosira nordenskioldii*, *Skeletonema costatum*. В некоторые годы ими могут быть колониальные навикулы – *Navicula Vanhoffenii*, *Navicula septentrioneles*. Летом доминируют диатомовые *Thalassionema nit-*

zschioidesi представители рода *Thalassiosira*, динофитовые *Heterocapsa triquetra*, *Gymnodinium arcticum*. В осенний период явно доминирующих видов нет. В некоторые годы ими могут быть диатомовые *Paralia sulcata* и *Melosira granulata*.

Сезонная и многолетняя изменчивость биомассы фитопланктона в Онежском заливе, выражена достаточно сильно. Весной, в третьей декаде мая, биомасса микроводорослей изменялась от 261 мкг/л в 2007 г. до 775 мкг/л в 2001 г. В летний сезон (август), минимальные значения биомассы фитопланктона были отмечены в 2004 г (166 мкг/л), а максимальные в 2002 г (507 мкг/л). Осенние (октябрь–ноябрь) значения биомассы фитопланктона также подвержены значительной изменчивости; от 52 мкг/л в 2007 г. до 175 мкг/л в 2006 г.

Таблица 2

**Биомасса фитопланктона Онежского залива
(средние значения за 2001–2008 гг.) в мкг/л**

Весна	Лето	Осень
428	336	127

Первичная продукция рассчитывалась хлорофилльным способом с использованием Р/В — коэффициентов (Бобров, 1982).

Таблица 3

**Сезонные и многолетние колебания первичной продукции Онежского залива
в 2001–2008 гг. (мгС/м³сут)**

Год	Весна	Лето	Осень	Среднегодовая
2001	9,973	6,091	3,597	6,554
2002	5,252	9,082	3,818	6,051
2003	4,893	6,589	5,005	5,496
2004	—	2,946	4,346	3,646
2005	4,819	5,013	—	4,916
2006	—	6,010	5,349	5,680
2007	3,346	6,390	1,533	3,756
2008	5,760	7,256	—	6,508
среднемноголетнее	5,673	6,172	3,941	5,262

Показатель среднегодовой продукции за период исследований (2001–2008 гг.) составил 5,262 мгС/м³сут.

Таблица 4

**Сезонные колебания первичной продукции в заливах Белого моря
2001–2008 гг. (мгС/м³сут)**

Заливы	Весна	Лето	Осень	Среднегодовая продукция
Двинской	9,780	8,339	4,934	7,684
Онежский	5,673	6,172	3,941	5,262
Кандалакшский	8,121	5,249	3,581	5,650
Мезенский	4,471	7,061	5,243	5,592
Бассейн	10,800	6,411	3,683	6,965
Горло	4,912	5,135	3,556	4,534
Воронка	4,985	6,151	4,330	5,155
среднее по морю	6,971	6,360	4,181	5,837

Таким образом, из табл. 4 видно, что первичная продукция Онежского залива в весенний период ниже среднего значения по всему морю и значительно уступает продукции Двинского, Кандалакшского заливов и Бассейна моря. В летний период года первичная продукция различных районов моря находится примерно на одном уровне и лишь в Двинском заливе несколько выше. Осенью первичная продукция залива близка к среднему значению по всему морю.

Исходя из среднегодовых значений продукции и геоморфологических характеристик залива, а также принимая в расчет средний срок вегетации в 200 суток, получаем величину годовой первичной продукции Онежского залива равную 20 тС/км^2 , а в энергетическом выражении, по всему заливу за год – $2,3 \cdot 10^{12}$ ккал.

Зоопланктон

Основу планктонного сообщества собственно Онежского залива (к югу от Соловецких островов) составляют в летний период неритические виды бореального происхождения. В придонных слоях воды значительную роль играют арктическо-бореальные виды. В наиболее глубоководных участках концентрируются некоторые космополитические виды, которые в северной части Онежского залива обитают преимущественно в верхних слоях воды.

Таблица 5

**Многолетняя сезонная изменчивость биомассы зоопланктона Онежского залива;
2001–2008 гг., горизонт (10–0) м**

Показатель	2001 г.	2002 г.	2003 г.	2004 г.	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.
Весна	61	115	51	–	221	–	76	122
Лето	163	43	187	469	184	88	126	150
Осень	–	96	–	43	–	19	37	–

Биомасса зоопланктона в Онежском заливе формируется в основном за счет двух – трех видов животных, суммарное количество которых достигает 70–90% от общей биомассы всех организмов. Среди них очень часто резко выделяется доминантный вид, составляющий более половины общей биомассы зоопланктона.

В весенний период до 20–50% от общей биомассы создает *Pseudocalanus minutus*, 10–25% *Calanus glacialis*, примерно столько же *Chaetognatha* и науплии Copepoda и до 30–35%, а в прибрежных районах и больше – личинки *Cirripedia*.

Летом в составе зоопланктона заметно возрастает доля тепловодных, бореальных и арктическо-бореальных видов. До 20–40% от общей биомассы составляет рачок *Acartia biflosa*, до 10–20% *Temora longicornis*, в прибрежных участках моря до 30–50% общей биомассы в отдельные годы создает *Centropages hamatus*. Возрастает и вклад в общую биомассу личинок донных беспозвоночных, составляя в среднем не менее 30–60% от общей биомассы зоопланктона.

В осеннем зоопланктоне, вновь как и в весеннем возрастает доля холодолюбивых организмов: *Pseudocalanus minutus* (до 30%), *Calanus glacialis* (до 15%), *Metridia longa* (10–20%), *Chaetognatha* (до 20%). При этом все еще сохраняется высокая численность и биомасса тепловодной *Acartia biflosa* (до 20–50% от общей биомассы зоопланктона)

Биомасса зоопланктона прибрежных районов залива и кутовой его части, в весенне-летний период, часто значительно выше средней биомассы его по всему заливу 2–3 раза.

Таблица 6

Запасы зоопланктона в Онежском заливе в различные сезоны 2001–2008 гг.

Запас	Весна	Лето	Осень
Запас в т/км ²	2,3	3,4	1,2
Запас в млн т	0,026	0,039	0,012

Общие запасы беломорской сельди, основного пелагического вида рыб в Онежском заливе, по данным акустических съемок и по оценке нерестовых подходов, составляли в 2001–2008 гг. в среднем около 3 тыс. т. Учитывая, что беломорская сельдь составляет около 70% от общего количества пелагических рыб в Белом море, общие запасы их в Онежском заливе можно оценить примерно в 4 тыс. т.

МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ И ФЕНОЛОГИИ ТРЕХ МАССОВЫХ ВИДОВ МЕЗОЗООПЛАНКТОНА В БЕЛОМ МОРЕ

Н.В. Усов, И.П. Кутчева, Д.М. Мартынова

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Зоологический институт
Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: nikolay.usov@gmail.com*

Введение

Последнее время особое внимание уделяется срокам различных фенологических событий в планктонных сообществах. Сезонная цикличность в динамике структуры и обилия планктонных сообществ особенно выражена в высоких широтах (McNamara, Houston, 2008; Varpe, 2012). При этом температура и количество солнечной радиации – главные лимитирующие факторы. Поскольку в субполярных и полярных широтах наблюдаются наиболее интенсивные изменения климата (Peterson et al., 2002; Comiso et al., 2008), именно здесь следует ожидать наиболее сильного влияния климатических изменений на фенологию зоопланктона (Edwards & Richardson, 2004).

В данной работе рассмотрено влияние хронологии сезонного прогрева воды и её межгодовых флуктуаций на сроки фенологических событий в зоопланктонном сообществе прибрежной зоны Белого моря.

Материалы и методы

В работе использованы данные многолетнего мониторинга зоопланктона в районе Беломорской биологической станции Зоологического института РАН за период с 1961 по 2010 г. Наблюдения велись в губе Чупа (Кандалакшский залив, Белое море) на станции Д-1 (декадная станция) с координатами 66° 19.8' с.ш. и 33° 39.7' в.д. Глубина на станции составляет 65 м. Отбор проб зоопланктона проводили ежедекадно в период, когда море свободно ото льда, и один раз в месяц зимой. Пробы отбирали по стандартным горизонтам 0–10 м, 10–25 м и 25–65 м сетью Джели с диаметром входного отверстия 37 см и фильтрующим конусом из мельничного сита с ячейей 180–200 мкм. Обработка проб проводилась по стандартной методике (Инструкция по сбору и обработке планктона, 1971). В данной работе рассмотрен горизонт 0–10 м, где происходит размножение и раннее развитие видов, выбранных для анализа.

Изучены многолетние изменения сроков перехода температуры в слое 0–10 м через 3 °С (начало весеннего прогрева) и 8 °С (начало лета) и продолжительность летнего периода (период когда температура в слое 0–10 м выше 8 °С). Границы сезонов определены по методике А.И. Бабкова (1985). Рассмотрены сроки появления 1-й копепоидитной стадии холодноводного *Calanus glacialis* и молоди (1-е – 3-е копепоидиты) тепловодных *Acartia longiremis* и *Temora longicornis*. Рассчитывали также средние значения температуры воды весной и летом, а также среднюю численность *Calanus glacialis* весной и среднюю численность *Acartia longiremis* и *Temora longicornis* летом.

Для выявления многолетних трендов в динамике изученных переменных был применен регрессионный анализ. Данные для анализа были нормированы, в связи с чем коэффициент регрессии b обозначен буквой β .

Результаты и обсуждение

В динамике температуры воды значимые многолетние тенденции не выявлены (рис. 1). В то же время, численность *Calanus glacialis* демонстрирует тенденцию к увеличению в течение периода наблюдений ($\beta = 0.38$, $R^2 = 0.14$, $p = 0.01$), а численность *Acartia longiremis* наоборот, снижается ($\beta = -0.45$, $R^2 = 0.20$, $p = 0.001$). Все корреляции между обилием животных и температурой воды были незначительны ($r \leq |0.3|$, $p > 0.05$).

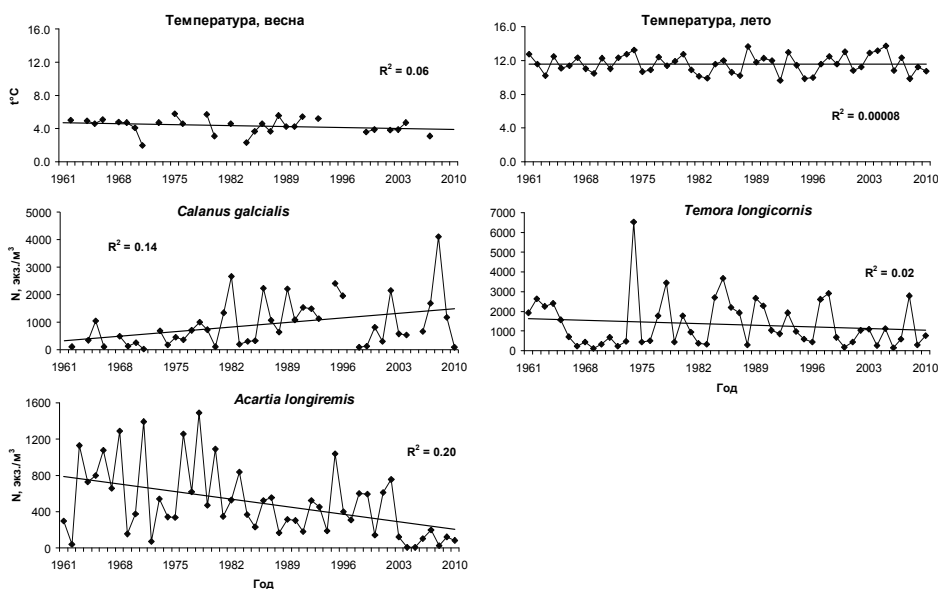


Рис. 1. Многолетняя динамика температуры воды и численности изученных видов в слое 0–10 м. Данные по численности *Calanus glacialis* приведены для весеннего периода, *Acartia longiremis* и *Temora longicornis* – для летнего

Сроки наступления тех или иных событий, как в ходе сезонного прогрева водной толщи, так и в фенологии зоопланктона, изменяются от года к году в широких пределах (рис. 2). Вместе с тем, в динамике сроков прогрева можно проследить многолетние отрицательные тренды, что указывает на смещение прогрева на более раннее время. Начало лета за 50 лет наблюдений сместилось примерно на 20 дней ($\beta = -0.46$, $R^2 = 0.21$, $p = 0.001$), начало весны – на 10 дней ($\beta = -0.35$, $R^2 = 0.13$, $p = 0.02$). Продолжительность летнего периода увеличилась примерно на 20 дней ($\beta = 0.33$, $R^2 = 0.11$, $p = 0.02$).

Достоверный тренд обнаружен только в динамике сроков появления молоди *Calanus glacialis* ($\beta = -0.45$, $R^2 = 0.2$, $p = 0.003$; рис. 2), то есть в течение 50 лет раз-

множение калянуса сместилось на более раннее время. Корреляционный анализ показал, что только между сроками появления молоди калянуса и перехода температуры через 3 °C существует достоверная связь ($r = 0.61$, $p = 0.05$).

Таким образом, в период с 1961 по 2010 г. в районе губы Чупа в верхнем продуктивном слое воды наблюдалась тенденция к более раннему началу весеннего прогрева воды и к более раннему наступлению летнего периода. Молодь *Calanus glacialis* также стала появляться раньше. Межгодовые изменения сроков появления молоди калянуса коррелируют со временем прогрева воды выше 3 °C. Следует отметить, что при раннем прогреве воды раньше начинается таяние льда и раньше развиваются ледовые и планктонные водоросли (Kahru et al., 2011), обеспечивая пищей нерестящихся самок (Niehoff et al., 2002., Daase et al., 2011). Таким образом, пищевой фактор, по всей видимости, является ведущим в наблюдаемых изменениях фенологии холодноводного фитофага *Calanus glacialis* и опосредует влияние температуры.

Увеличение численности молоди калянуса трудно объяснить изменениями сроков весеннего прогрева воды, так как продолжительность весеннего периода достоверно не изменилась. Средняя температура весной, также не изменилась за 50 лет наблюдений. В данном случае, очевидно, действовали иные факторы, не учитывавшиеся в ходе мониторинга.

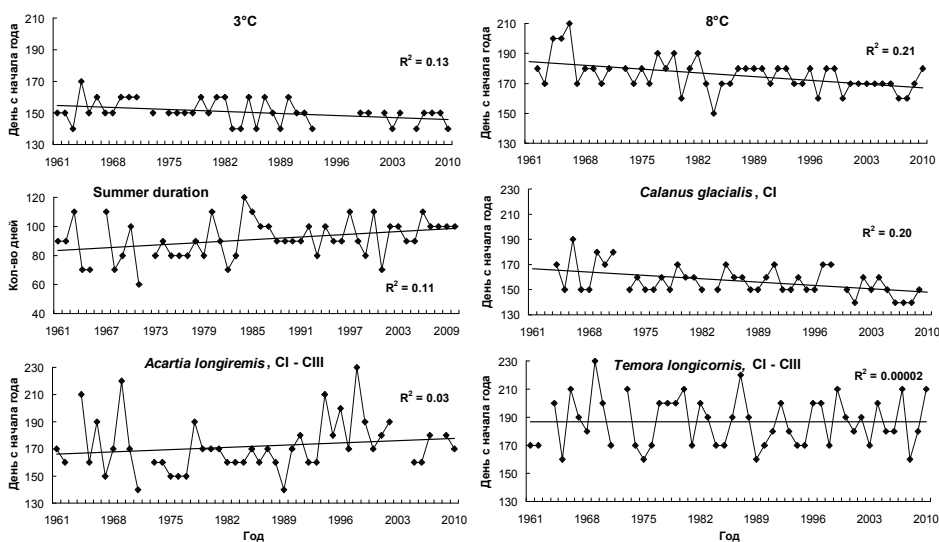


Рис. 2. Многолетние изменения сроков прогрева водной толщи (время перехода температуры через 3° и 8 °C), продолжительности летнего периода и сроков появления молоди копепок в планктоне.

Ни сдвиг сроков прогрева, ни увеличение продолжительности летнего периода не повлияли на сроки размножения тепловодных видов и количество их генераций (Usov et al., 2013). Эти виды переживают зиму в виде покоящихся яиц, откладка которых стимулируется снижением температуры воды ниже определенного значения. Кроме того, известно, что науплии выходят из покоящихся яиц через

определенный промежуток времени после снижения температуры, то есть сроки размножения регулируются внутренними биологическими часами (Engel, 2005; Katajisto, 2006). Однако в районе исследований смещение сроков осеннего охлаждения воды было незначительным (Usov et al., 2013). Следовательно, момент выхода науплиев в планктон остается практически неизменным, несмотря на значительные сдвиги сроков прогрева. С другой стороны, для тепловодных копепоид пищевой фактор оказывается более важным, чем температура: именно нехватка и низкое качество пищи ограничивает размножение и развитие этих видов осенью (Martynova et al., 2009, 2011).

Таким образом, для зоопланктона, в первую очередь холодноводного, в прибрежье Белого моря наиболее важным оказывается смещение сроков сезонного прогрева, а не средние значения температуры воды. Мы предполагаем, что влияние температуры воды на зоопланктон, в частности, на холодноводных видов-фитофагов опосредовано динамикой обилия фитопланктона, для которого сроки и интенсивность прогрева водной толщи являются одними из важнейших факторов.

Работа выполнена в соответствии с Программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук (тема «Мониторинг биоразнообразия и выявление основных трендов в динамике экосистем Белого моря в условиях меняющегося климата», Гос. рег. № 01201051247); а также в соответствии с Программой фундаментальных исследований Отделения общей биологии РАН (направление «Динамика биоразнообразия и механизмы обеспечения устойчивости биосистем. 1. Изменения климата и биоразнообразия»).

РАЗРАБОТКА АТЛАСА «БЕЛОЕ МОРЕ И ВОДОСБОР»

Н.Н. Филатов

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных проблем
Севера Карельского научного центра Российской академии наук, Петрозаводск, Россия,
e-mail: nfilatov@rambler.ru*

При освоении ресурсов Арктики возрастает интерес к Беломорью (Белое море и его водосбор) как важному региону для развития водного и наземного транспорта, прокладки трубопроводов, при добыче биоресурсов, развитии туризма, рекреации, экономики региона. Требуется совершенствование систем раннего обнаружения и прогнозирования опасных и чрезвычайных ситуаций, способных привести к значительным негативным социально-экономическим и экологическим последствиям на водосборе и море.

Однако современных обобщающих произведений на ГИС основе в виде комплексных атласов, необходимых для проектирования, принятия управленческих решений до сих пор создано не было. Поэтому была поставлена задача создания комплексного электронного Атласа Белого моря и водосбора. В основу этой работы положены исследования ИВПС КарНЦ РАН последних двадцати лет, выполненные совместно с коллегами из ряда организаций России (ИО РАН, ММБИ РАН, ААНИИ, ИЭ КарНЦ РАН, ИБ КарНЦ РАН, ВНИИ Охраны природы, Нансеновским центром и др.).

Проблемам Белого моря и его водосбора в последние годы были посвящены работы А.Ф. Алимова с соавторами (2009), В.Я. Бергера (2008), Б.Г. Житнего (2007), А.П. Лисицына (2010), Г.Г. Матишова (2004), А.М. Никанорова с соавторами (2009), В.В. Сапожникова (1991), Н.Н. Филатова, А.Ю. Тержевика с соавторами (2007), в которых рассматривались разные аспекты состояния моря, особенности его продуктивности, загрязнения, пути рационального использования ресурсов Беломорья. Наиболее эффективным средством, используемым для принятия решений, решения разнообразных практических задач являются комплексные атласы. Для Белого моря и его водосбора в разное время было создано более 10 тематических атласов и справочных изданий, в которых изложены сведения о регионе и море:

Атлас Белого моря с прилежащими заливами Онежским и Кандалакшским, сочинил генерал-лейтенант Голенищев-Кутузов. [СПб., 1825–1827].

Атлас Белого моря / под начальством капитан-лейтенанта М. Рейнеке. 1833 года. [СПб.: Гидрогр. департ. Морского м-ва], 1833. 14 л.

Океанографические условия и биологическая продуктивность Белого моря (Аннотированный атлас). Мурманск: ПИНРО, 1991. 115 с.

Биологический атлас морей Арктики: планктон Баренцева и Карского морей. ММБИ КНЦ РАН. 2000. издан в виде электронного атласа. Составители: Г. Матишов, и др. при участии NODC/NOAA, США). В него вошли данные по температуре, солености, зообентосу, фито- и зоопланктону Белого моря за период 1913–1999 гг.

Комплексный электронный атлас Белого моря по проекту ICA2-CT-2000-10014, «Sustainable Management of the Marine Ecosystem and Living Resources of the White Sea (WHITESEA)» разработан в 2003 г. Авторы: О.М. Йоханнесен,

Л.Х. Петтерсон, Д.В. Поздняков, С. Каитала, Л. Бобылев, Н.Н. Филатов, В.В. Денисов, В.К. Донченко. Институты: 1) Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, Петрозаводск; 2) ММБИ КНЦ РАН, Мурманск; 3) Nansen Environmental and Remote Sensing Centre, Норвегия; 4) Finnish Institute of Marine Research, Финляндия; 5) Нансеновским международным центром дистанционных методов и окружающей среды, Санкт-Петербург и 6) Санкт-Петербургским научно-исследовательским центром экологической безопасности РАН, Санкт-Петербург.

Электронный атлас «White Sea. Мыс Картеш». Подготовлен в 2003 г. Исполнители: Беломорская биологическая станция ЗИН РАН им. О.А. Скарлато (В. Бергер, А. Наумов, Н. Усов, М. Зубаха)) и World Data Center for Oceanography, Silver Spring, Ocean Climate Laboratory (I. Smolyar, R. Tatusko, S. Levitus). Атлас находится в сети Интернет по адресу http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WH_SEA/WWW/HTML/atlas.html.

Иллюстрированный атлас беспозвоночных Белого моря ред. Н.Н. Марфенина. М.: Т-во научных изданий КМК. 2006. 312 с.

Информационно-справочная система «Белое море». Разработана в 2007 г. в Институте водных проблем Севера КарНЦ РАН совместно с Институтом прикладных математических исследований КарНЦ РАН. Это сетевой ресурс, созданный для работы в ArcView GIS и требующий предварительной настройки программного обеспечения; позволяет загружать данные с помощью ГИС-сервера, формировать запрос на поиск данных и их пополнение, редактировать базы метаданных.

Флора и фауна Белого моря: иллюстрированный атлас ред. А.Б. Цетлина, А.Э. Жадан, Н.Н. Марфенина. М.: Т-во научных изданий КМК, 2010. 471 с.:

Атлас-определитель макрофитов Белого моря / М.М. Болдуман. – Москва, 2011. 160 с. : ил. ; 22,5 см. Библиогр. : с. 152.

Атлас биологического разнообразия морей и побережий российской Арктики. М.: WWF России, 2011. 64 с.: ил.

Белое море и его водосбор – База данных (БД) Института водных проблем Севера КарНЦ РАН разработана в 2009 г. № гос. рег. 2010620435. Зарегистрирована 16 августа 2010 г. Составители: Толстиков А.В., Филатов Н.Н., Здоровеннов Р.Э. Эта БД содержит данные по Белому морю, собранные Институтом водных проблем Севера КарНЦ РАН, общую морфометрическую информацию по Белому морю, спутниковые снимки, результаты моделирования, картографический материал, полученные в ходе индивидуальных и совместных проектов института, связанных с беломорской тематикой. Созданная в 2007 г. информационно-справочная система «Белое море» интегрирована в БД «Белое море и его водосбор» в 2010 г.

При создании нового атласа мы исходили из того, что основное его отличие от ранее изданных, в том, что в новом будет представлена комплексная эколого-социо-экономическая информация о море и его водосборе. Основная цель создания нового электронного атласа – многоцелевое, широкое и разнообразное его использование при принятии управленческих решений, проектировании, разработке научных рекомендаций рационального использования, управления и охраны ресурсами моря, а также в решении научных и учебных задач. При создании атласа в

первую очередь будут использоваться собственные данные ИВПС КарНЦ РАН, полученные ранее, а также сведения опубликованные коллегами в изданных атласах и обобщающих монографиях. В Атлас будут включены сведения об океанографических характеристиках, включая сведения по гидрологии, гидрохимии, гидробиологии, геологии моря, в частности, карты-схемы течений, температуры воды, солёности для разного комплекса гидрометеорологических условий, полученные не только по данным измерений, но и по результатам расчетов на математических моделях, созданных в ИВМ РАН и ААНИИ. По водосбору будут включены географические, геологические, климатические, о загрязнении, а также социо-экономические сведения, которые ранее не были представлены в других изданных атласах. При разработке прогностических данных будут использоваться расчеты на верифицированных моделях экосистемы моря.

В создании Атласа участвуют кроме специалистов ИВПС КарНЦ РАН специалисты Карельского научного центра: ИПМИ, ИБ, ИЛ, ИГ, ИЭ КарНЦ РАН, а также Институтов РАН: ИО, ЗИН, ММБИ КНЦ, ИВМ; а также МГУ им. Ломоносова. В работе над новым атласом используются материалы, собранные ИВПС по проектам РФФИ, ИНТАС, ИНКО-Коперникус, ФЦП «Мировой океан», программам ОНЗ РАН.

Практическая реализация системы поддержки принятия управленческих решений наподобие системы «NEST» для Балтийского моря требует создания нового комплексного атласа – как основного элемента такой системы.

МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ СООБЩЕСТВ МАКРОБЕНТОСА В УСЛОВИЯХ ПЕСЧАНОЙ ЛИТОРАЛИ БЕЛОГО МОРЯ

Н.А. Филиппова, Н.В. Максимович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет»,
Санкт-Петербург, Россия, e-mail: naticaf@gmail.com

В 2008–2012 гг. на базе Морской биологической станции СПбГУ (губа Чупа Канда-лакшского залива) изучена динамика бентосных сообществ песчаного пляжа бухты Ключиха (Кандалакшский залив, Белое море). Цель работы – анализ межгодовых смещений в структуре сообществ участка. Сборы осуществлены в конце июня – начале июля на трех станциях: в среднем и нижнем горизонтах литорали и в верхней сублиторали. Сбор произведен с помощью зубчатого дночерпателя. Объем выборки на станции – 10 проб. Каждая проба соответствует выборочной площадке – 0,1 м² (два дночерпателя). Учитываемые показатели в пробах: список видов, плотность поселения и масса организмов. Сравнительный анализ описаний сообществ осуществлен с помощью кластерного анализа. В качестве меры сходства выбрано расстояние Евклида, способ кластеризации – метод Варда (Статистика-8).

В составе сообщества макробентоса обнаружено 42 таксона (размах вариации по описаниям – 11–31, по отдельным пробам – 3–19), 4 из которых отмечены на всех станциях в течение трех лет наблюдений. В один и тот же сезон от 32 до 50% видов были общими для всех горизонтов участка. В 2008 г. весь участок был занят сообществом двустворчатых моллюсков *Macoma balthica* (80% общей биомассы) (см. табл.). Однако в межгодовой динамике структуры сообществ на отдельных станциях удалось выявить различия.

Наименьшей вариацией отличались характеристики сообщества в средней литорали, где *M. balthica* сохранили доминирующее положение (80–93% биомассы сообщества). При этом отмечен трехкратный размах колебаний общей численности организмов сообщества, и вариация этого показателя происходит в соответствии с изменениями плотности поселения *M. balthica*. В нижнем горизонте литорали уже в 2009 г. доля маком в суммарной биомассе сообщества снизилась до 56%, а субдоминантную позицию заняли макрофиты *Zostera marina* (34% биомассы сообщества). Также в заметном количестве (13% биомассы сообщества) этот вид был обнаружен в верхней сублиторали. В 2010 г. *Z. marina* не была отмечена в верхней сублиторали, но увеличила присутствие в нижней литорали (56% биомассы сообщества). Доля маком составила 33%. В 2011 г. в нижней литорали и верхней сублиторали снова доминируют особи *M. balthica* (63 и 52% биомассы сообщества, соответственно), а *Z. marina* заняли субдоминантную позицию (32 и 22% биомассы сообщества, соответственно). В 2012 г. *Z. marina* стала доминировать как в нижней литорали, так и в верхней сублиторали участка (80 и 59% биомассы сообщества, соответственно), тогда как на макому пришлось, соответственно, всего 16 и 26% биомассы.

Это отразилось и в характере группировки станций (рис. 1). Так в отдельный кластер (А) попали станции, на которых макрофиты *Z. marina* доминировали по биомассе. Кластер В составили станции, на которых биомасса *M. balthica* составляла 52–63%, а *Z. marina* 14–36% биомассы сообщества (рис.1). В кластер С попали станции, где на долю доминирующих *M. balthica* приходилось более 80% биомассы сообщества.

Увеличение биомассы макрофитов на участке, по-видимому, явилось главной причиной изменения в представленности на станциях других представителей макробентоса на участке. Так, например, с 2009 г. в верхней сублиторали наблюдается постепенное увеличение биомассы многощетинковых червей *Capitella capitata*, тогда как в 2008 г. они там отмечены не были. Известно, что *C. capitata* являются индикаторами органического загрязнения (Pearson, Rosenberg, 1978). Возможно, их появление в верхней сублиторали обусловлено накоплением в этом биотопе органических веществ, что в свою очередь обусловлено свойствами зарослей *Zostera marina*.

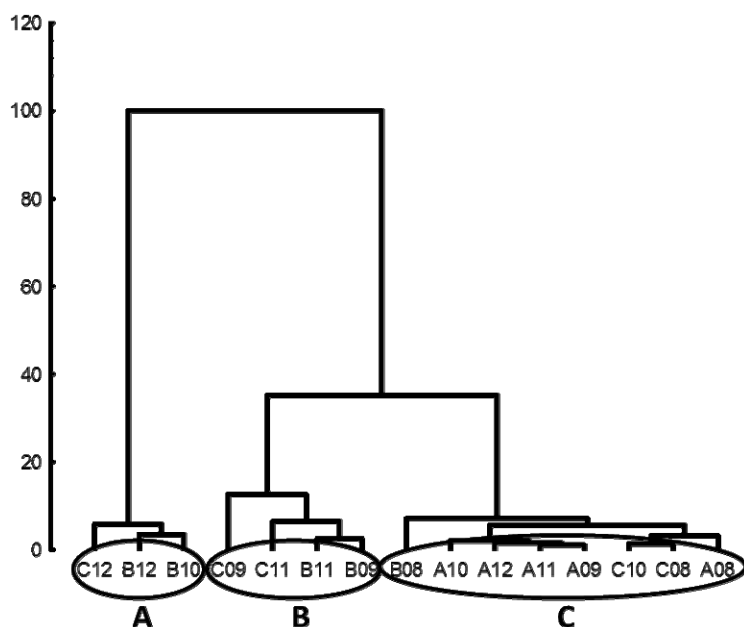


Рис. 1. Сходство станций по биомассе таксонов макробентоса (стандартизированные данные, кластеризация методом Варда):

По оси ординат – расстояние Евклида; А, В, С – кластеры, выделенные на уровне расстояния Евклида 20 (обозначен штриховой линией); буквенное обозначение станций – горизонт литорали (А – СГЛ, В – НГЛ, С – ВСЛ), цифрами обозначен год наблюдений

Следует отметить, что отмеченные нами сукцессионные перестройки сообществ на песчаном пляже бухты Ключиха – не редкое явление в организации сообществ осушной зоны Белого моря (Федяков и др., 1978; Бабков, Голиков, 1984; Луканин и др., 1989; Максимович, Герасимова, 2004).

Известно, что в биоценологии надежность сравнительных характеристик в первую очередь определена надежностью первичных данных. Характер пробоотбора позволяет нам рассмотреть, насколько результаты сравнительного анализа структуры сообщества будут меняться при уменьшении объема выборок, на основании которой составляется единичное описание. Купирование выборок производили последовательно, вплоть до 5 проб на выборку.

Оказалось, что и при девятикратном объеме выборки не наблюдалось 100%-й встречаемости всех эталонных кластеров (рис. 2). Однако начиная с шестикратной повторности пробоотбора мы не наблюдали качественного изменения результатов сравнения описаний.

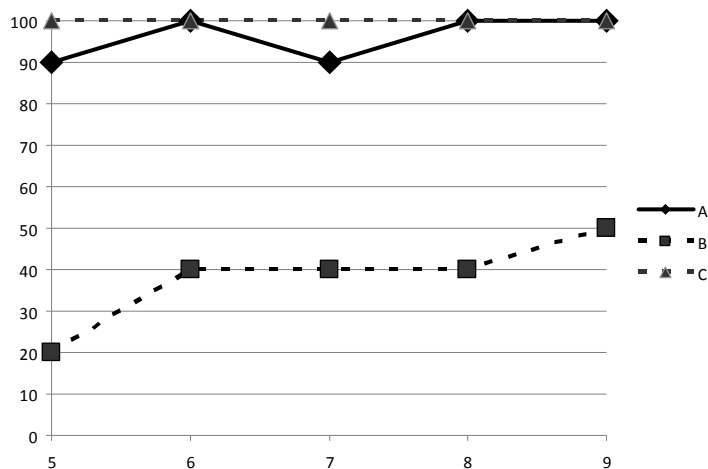


Рис. 2. Встречаемость (в %) эталонных кластеров (см. рис. 1)
при сравнении станций по биомассе макробентоса:

По оси абсцисс – количество проб, использованных при составлении отдельных описаний, по оси ординат – встречаемость

Встречаемость кластера В не превышала 50% даже при составлении описаний на основе девяти повторностей. Данное обстоятельство определено значительной неравномерностью распределения в пределах станций, входящих в эту группировку, нового доминанта в сообществах – морской травы *Zostera marina*. На этих станциях *Z. marina* занимала субдоминантную позицию, и при этом ошибка учета их биомассы достигала до 63%. Очевидно, при выбранном нами способе пробоотбора (прежде всего речь идет об использовании для всех организмов на участке одинаковой выборочной площадки 0,1 м²) не удалось получить надежные оценки обилия *Z. marina*. Возможным решением проблемы в этом случае могло быть использование при сборе материала пирамиды выборочных площадок (Голиков, Скарлато, 1965).

Таким образом, можно сказать, что для биоценотической организации макробентоса на пляжах осушной зоны Керетского архипелага характерны сукцессионные перестройки, происходящие на фоне практически стабильного абиотического окружения, что определено флуктуациями в развитии популяций фонообразующих широко распространенных бореальных видов (таких, как *Zostera marina*).

В момент сукцессионной перестройки биоценозов их выделение с помощью формальной классификации не надежно, даже при использовании 10-и проб при пробоотборе. Для достижения адекватных результатов, по-видимому, необходимо не столько увеличивать количество повторностей, сколько изменять саму схему ведения пробоотбора, например, использовать другие размеры выборочных площадок.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЛИПИДНЫЙ СОСТАВ БЕЛОМОРСКИХ МИДИЙ *MYTILUS EDULIS* L. В УСЛОВИЯХ АКВАРИАЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Н.Н. Фокина, Т.Р. Руоколайнен, Н.Н. Немова, И.Н. Бахмет

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии
Карельского научного центра Российской академии наук, Петрозаводск, Россия,
e-mail: fokinann@gmail.com

Компенсаторный ответ на уровне липидного состава и микровязкости мембран на изменение температуры окружающей среды – это хорошо изученный и подробно описанный феномен для пойкилотермных животных, называемый «адаптация го-меовязкости» (Sinensky, 1974; Хочачка, Сомеро, 1988). Характеристики липидного состава клеточных мембран могут значительно меняться, когда клетка подвергается воздействию стрессовых факторов окружающей среды. Установлено, что такие изменения являются достаточными для активации регуляторных реакций, которые, в конечном итоге, приводят к акклимации организма (Los, Murata, 2004). В большинстве случаев показано, что такие модификации состава липидов возвращают физическое состояние мембран к тому, которое было до стрессового воздействия, что способствует сохранению активности встроенных в мембрану ферментов, ионных каналов и рецепторов. Считается, что первичными ответами на стресс являются изменения в степени ненасыщенности жирных кислот фосфолипидов или в перестройке жирнокислотного состава определенных фосфолипидов, тогда как колебания на уровне фосфолипидов и соотношения холестерина/фосфолипиды развиваются более медленно и представляют собой вторичное регулирование адаптивной реакции (Thompson, 1986). Для двусторчатых моллюсков, которые ввиду прикрепленного образа жизни в большей степени подвергаются воздействию стрессовых факторов морской среды обитания, подобные исследования, описывающие сроки развития компенсаторной реакции на уровне состава липидов в ответ на действие различной температуры окружающей среды, ранее не проводились. Известно, что акклимация морских организмов к определенному фактору окружающей среды в лабораторных условиях, занимает от 2 до 4 недель в зависимости от физиологического состояния животного (Хлебович, 1981). В процесс акклимации организма к новым внешним условиям включены молекулярные, биохимические и физиологические механизмы адаптивного ответа. С целью выяснения сроков акклимации моллюсков на уровне состава липидов к стрессовому воздействию определяющего фактора окружающей среды был поставлен аквариальный эксперимент по влиянию температуры 5, 15 (контроль) и 20 °C на беломорских мидий *Mytilus edulis* L. Эксперимент проводился на Беломорской биологической станции «Картеш» ЗИН РАН, его продолжительность составила 2 недели. Для биохимического анализа отбирали ткани жабр мидий с интервалом 1, 3, 7 и 14 суток от начала эксперимента (n = 5). Исследование липидного состава проводили методами тонкослойной, газо-жидкостной и высокоэффективной жидкостной хроматографии (Сидоров и др., 1972; Цыганов, 1971; Arduini et al., 1996).

В результате острого (в течение первых суток) воздействия температуры 20 °С отмечалось отсутствие достоверных изменений в липидном и жирнокислотном составе беломорских мидий, тогда как при влиянии пониженной 5 °С и контрольной температуры 15 °С отмечалось повышение уровня общих фосфолипидов за счет минорных фракций, выполняющих, главным образом, регуляторную функцию в составе клеточных мембран (в частности, фосфатидилинозитола (ФИ), фосфатидилсерина (ФС) и фосфатидилэтаноламина (ФЭА). Более того, при влиянии 5 °С в составе общих фосфолипидов наблюдалось значительное повышение концентрации олеиновой 18:1n-9 кислоты – продукта действия фермента дельта 9 десатуразы, ответственного за формирование двойных связей в структуре жирных кислот. Повышение концентрации ненасыщенных жирных кислот и ФЭА в составе клеточных мембран способствует разжижению липидного бислоя, что в свою очередь, обеспечивает нормальное функционирование мембранно-связанных белков при стабилизирующем действии низких температур на них. Таким образом, уже на первые сутки стрессового воздействия у беломорских мидий наблюдались изменения в составе липидов, затрагивающие как отдельные фракции фосфолипидов, так и их жирнокислотный состав. Более длительное воздействие (7 суток) пониженной температуры способствовало появлению модификаций липидного состава, указывающих на развитие метаболических перестроек в составе основных классов липидов. Так, значительное повышение уровня фосфолипидов (за счет доминирующего компонента мембран – фосфатидилхолина (ФХ)) наблюдалось при пониженном содержании запасных липидных форм – триацилглицеринов (ТАГ). Это указывает на использование липидов, выполняющих в организме резервную функцию, в дополнительном синтезе структурных компонентов мембран, необходимых для поддержания целостности липидного бислоя при воздействии низкой температуры. Напротив, при влиянии повышенной температуры (20 °С) отмечалось накопление ТАГ, тогда как уровень фосфолипидов был близок к контрольному значению.

Начиная с третьих суток эксперимента при влиянии 5 и 20 °С в жабрах мидий отмечалось повышенное содержание холестерина (ХС) – структурного компонента мембран, стабилизирующего липидный бислой, которое сохранилось на уровне выше контрольного значения (15 °С) к концу эксперимента (14 суток). Необходимо отметить, что концентрация эфиров ХС, выполняющих резервную функцию ХС и полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) в организме, повышалась также с третьих суток эксперимента, а на 14 сутки была значительно выше исходного значения. По-видимому, повышенный синтез ХС в условиях эксперимента требует выведения его избыточного содержания из общего метаболизма мидий для сохранения гомеостаза ХС в составе мембран жабр.

Интересно отметить, что к концу эксперимента (на 14 сутки) различия в концентрации отдельных фракций фосфолипидов при влиянии 5 и 20 °С были недостоверными, за исключением, минорных фосфолипидов мембран: ФС и сфингомиелина (СФМ), выполняющих регуляторные функции. Их уровень был значительно выше в жабрах мидий, акклиматизированных к повышенной температуре 20 °С.

Отмечено снижение концентрации лизоформ фосфолипидов (в частности, лизоФХ) при акклимации мидий к различной температуре, что свидетельствует об

отсутствии активно протекающих процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ), приводящих к разрушению структуры мембранных фосфолипидов и повышению уровня лизоформ фосфолипидов и, следовательно, к нарушению проницаемости липидного бислоя. По-видимому, низкие концентрации ЛФХ свидетельствуют о регуляторной роли данного фосфолипида в процессе акклимации моллюсков к различной температуре.

В жирнокислотном спектре фосфолипидов жабр компенсаторные изменения, вызванные влиянием различных температур, наблюдались, главным образом, на 3 сутки от начала эксперимента. Повышение концентрации ПНЖК при влиянии пониженной температуры (5 °C) свидетельствует о развитии адаптивных перестроек на уровне жирнокислотного состава фосфолипидов мембран по механизму «адаптации гомеовязкости», описанном для большинства пойкилотермных животных (Sinensky, 1974; Los, Murata, 2004). Более того, на 3 сутки эксперимента в фосфолипидах жабр мидий, подверженных воздействию низкой температуры, отмечалось повышение содержания ПНЖК n-3 семейства, тогда как у моллюсков при влиянии 20 °C – увеличение концентрации n-6 ПНЖК. Описанные различия могут быть связаны со структурными и физико-химическими особенностями данных семейств жирных кислот, а также могут указывать на температурную зависимость развития компенсаторной реакции на уровне ПНЖК в жабрах беломорских мидий.

К концу эксперимента у акклимированных к 20 °C температуре мидий отмечен повышенный уровень насыщенных жирных кислот (НЖК), тогда как у моллюсков при 5 °C наблюдались повышенные концентрации ПНЖК. Это также свидетельствует о развитии адаптивной реакции по механизму поддержания гомеовязкости на уровне мембран жабр при влиянии различной температуры. Известно, что воздействие низкой температуры повышает вязкость мембран, что в свою очередь активирует действие ферментов десатураз, ответственных за формирование двойных связей в структуре жирных кислот. В результате, повышается концентрация ненасыщенных жирных кислот в составе липидного бислоя, возвращая физико-химическое состояние мембран в исходное состояние.

Необходимо отметить большое значение неметиленразделенных жирных кислот (НМРЖК) при акклимации беломорских мидий к различной температуре. Двустворчатые моллюски способны синтезировать данные жирные кислоты, тогда как биосинтез полиенов n-3 и n-6 семейств у них отсутствует или идет при значительно меньшей активности ферментов, ответственных за эти процессы (Pollero et al., 1979; Ackman et al., 1974; Ackman, Hooper., 1973; Paradis, Ackman, 1975; Klingensmith, 1982; Pazos et al., 2003; Barnathan, 2009). Благодаря особенностям своего строения, НМРЖК обладают особыми физико-химическими свойствами, что обеспечивает им высокую устойчивость к окислению. Повышенный уровень этих жирных кислот наблюдался у мидий, подверженных воздействию низкой температуры (5 °C) уже с первых суток от начала эксперимента. В отличие от мидий, помещенных в аквариумы с 15 и 20 °C температурой, у них заметно выше был уровень ПНЖК обычного строения. Таким образом, при влиянии низкой температуры (5 °C) у беломорских мидий происходит активация синтеза НМРЖК при явном недостатке или отсутствии дополнительного синтеза ПНЖК n-3 и n-6 семейств.

Таким образом, полученные результаты указывают на развитие компенсаторной реакции на уровне липидного и жирнокислотного состава жабр беломорских мидий с первых суток экспериментального воздействия (главным образом, пониженной температуры). Продолжительность эксперимента – 14 суток можно считать достаточной для стабилизации большинства исследуемых показателей, что согласуется с результатами, полученными при изучении физиологических показателей состояния беломорских мидий при влиянии различных факторов среды обитания. Как и большинство пойкилотермных животных, беломорские мидии *Mytilus edulis* используют механизм «адаптации гомеовязкости» для сохранения целостности и проницаемости липидного бислоя при влиянии как пониженной, так и повышенной температуры окружающей среды.

Результаты данного исследования получены при использовании Центра коллективного пользования научным оборудованием ИБ КарНЦ РАН. Работа выполнена при поддержке грантов Президента РФ «Ведущие научные школы» (НШ 1642.2012.4), РФФИ № 12-04-32205_мол_а, а также Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 гг.» (№ согл. 8050).

ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИИ МОРСКОЙ ЗВЕЗДЫ *ASTERIAS RUBENS* L. В КАНДАЛАКШСКОМ ЗАЛИВЕ БЕЛОГО МОРЯ

О.В. Фомина¹, Г.А. Шкляревич²

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный заповедник
«Кивач», п. Кивач, Россия, e-mail: olga-v-fomina@yandex.ru;

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования «Петрозаводский государственный
университет», Петрозаводск, Россия

Введение

Тип Echinodermata (иглокожие) одна из наиболее интересных крупных таксономических групп беспозвоночных животных, в том числе и в Белом море. Развитие иглокожих сопровождается сложным превращением с планктонной личинкой. У большинства видов жизненный цикл протекает в виде двух гемипопуляций: одной – планктонной с периодом жизни от 2–3 недель до 2–3 месяцев и более (в условиях отдельных холодных лет), и другой – донной продолжающейся от момента оседания личинок на субстрат до окончания жизненного цикла (Зацепин, Риттих, 1982). В течение обеих фаз жизненного цикла иглокожие играют большую роль в трофической составляющей экосистем океанической и морской частей гидросферы нашей планеты.

В фундаменте функционирования экосистем Белого моря лежат биотические и трофические связи и взаимозависимости гидробионтов. Изучение биологии и экологии отдельных видов беспозвоночных животных, составляющих беломорские экосистемы является немаловажной и актуальной в настоящее время задачей.

Asterias rubens L. – типично морские, стеногалинные, не переносящие значительного опреснения организмы. Звезды этого вида играют весьма заметную роль в донных биоценозах, а их личинки в планктоне Белого моря. Именно данный вид является одним из самых распространенных среди иглокожих в сублиторальной зоне морей бореальной и арктической областей (Дьяконов, 1955). Работа проводилась в охраняемой акватории Кандалакшского Государственного природного заповедника. Исследование беломорской звезды *Asterias rubens* важно не только в целях уточнения ее роли в жизни экосистемы, но имеет и практическое значение. *Asterias rubens* является одним из важнейших хищников объекта марикультуры – мидии съедобной – *Mytilus edulis*, так как питаются звезды этого вида преимущественно двусторчатými моллюсками, при этом мидии – предпочитаемый кормовой объект.

Материал и методы

Объект наших исследований – беломорская звезда *Asterias rubens*, обитающая в охраняемой мелководной акватории ФГБУ ГПЗ «Кандалакшский» в Кандалакшском заливе Белого моря. Работа проводилась в июне–июле 2002 г., июне – августе 2003 г., июне – июле 2007–2009 гг. на станциях Кандалакшского Государственного природного заповедника, расположенных на острове Горелом

в Порьей губе; литоральном участке п. Лувеньги; острове Ряжков и близ лежащих островах.

Asterias rubens отлавливались на литорали и в верхней сублиторали. Сбор морских звезд производился с помощью водного сачка в случае сбора проб в верхней сублиторали и руками – на литорали.

Определение пола *Asterias rubens*:

Звезды этого вида раздельнополы, но иногда встречается и гермафродитизм (Кауфман, 1977 по Retrius, 1911). Гонады *Asterias rubens* располагаются в лучах. Семенники исследованных нами звезд молочно-белые или слабо-розовые, яичники бледно-оранжевые. Для сперматозоидов беломорской астериас характерна длинная хвостовая нить. В период 2003, 2008–2009 гг. изучался половой состав *Asterias rubens*, обитающих на мелководьях Кандалакшского залива Белого моря. Звезд вскрывали, небольшой фрагмент гонады помещали на предметное стекло, добавляли каплю морской воды, накрывали покровным стеклом и рассматривали под биноклем.

Определение возраста *Asterias rubens*:

Проводилось по длине радиуса. Эта величина измерялась от центра диска в области ротового отверстия до вершины (кончика) луча. Впервые эта методика определения возраста беломорских *Asterias rubens* была применена Т.А. Беэр (1987).

Исследование питания птиц:

В конце июня – начале июля 2006 года в районе Порьей губы на четырех островах был собран помет гаги обыкновенной для копрологического анализа и характеристики трофических связей этой морской птицы. Ранее была показана принципиальная возможность использования этого метода (Шкляревич, Шкляревич, 1982).

Серии проб экскрементов собирали в местах отдыха птиц после кормежки. После высушивания помета в условиях лаборатории каждая проба размачивалась в морской воде в отдельной чашке Петри и рассматривалась под биноклем (в отдельных случаях при необходимости под микроскопом).

Результаты

Пол и половой состав агрегаций морских звезд *Asterias rubens* на мелководьях Кандалакшского залива Белого моря. Самые молодые половозрелые особи имели максимальный радиус луча от 13 до 16 мм.

В 2003 г. почти во всех исследованных нами районах наблюдалось четкое превосходство в сборах самок *Asterias rubens*. Исключение составил район Турьего мыса, где самцов больше, чем самок. Здесь же в 2008 г. было наоборот больше самок.

В 2008 г., в районе Порьей губы (губа Долгая и на корге у губы Немчиновская) в процентном соотношении преобладали самцы.

На о. Олений, как и в 2003 г. наблюдалось превосходство самцов над самками.

На о. Куричок и на Девичьих лудах преобладали в пробах самки, на о. Ряжков в пробах было не намного больше самцов. В 2009 г. во всех местах сбора проб в процентном соотношении количественно преобладали самки над самцами.

Известно, что в случае значительного численного превосходства самок над самцами потомство будет многочисленное, но менее жизнеспособное; а в случае преобладания самцов над самками, вероятнее всего ожидать оплодотворения самок наиболее сильными и жизнеспособными самцами, тогда потомство будет малочисленное, но более жизнеспособное (Винберг, 1970).

Возраст морских звезд *Asterias rubens* на мелководьях Кандалакшского залива Белого моря. В период исследований, кроме 2003 и 2007 гг., преобладали особи морских звезд старше трех лет, что говорит о том, что именно в период взятия проб конец июня – июль, половозрелые особи выходят на нерест. Сравнивая результаты определения возраста звезды по радиусу луча и по мадрепоровой пластинке, установили следующее:

Возраст морской звезды <i>Asterias rubens</i> по мадрепоровой пластинке	Длина радиуса луча морской звезды <i>Asterias rubens</i> , мм
1 год	не более 15
2 года	от 15 до 23
3 года	от 23 до 30
4 года	от 30 до 37
5 лет	от 37 до 45
6 лет	от 45 до 66
7 лет	от 66 до 75
8 лет	от 75 до 80
9 лет	от 80 до 84
10 лет	от 84 до 90
11 лет	от 90 до 94,2
12 лет	от 94,2 до 99,1

По некоторым энциклопедическим данным известно, что морские звезды живут до 30 лет, продолжительность жизни *Asterias rubens* (по данным Schafer, 1972) приблизительно до 10 лет. По нашим данным, в 2009 г. в двух местах сбора проб: в Порьей губе на о. Горелый поймана звезда с длиной наибольшего радиуса луча 94,2 мм (диаметр мадрепоровой пластинки 4 мм), возраст данной звезды приблизительно 11 лет, и Вороньей губе Кандалакшского залива звезда с длиной луча 99,1 мм (диаметр мадрепоровой пластинки 4 мм), возраст приблизительно 12–13 лет. Диаметр мадрепоровой пластинки не зависит от возраста морских звезд, а зависит от условий (среды обитания), в которых живут звезды. По мадрепоровым пластинкам звезд можно получить более точные данные по возрасту. На литорали ряда островов Кандалакшского залива Белого моря в период наших исследований обитало наибольшее количество звезд в возрасте от 1 года до 4 лет, но также в достаточном количестве обитали особи в возрасте 5 лет. Отмечены единичные особи более старшего возраста от 6 до 12 лет.

***Asterias rubens*, как компонент питания Гаги обыкновенной (*Somateria mollissima* L.).** Гага является одной из немногих морских птиц, рацион которой составляют почти исключительно морские беспозвоночные животные.

В 2006 г. на мелководьях у островов Порьей губы Кандалакшского залива: о. Дьячиха, о. Малый Меженный, о. Седловатый Баклыш, о. Большой Седловатый в летнее время питание этой утки было разнообразным и состояло из 43 компо-

нентов животного и растительного происхождения. Беспозвоночные животные были представлены 34 видами. Основу питания гаги, обитающей летом 2006 г. в Порьей губе, составляли моллюски: двусторчатые – 43%, брюхоногие – 38%. Относительно высокую встречаемость в питании уток в исследованных мелководьях имели морские звезды *Asterias rubens*: от 8 до 10%.

В 2000–2001 гг. было исследовано питание гаги обыкновенной в разных районах Кандалакшского залива Белого моря: Центральная луда, остров Великий и Порья губа (Краснов, Шкляревич, 2012). Относительная встречаемость *Asterias rubens* здесь в питании гаги составляла соответственно 4,1; 2,5 и 14%.

Общеизвестно, что гага является в основном малакофагом и главным пищевым объектом служит *Mytilus edulis*. Поскольку в обследованном нами районе мидии образуют отдельные небольшие по размеру поселения, гагам на мелководьях Порьей губы приходится более широко включать в рацион своего питания другие виды беспозвоночных, в том числе и более активно питаться морской звездой *Asterias rubens*.

Таким образом, в связи с недостаточной изученностью этого вида и вместе с тем являясь существенным звеном в сети биотической составляющей экосистем Белого моря, *Asterias rubens* заслуживает дальнейшего более глубокого исследования ее биологии и экологии.

БИЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЧНОЙ КАМБАЛЫ АКВАТОРИИ О. КИЙ ОНЕЖСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

Г.В. Фукс

Северный филиал Федерального государственного унитарного предприятия «Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича», Архангельск, Россия, e-mail: fuks@pinro.ru

Камбала речная *Platichthys flesus* (Linnaeus, 1758) (рис. 1) представитель бореального фаунистического комплекса, широко распространенный вид вокруг Европы от Черного и Азовского морей до Баренцева и Белого. Донный, солоноватоводный вид, повсеместно обитает в прибрежных участках Белого моря, образуя множество обособленных локальных группировок, отличающихся скоростью роста, временем полового созревания и другими биологическими показателями. Это обусловлено малоподвижным образом жизни (камбала не совершает миграций на большие расстояния), а также комплексом биотических факторов, влияющих на биологию вида в каждом районе ареала. Достигает длины 40 см, обычно не более 28. Средняя зоологическая длина на акватории о. Кий составила 17,0 см. Необходимо отметить, что акватория острова является мелководной и служит большей частью для нагула неполовозрелой молодежи.

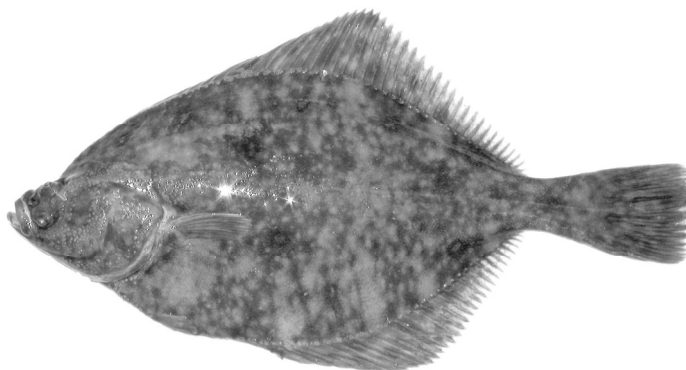


Рис. 1. Камбала речная *Platichthys flesus*

Нерест речной камбалы в Онежском заливе растянутый, происходит в прибрежье с начала июня по конец июля, по некоторым данным – до середины августа. Время наиболее интенсивного нереста приходится на конец июня – начало июля; основные места нереста – восточная часть кута залива – район губы Кянды, район Нюхотской губы и островов Кузова, Жужмуй, которые находятся в открытой части Онежского залива. Икра, как и у других камбал, пелагическая. Плодовитость речной камбалы Белого моря варьирует в широком диапазоне.

Сотрудниками Северного филиала ПИНРО за период 2002–2012 гг. было поймано более 1500 экземпляров речной камбалы в районе о. Кий. Особи представлены размером от 7 до 39 см, самцы – 7–23 см, самки – 8–39 см. Модальная группа самцов 11–17 см, самок – 13–19 см (рис. 2). Средняя масса самцов составила 36,4 г, самок – 87,8 г. Соотношение самок и самцов около 2:1. Возрастная структура представлена диапазоном от 2 до 11 лет. У самцов доминирует возрастная

группа 3–4 лет, занимая 73,7% от выборки, у самок доминирующая группа – 3–5 лет (81,6%) (рис. 3). Большинство рыб находилось во II (64,0%) стадии зрелости гонад, что говорит о преобладании неполовозрелых особей в районе исследований.

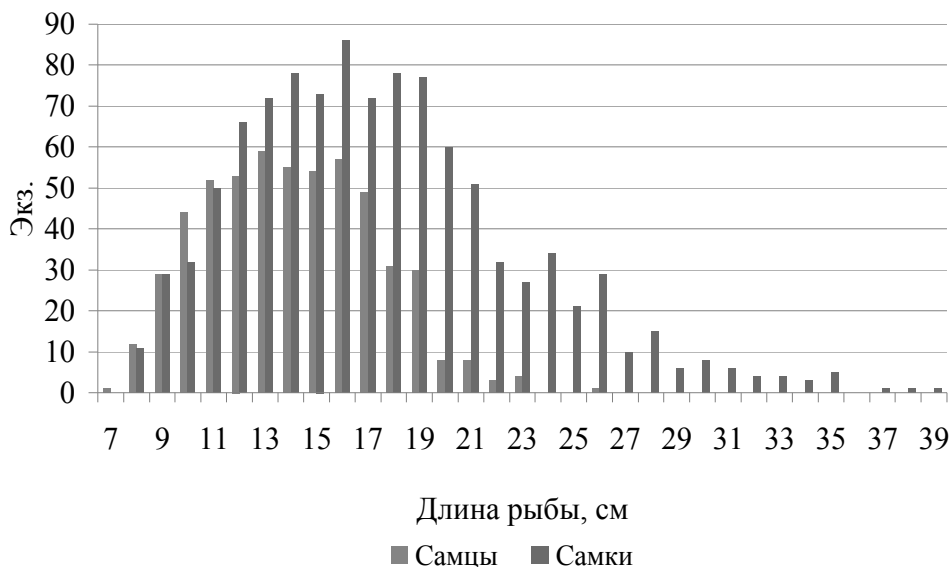


Рис. 2. Размерный ряд речной камбалы на акватории о. Кий Онежского залива Белого моря

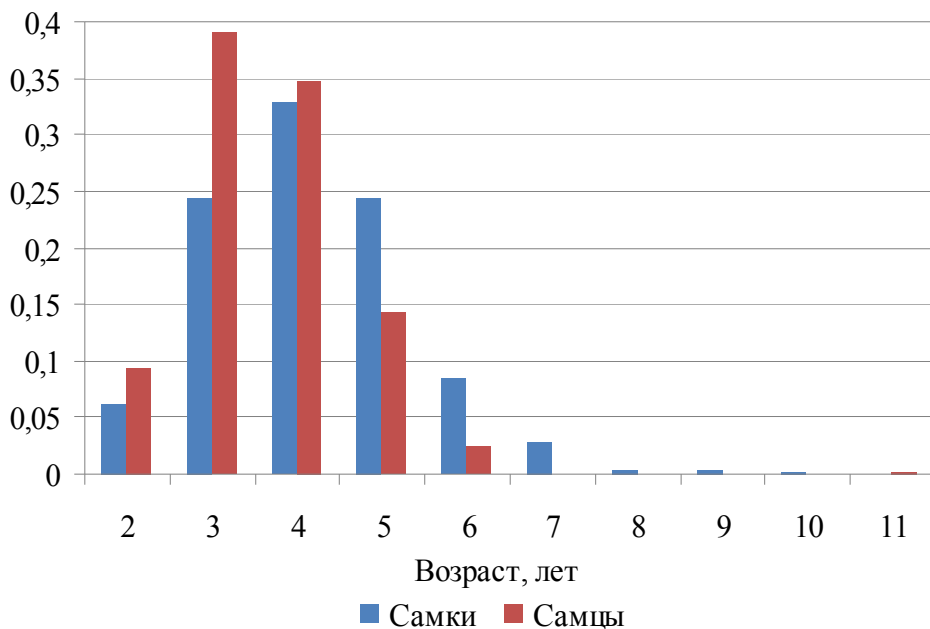


Рис. 3. Возрастная структура речной камбалы на акватории о. Кий Онежского залива Белого моря

Пища речной камбалы, по литературным данным, главным образом состоит из различных моллюсков (*Macoma*, *Mytilus*, *Mya*, *Sphaerium*, *Pisidium*, *Tellina*, *Cardium* и других), ракообразных (Copepoda, Cirripedia, Amphipoda, Mysidae, Decapoda), червей (*Nereis*, *Arenicola*), личинок водных насекомых (Chironomidae и прочих), мелких рыб и молоди рыб (например, песчанки, личинок сельдевых), что было подтверждено проведенными исследованиями. В питании преобладали двустворчатые моллюски – 31,9%, икра рыб составила – 14,0%, полихеты – 13,0%, ракообразные – 13,4%, единично отмечены брюхоногие моллюски, песчанка, членистоногие; остальное переваренная пища. По срокам встречаемости икры в желудках, преимущественно беломорской сельди, можно отследить начало нереста сельди.

Левоглазые особи составили 30,3%. За период наблюдений количество этих особей сильно менялось. Камбала с пигментными пятнами встречалась единично. Средняя абсолютная плодовитость речной камбалы, выловленной в районе о. Кий составила 700 тыс. икринок, относительная – 3,2 тыс. икринок. Абсолютная плодовитость широко варьировала, диапазон 100 тыс. – 2 млн икринок.

В целом, за исследованный промежуток времени, можно сказать следующее. Прибрежная акватория о. Кий Онежского залива Белого моря является местом нагула молоди речной камбалы, это подтверждено большинством неполовозрелых особей и средними показателями длин особей. В весенний период камбала активно питается. Нашими исследованиями подтвержден спектр питания, описанный в литературе. Численность самок в два раза превосходит численность самцов, что характерно для вида. Малое количество старшевозрастной камбалы говорит о том, что крупная половозрелая рыба мигрирует на более глубокие участки Онежского залива.

ВЗАИМООТНОШЕНИЯ МОЛЛЮСКОВ РОДА MYTILUS НА ЛИТОРАЛИ БЕЛОГО МОРЯ

В.М. Хайтов¹, Н.В. Владимирова², М.А. Сказина³

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург, Россия;

² Федеральное государственное бюджетное учреждение «Кандалакшский государственный природный заповедник», Кандалакша, Россия;

³ Санкт-Петербургский городской Дворец творчества юных, Лаборатория экологии морского бентоса (гидробиологии), e-mail: polydora@rambler.ru

По всему северо-западному побережью Европы, помимо атлантической мидии *Mytilus edulis* (Me), присутствуют также и локальные поселения *M. trossulus* (Mt), тихоокеанской мидии (Vainola, Strelkov, 2011). *Mt* была отмечена и в Белом море (Стрелков и др., 2008), где моллюски двух видов сосуществуют, мозаично распределяясь в пространстве, но сохраняя при этом высокую изоляцию генофондов (Католикова и др. 2011). Факторы, изолирующие эти формы, до сих пор неясны, однако возможным механизмом, препятствующим гибридизации, является презиготическая изоляция, основанная на пространственном разобщении поселения разных видов. Показано, что эти виды мидий чаще образуют агрегации с конспецификами, чем с представителями другого вида (Liu et al., 2011). Причины формирования такого паттерна могут быть связаны, как с положительным взаимовлиянием особей одного вида, так и с отрицательными воздействиями на особей чужого вида. Для выбора между предложенными альтернативами мы провели эксперимент на литорали о. Ряжкова, (Северный архипелаг, Кандалакшский заповедник).

Подготовка экспериментального материала. Надежная идентификация *Me* и *Mt* возможна только по молекулярным маркерам, процедура использования которых трудоемка и дорогостояща. Вместе с тем, для проведения экспериментов было необходимо разработать систему массовой идентификации моллюсков по морфологическим признакам. Ранее было показано, что у разных видов мидий наблюдается разный паттерн закладки перламутрового слоя на внутренней поверхности раковины, прилегающей к лигаменту (Золотарев, Шурова, 1997; Стрелков и др., 2008; Khaitov et al., 2012): у *Mt* под лигаментом, на всем его протяжении, идет тонкая полоска призматического слоя непокрытая перламутром, у *Me* под лигаментом перламутровый слой хорошо развит.

Для дополнительной проверки соответствия морфологического признака и молекулярных маркеров, у 43 мидий, собранных на литорали о. Ряжкова, было проведено генотипирование по двум видоспецифичным ДНК-маркерам (ITS и Me 15/16). Результаты показали, что из 23 особей, имеющих морфологический признак, характерный для *Mt*, 22 особи были идентифицированы молекулярными методами, как *Mt*, лишь одна особь была определена, как гибрид *Me* и *Mt*. Из 21 особи, имевшей морфологический признак, характерный для *Me*, 14 экземпляров были определены, как *Me*, 5 особей, как *Mt*, и 2 особи, как межвидовые гибриды. Таким образом, на литорали о. Ряжкова данный морфологический признак также надежно скоррелирован с молекулярными маркерами.

Кроме того, нами было отмечено, что у мидий, определенных с помощью ДНК-маркеров, как *Mt*, раковина имеет относительную толщину (толщина створ-

ки, отнесенная к длине раковины) достоверно меньшую, чем у *Me* (0.0127 ± 0.0009 для *Mt*; 0.0164 ± 0.0010 для *Me*; *t*-критерий, $p=0.013$; достоверных различий по длине раковин не выявлено). Это позволило применить для прижизненной приближительной идентификации мидий признак, предложенный в работе Э. Бюмона с соавторами (Beaumont et al., 2008): при сжатии раковины живого моллюска в дорзo-вентральном направлении, у более тонкостенных *Mt* появляется зияющая щель, которая не выявляется у *Me*. Пользуясь этим признаком, мы сформировали наборы животных, использованных в эксперименте.

Постановка эксперимента. Для проведения эксперимента были собраны мидии двух размерных классов: крупные ($L > 30$ мм) и мелкие ($15 < L < 25$ мм). Моллюски в определенной комбинации были помещены в пластиковые контейнеры (18x13x9 см). Мы разбили 18 контейнеров на три группы по 6. В контейнеры первой группы (далее «доминируют *Me*») было высажено по 100 крупных особей, предположительно относящихся к *Me* (прижизненное определение по толщине створок); в контейнеры второй группы («доминируют *Mt*») – по 100 крупных особей, предположительно относящихся к *Mt*; в третью группу («*Me+Mt*») – 50 крупных предположительно *Me* и 50 крупных предположительно *Mt*. Далее в каждый контейнер было высажено по 20 мелких особей (10 предположительно *Me* и 10 – *Mt*). Помимо этого, было подготовлено 6 контейнеров (14x10x6 см), в которые высажено только по 20 мелких мидий (10 предположительно *Me* и 10 – *Mt*). Последний тип контейнеров будет обозначаться, как «разреженные поселения». Далее каждый контейнер был затянут делью и закреплен стальными колышками на литорали на одном из двух участков (на литорали Южной и Северной губы о. Ряжкова). После двух месяцев экспозиции (с 3.06.12 по 14.08.12 августа 2012 г.) контейнеры были сняты. Все мидии были вскрыты, и у них был определен паттерн развития перламутрового слоя в районе лигамента, в соответствии с которым мы относили ту или иную особь к *Me* или *Mt* (отдавая отчет в условности такого определения, мы считаем, что столь массовый материал компенсирует неизбежные ошибки).

Результаты. Реальные соотношения *Me* и *Mt* оказались иными, нежели предполагалось. В контейнерах группы «доминируют *Me*» было отмечено 85-91% *Me*; в контейнерах «доминируют *Mt*» – 54-62% *Mt*; в контейнерах «*Me+Mt*» – 31-36% *Mt* и 64-69% *Me*.

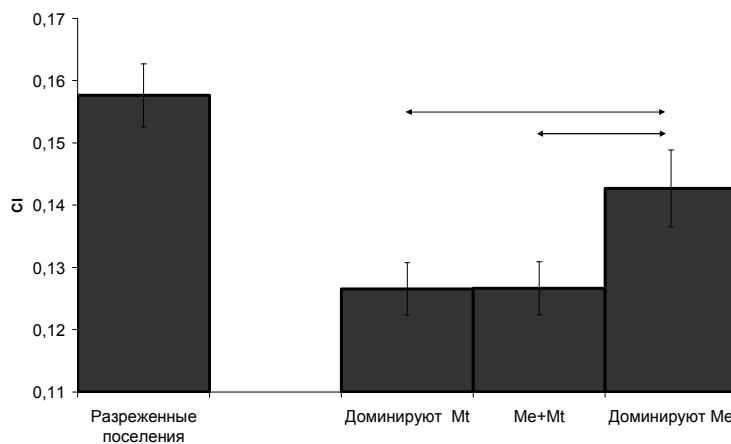
Мягкие ткани мелких особей были собраны в алюминиевые боксы и высушены при температуре 76°. Далее, для каждой особи был определен индекс состояния (CI) равный отношению веса мягких тканей к весу раковины. CI мелких особей был проанализирован с помощью трехфакторного дисперсионного анализа (табл.). В качестве факторов были использованы: содержимое контейнера (градации «доминируют *Me*», «доминируют *Mt*», «*Me+Mt*»), место постановки (градации «Южная губа» vs «Северная губа») и контейнер (фактор, иерархически соподчиненный взаимодействию первых двух факторов).

Для мелких *Me* была выявлена достоверная зависимость от содержимого контейнера, для мелких *Mt* о достоверности можно говорить лишь при уровне значимости $p < 0.1$. Рис. показывает, что в контейнерах группы «доминируют *Me*» мелкие *Me* имели достоверно больший CI, чем в контейнерах, в которых в большом количестве были представлены особи другого вида. Подобная тенденция (хоть и менее выра-

женная) наблюдается и в случае с мелкими *Mt*, у которых индекс состояния был ниже в контейнерах, где преобладали особи иного вида. Как для мелких *Me*, так и для мелких *Mt*, в разреженных поселениях индекс состояния был существенно выше, чем в любых контейнерах, содержащих плотное скопление крупных особей.

**Результаты дисперсионного анализа CI мелких мидий разных видов,
находившихся в контейнерах разных типов**

Факторы	SS	df	MS	F	p
Мелкие <i>Mt</i>					
Место постановки	0.0001	1	0.0001	0.0	0.828
Содержимое	0.0087	2	0.0044	2.4	0.098
Место x Содержимое	0.0059	2	0.0030	1.6	0.202
Контейнер (Место x Содержимое)	0.0253	12	0.0021	1.2	0.327
Еггор	0.2074	113	0.0018		
Мелкие <i>Me</i>					
Место постановки	0.012	1	0.0121	8.2	0.005
Содержимое	0.012	2	0.0058	3.9	0.022
Место x Содержимое	0.001	2	0.0005	0.3	0.732
Контейнер (Место x Содержимое)	0.019	12	0.0015	1.0	0.411
Еггор	0.252	170	0.0015		



Средние значения индекса состояния у мелких мидий разных видов
(A – *M. trossulus*; B – *M. edulis*), после экспозиции в контейнерах с различным
содержимым. Горизонтальные стрелки маркируют достоверно различающиеся
средние (SNK-тест, $p < 0.05$)

Полученные результаты говорят в пользу того, что у мидий существует некоторый механизм подавления особей иного вида, попавших в скопления. Однако и особи своего вида также испытывают угнетение, попадая в плотные скопления конспецификов. Таким образом, описанная сегрегация моллюсков разного вида, вероятно, связана с отрицательным влиянием на представителей иного вида. Вероятно, вследствие таких отрицательных взаимовлияний и происходит поддержание мозаичного характера распределения двух видов мидий.

ОСОБЕННОСТИ ЭКОЛОГИИ БЕЛОМОРСКОЙ ГУБКИ *HALICHONDRIA PANICEA* (PALLAS, 1766)

В.В. Халаман, А.Ю. Комендантов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Зоологический институт
Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: VKhalaman@gmail.com

Среди морских эпибентосных организмов известны виды, которые можно назвать «экологически агрессивными». Их объединяет чрезвычайно высокая скорость соматического роста, способность интенсивно обрастать как свободные поверхности, так и субстраты, занятые другими седентарными организмами, многие из них обладают токсическими свойствами. Подобные представители широко распространены среди колониальных животных: губок (Green, 1977; Davis et al., 1991; Becerro et al., 1997; Engel, Pawlik, 2000; Duckworth, Battershill, 2001), кораллов (Coll, 1992), мшанок (Sutherland, 1978; Buss, 1979; Nandakumar, Tanaka, 1994), сложных асцидий (Young, Chia, 1981; Myers, 1990), что позволило некоторым авторам считать модульные организмы более конкурентно способными по сравнению с солитарными (Jackson, 1977; Nandakumar, Tanaka, 1993). Вместе с тем, модульные организмы в эпибентосных сообществах хотя и занимают заметное место, но далеко не всегда являются доминирующими, в том числе и на терминальных стадиях сукцессии (Paine, Suchanek, 1983; Greene et al., 1983; Garcia, Salzwedel, 1995; Maughan, Barnes, 2000; Ошурков, 2000; Халаман, 2001, 2005; Звягинцев, 2005 и др.).

В Белом море одним из видов, претендующих на роль «экологически агрессивного», является губка *Halichondria panicea*. Используя этот вид в качестве модельного, мы попытались определить, какие особенности такого организма могут сдерживать его экспансию в эпибентосных сообществах. Для этого посредством серии лабораторных и многолетних полевых экспериментов были исследованы.

1. Структура сообществ, образованных *H. panicea*.
2. Способность колоний *H. panicea* приживаться в уже сформированных поселениях седентарных организмов.
3. Сезонная и многолетняя динамика колоний губки *H. panicea*.
4. Оседание и метаморфоз личинок *H. panicea* на ЭСП особей своего вида и других седентарных организмов.

Работы были проведены на Беломорской биологической станции «мыс Картеш» Зоологического института РАН.

Исследование многолетних сообществ обрастания искусственных субстратов показало, что колонии губки *Halichondria panicea*, как правило, представляют собой «вставку» или отдельное «пятно» в плотных поселениях других массовых седентарных организмов, какими обычно являются мидии *Mytilus edulis* или одиночные асцидии *Styela rustica*. Структура сообществ, образуемых *H. panicea*, зависит от того, на фоне поселения какого из массовых видов – обрастателей оно сформировалось. В пределах «пятна», занятого *H. panicea*, губка по биомассе может уступать «фоновому» виду, но при этом, практически, полностью покрывать и субстрат, и все седентарные организмы, обитающие на этом субстрате. Общая биомасса седентарных животных (двустворчатые моллюски, асцидии, гидроиды)

на участках, занятых губкой, существенно ниже, чем в «фоновых». В сообществе *H. panicea* совершенно отсутствуют такие типичные организмы - обрастатели как мшанки. Биомасса макрофитов за исключением *Saccharina latissima* (*Laminaria saccharina*) в сообществах с доминированием губки также ниже, чем в соседних, где *H. panicea* отсутствует. Однако общая биомасса как эррантных, так и седентарных полихет на участках занятых губкой выше, чем в «фоновых». В значительных количествах вместе губкой обитает офиура *Ophiopholis aculeata*, которая вне пределов колонии *H. panicea* в сообществах обрастания встречается крайне редко. Таким образом, поселения седентарных организмов в присутствии губки оказываются угнетенными, тогда как ирригационная система губки создает убежища для существования обильной вагильной фауны (Халаман, Комендантов, 2011).

Способность колоний *H. panicea* приживаться в уже сформированных поселениях седентарных организмов была тестирована путем искусственной подсадки губки в поселения организмов, образующих долговременные сообщества обрастания в Белом море – мидий *Mytilus edulis* и асцидий *Styela rustica*. Контролями служили поселения этих животных, к которым губка не подсаживалась и губка, перенесенная на чистые субстраты. Выживаемость губок на чистых субстратах, не занятых предварительно другими организмами-обрастателями, составляла 100%. Средняя масса таких колоний увеличивалась за один год в 7 раз. На субстратах, где изначально присутствовали мидии, колонии *H. panicea* к концу эксперимента были обнаружены только в 40% случаев. При этом масса выживших колоний была либо меньше изначальной, либо превышала ее не более чем в 1.5 раза. Вместе с тем, внедрение губки для мидий не проходит бесследно. Там, где губка прижилась, наблюдается снижения биомассы, плотности поселения и модальных размеров моллюсков по сравнению с участками свободными от *H. panicea*. По предварительным данным (эксперимент к настоящему времени еще не завершен) *H. panicea* в поселениях *Styela rustica* приживается значительно лучше, чем среди мидий.

Для проведения наблюдений за динамикой колоний *H. panicea* в море установили специальные конструкции, на которых были прикреплены планшеты с фрагментами колоний губки *H. panicea*. В ходе 3-х летних наблюдений была подтверждена известная для губки данного вида (Иванова, 1981; Barthel, 1986; Thomassen, Riisgård, 1995) деградация материнских особей, которая наступает после размножения. Однако только в одном случае нами было отмечено полное разрушение колонии без ее последующего восстановления. Репарация колонии занимает более одного года. По этой причине ежегодно участвовать в размножении одна и та же колония, по-видимому, не в состоянии. Максимальная площадь, которую занимает одна особь *H. panicea*, ограничена и составляет не более 600–620 см².

Лабораторные исследования влияния экскреторно-секреторных продуктов (ЭСП) наиболее массовых организмов-обрастателей Белого моря на выживаемость, оседание и метаморфоз личинок губки *Halichondria panicea* позволили установить следующее. Низкие концентрации ЭСП *H. panicea* существенно стимулируют метаморфоз личинок своего вида, тогда как высокие их убивают. При этом следует отметить, что токсические свойства *H. panicea*, в том числе и ларвотоксические, хорошо известны (Dyrynda, 1983; Nakamura et al., 1991; Althoff et al., 1998; Kobayashi, Kitagawa, 1998; Халаман и др., 2008, 2009). В воде, кондициони-

рованной асцидиями *Styela rustica* и *Molgula citrina*, большинство личинок губки остаются неприкрепленными. Негативное влияние ЭСП двустворчатых моллюсков (*Mytilus edulis* и *Hiatella arctica*) на оседание личинок *H. panicea* выражено в несколько меньшей степени. Напротив, ЭСП бурой водоросли *Saccharina latissima* резко стимулирует как оседание, так и успешный метаморфоз личинок *H. panicea* (Халаман и др., 2011, Халаман и др., в печати). Результаты этих экспериментов позволяют сделать несколько предположений. Одной из причин мозаичного распределения колоний *H. panicea* в эпилентосных сообществах и отсутствия сплошных поселений этой губки, по-видимому, служит губительное воздействие ее ЭСП на личинок своего вида. Вместе с тем, при низких концентрациях ЭСП *H. panicea* способствуют включению личинок в восстановление материнской особи (Иванова, 1981). Личинки *H. panicea* избегают оседать в местах массовых скоплений асцидий или двустворчатые моллюски, возможно, из-за риска быть отфильтрованными. Вместе с тем, в Белом море бурая водоросль *Saccharina latissima* облегчает инвазию *H. panicea* в эпилентосные сообщества. Это хорошо согласуется с натурными наблюдениями. *H. panicea* часто поселяется на ризоидах ламинарий, произрастающих как на естественных грунтах, так и на искусственных субстратах. Более того, внутри многих колоний губки можно обнаружить ризоиды данного растения, когда сам лист уже отсутствует (Халаман и др., 2011, Халаман и др., в печати).

Обобщая данные всех проведенных исследований, можно заключить следующее. Обитающая в Белом море губка *Halichondria panicea* является экологически «агрессивным» видом, обладающим высокой скоростью соматического роста, токсическими свойствами и способностью угнетать поселения других седентарных организмов. Однако экспансия данного вида в эпилентосных сообществах сдерживается рядом биотических факторов.

1. Ограниченными размерами колонии *H. panicea*.
2. Значительной деградацией материнских особей *H. panicea*, наступающей после размножения, и длительным периодом их восстановления.
3. Способностью некоторых эпилентосных организмов, в частности мидий *Mytilus edulis*, успешно противостоять развитию колоний *H. panicea* или оседанию их личинок как в случае с асцидиями *Styela rustica* и *Molgula citrina*.
4. Невозможностью *H. panicea* образовывать сплошные поселения аналогичные тем, которые свойственны двустворчатым моллюскам или асцидиям. Одна из причин этого – токсическое действие веществ, выделяемых губками во внешнюю среду, на личинок своего вида.

В целом, роль *Halichondria panicea* в многолетних эпилентосных сообществах в Белом море можно определить как факультативную «надстройку» (или временный компонент) сообществ, образованных другими массовыми седентарными организмами.

Работа поддержана грантом РФФИ №10-04-00310.

МЕТОДЫ ЭКСТРАКОРПОРАЛЬНОЙ ГЕМОКОРРЕКЦИИ В МЕДИЦИНСКОЙ И ВЕТЕРИНАРНОЙ ПРАКТИКЕ. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

В.В. Чаленко¹, Н.А. Арсениев², В.В. Костиков², Н.Н. Нестеров³

¹ Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения РФ, Санкт-Петербург, Россия;

² Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургская государственная химико-фармацевтическая академия» Министерства здравоохранения РФ, Санкт-Петербург, Россия;

³ ЗАО «Маринпродукт» Лоухский район, Республика Карелия, e-mail: nnnes@mail.ru

Методы экстракорпоральной гемокоррекции (эфферентной терапии) со второй половины XX в. находят все более широкое применение в комплексном лечении различных заболеваний человека и животных [1, 2, 3]. Если проблема использования рассматриваемых методов у человека заняла достаточно прочное место в повседневной клинической практике – имеются сотни тысяч публикаций по этой проблеме, то в ветеринарии проблема изучена в значительно меньшей степени, о чем свидетельствует значительно меньшее количество сообщений. Большинство источников в «Интернете» представлено рекламными проспектами соответствующих ветеринарных фирм, а не информации о клиническом опыте, тем более, обобщенном с позиций современной доказательной медицины. В медицине в настоящее время “Операции экстракорпоральной гемокоррекции (лечебный гемаферез и др.), процедуры фотогемотерапии” согласно приказу МЗ РФ от 29 мая 1997 г. № 172 отнесены к функциональным обязанностям врача-трансфузиолога. В силу сложившихся обстоятельств, в ветеринарной практике подобного разделения на субспециальности типа “ветеринарная терапия”, “ветеринарная хирургия” и тем более “ветеринарная трансфузиология” не существует, хотя очевидно, что один и тот же специалист не в состоянии одинаково качественно лечить домашних и крупных сельскохозяйственных животных с применением различных медицинских технологий.

Во второй половине XX в. в медицине и ветеринарии появилась концепция эндогенной интоксикации – патогенеза болезней, основанная на накоплении в организме патологических веществ или накоплении нормальных продуктов метаболизма в патологически высоких концентрациях. Это дало толчок к развитию медицинских технологий, основанных на инструментальной детоксикации, т. е. выведении из организма соответствующих веществ [3, 4].

В настоящее время таких технологий существует несколько десятков, и каждая из них нашла свое место в комплексном лечении многих болезней человека. В ветеринарной практике опыт использования этих технологий существенно уже. Наибольшее количество сообщений касается применения гемодиализа у крупных домашних животных – кошек и собак при хронической почечной недостаточности (ХПН). Причины этого, видимо, следующие: 1) ХПН является одной из основных причин болезни и смерти у пожилых кошек и собак; 2) Лечение ХПН у животных, имеющих состоятельных владельцев, рентабельно экономически; 3) Формирова-

ние ХПН – длительный процесс, дающий запас времени для диагностики и решения ветеринарно-экономических проблем; 4) Технологии инструментального лечения ХПН, как у человека, так и у животных разработано достаточно хорошо, что позволяет длительное время компенсировать это состояние и поддерживать жизнь “пациентов” на достаточно приемлемом уровне [7, 8, 9].

Традиционные методы лечения хронической болезни почек становятся недостаточно эффективными, когда концентрация креатинина в сыворотке крови преодолевает уровень 618,8 мМ/л (7 мг/дл) [9, цит. по: <http://www.vetclub.ru/content/view/329/63>]. Для сравнения – у человека при ХПН более информативными показателями в срочному началу острого гемодиализа считается концентрация креатинина более 1,0 мМ/л, мочевины – более 20–35 мМ/л, клубочковой фильтрации – менее 5–10 мл/мин, калия – более 6.5 мМ/л и дефицит оснований – менее –12, а при острой почечной недостаточности (ОПН) – дополнительно: тяжелую уремическую энцефалопатию, анурию более 3 суток, [3]. Причина необходимости более раннего использования инструментальной детоксикации и почечнозаместительной терапии у животных, по сравнению с человеком очевидна: животное намного сложнее «заставить» строго соблюдать почечную диету, гидробаланс и регулярно принимать нефротропные фармпрепараты. На этой стадии почечной недостаточности с помощью гемодиализа можно избавить пациента от азотемии, нарушений электролитного, минерального и кислотного балансов организма, дефицита питательных веществ и сопутствующих системной гипертензии осложнений со стороны почек. Гемодиализ необходим далеко не всем пациентам с хронической болезнью почек, однако многие владельцы мелких домашних животных настойчиво просят о его проведении, исходя в большей степени из эмоциональных побуждений (желания оказать помощь своему питомцу любыми средствами), чем на основании разумных доводов. Проведение животным гемодиализа не исключает необходимости продолжения лечения хронической болезни почек другими методами и средствами, позволяющими устранять дефицит питательных веществ, анемию, нарушения минерального обмена, ацидоз и гипертензию, которые сопутствуют тяжелым поражениям почек. Гемодиализ дает возможность избежать летального исхода во многих тяжелых случаях хронической болезни почек, но после его проведения данная патология не исчезает и даже может проявиться ряд клинических нарушений (гиперкалиемия, задержка воды в организме, почечная остеодистрофия и рефракторная гипертензия), которые редко наблюдаются при лечении одними лишь медикаментозными средствами. Гемодиализ также часто применяют перед и после трансплантации почек.

Большее количество публикаций об использовании гемодиализа, как и других инструментальных методов, в лечении болезней домашних животных, по сравнению с сельскохозяйственными, видимо, связано с тем, что показания к лечению первых определяются, прежде всего, желанием и материальными возможностями хозяина, а строгие требования к сырью для мясомолочной промышленности как правило исключают возможность последующего использования вторых в качестве источника продуктов питания для человека и сужают целесообразность использования дорогостоящих технологий до группы животных, мясо и молоко не предназначено для употребления в пищу – лошадей, овец и др.

Альтернативой гемодиализу при ХПН и ОПН у человека животных является перитонеальный диализ. Данный метод, при условии своевременного начала использования (ХПН II – IIa) позволяет обеспечить адекватное качество жизни и существенно (на месяцы – годы) отсрочить время наступления показаний к началу диализной терапии [1, 2, 3]. Кроме того, из-за отсутствия необходимости в дорогостоящей аппаратуре и расходных материалах, перитонеальный диализ многократно дешевле гемодиализа, что обуславливает экономическую рентабельность его использования у человека и животных. Вопросы клинического использования перитонеального диализа у животных достаточно широко освещены в отечественной и зарубежной литературе [10, 11, 12, 13, 14, 15]. Отдельно рассматриваются вопросы профилактики и лечения осложнений перитонеального диализа у животных, прежде всего – перитонита, поскольку: 1) у животных намного сложнее поддерживать асептическое состояние перитонеального катетера и 2) требования мясомолочного производства исключают возможность использования животных, получающих антибиотикопрофилактику и антибиотикотерапию в целях получения пищи для людей [13].

Кроме гемо- и перитонеального диализа, мы встретили сообщение об использовании у животных такого современного, высокотехнологичного и весьма дорогостоящего метода, как гемофильтрация [14]. В отличие от гемо- и перитонеального диализа, гемофильтрация является наиболее радикальным средством лечения не только изолированной ОПН, но и ОПН как компонента полиорганной недостаточности (ПОН), поскольку ее эфферентные возможности распространяются на все вещества с молекулярным весом до 20 000 дальтон (у гемодиализа – только до 5 000 дальтон), что позволяет эффективно удалять из организма все эндо- и экзогенные токсины с соответствующей молекулярной массой, включая так называемые «молекулы средней массы», которые считают одним из основных патобиохимических веществ, ответственных за формирование ПОН.

Другой областью применения экстракорпоральных методов в ветеринарной и сельскохозяйственной практике являются инфекционные болезни. Одной из них является лептоспироз (вызывается бактерией рода *Leptospira*). Источником заболевания чаще всего являются мелкие грызуны (крысы, мыши, полевки), а болеют – как человек, так и практически все домашние и сельскохозяйственные животные. Заболевание может проявляться в желтушной, реже – легочной и церебральной формах и сопровождается крайне тяжелым течением и высокой (при печеночной недостаточности – более 50%) летальностью у человека, несмотря на все меры современной антибактериальной и интенсивной терапии. Поэтому все контактные и подозрительные на лептоспироз животные подлежат не менее чем 30-дневной карантинизации, а при возникновении клинических признаков – безусловному уничтожению (забою) с соблюдением целого ряда санитарно-эпидемиологических требований и предосторожностей [материалы с сайта http://revolution.allbest.ru/agriculture/00099403_0.html – Инструкция о мероприятиях по борьбе с лептоспирозом животных].

В комплексной терапии желтушной формы лептоспироза успешно используются плазмаферез, применяемый у человека многократно по технологии плазмафереза-плазмосорбции-плазмообмена сорбированной аутоплазмой [3, 16]. При остром и подостром течении лептоспироза применяют сыворотку поливалентную ги-

периммунную против лептоспироза животных, стрептомицин, канамицин, антибиотики тетрациклинового ряда. Для санации лептоспиросителей используют стрептомицин, а у свиней – дитетрациклин. При осложнениях после абортос лептоспирозной этиологии проводят симптоматическое лечение.

Патогенетическая терапия направлена на детоксикацию и лечение осложнений. У мелких домашних животных применяют плазмаферез, гемосорбцию, экстракорпоральный диализ [материалы с сайта <http://coolreferat.com/лептоспироз>].

Одним из наиболее опасных заболеваний животных семейства собачьих является пироплазмоз собак, или как его еще называют – бабезиоз. При острой стадии заболевания без правильного лечения гибель животных достигает 98%. Если учесть то обстоятельство, что при бабезиозе повреждаются все органы и системы организма и последствия этого заболевания у животного остаются на всю жизнь, становится понятным, что об этой болезни должны знать и помнить не только ветеринарные врачи, но и каждый владелец собаки. Возбудителем пироплазмоза являются простейшие организмы *Piroplasma canis*, или по международной классификации *Babesia canis*. Это типичные внутриклеточные паразиты, паразитирующие в клетках крови – эритроцитах. Соответственно, клиника болезни определяется ОПН и последующими органными и системными дисфункциями. Единственным препаратом, воздействующим на пироплазму, является диазидин и его формы (верибен, беренил, пиросан, имидакарб и др.). Применение любого из них в установленной производителем дозировке надежно убивает большую часть паразитов (при выздоровлении их некоторое количество сохраняется и наступает слабый нестерильный иммунитет). Развитие повреждений почек и других органов делает антибактериальную терапию недостаточной и требует применения методов почечно-заместительной терапии и других средств экстракорпоральной детоксикации и гемокоррекции. В начальных стадиях болезни эффективно использование плазмафереза и гемосорбция, иногда чередуют оба метода. У животных с развившейся почечной недостаточностью лечение осуществляют по схеме, подробно приведенной в статье «Тактика лечения ОПН и ХПН с применением плазмафереза и гемодиализа» (ВД, апрель 2009 г., стр. 9). [по материалам сайтов <http://www.vetclub.ru/content/view/333/71>, Новосельцев А.Ю. Тактика лечения у собак и кошек острой почечной недостаточности – ОПН и хронической почечной недостаточности – ХПН с применением плазмафереза и гемодиализа – <http://www.ladavet.dom123.ru/lada104.htm>].

Методы плазмафереза (удаления из организма жидкой части крови – ее плазмы – получают все большее распространение в медицинской и ветеринарной практике). Так, на сайте “Форум прекрасные кошки” приводится следующий перечень показаний для проведения плазмафереза и гемосорбции у кошек:

- Заболевания желудочно-кишечного тракта: язвенная болезнь, хронический гастрит, хронический панкреатит, хронический холецистит, неспецифический язвенный колит;

- Диффузные заболевания печени (превентивное назначение курсов плазмафереза и гемосорбции уже в самом раннем реабилитационном периоде после острого гепатита позволяет надеяться, что удастся избежать хронического процесса);

- Хронический гнойный отит;

– Поражения мочеполовой системы: аденома простаты, пиелонефрит, гломерулонефрит (если на начальном этапе формирования гломерулонефрита, одного из ярких примеров аутоиммунных болезней, удалить из организма аутоантитела, то можно предотвратить поражение базальной мембраны нефрона, или, по меньшей мере, уменьшить ее органические нарушения), острая почечная недостаточность, хроническая почечная недостаточность;

- Лекарственная и пищевая аллергия;
- Отравления различного генеза;
- Сахарный диабет, тиреотоксикоз;
- Ревматоидный артрит, полиартриты;
- Болезни кожи: дерматомиозит, фурункулез, атопический дерматит;
- Бактериальные и вирусные инфекции;
- Дисциркуляторная энцефалопатия, энцефалит, медленно текущие вирусные инфекции ЦНС (при этих заболеваниях отмечено накопление неидентифицируемых веществ аутоиммунной или аллергической природы, вызывающие разрушение миелина в белом веществе головного и спинного мозга, миелиновой оболочки нервных стволов). Плазмаферез, выводя из организма такие демиелинизирующие вещества, способствует, если не восстановлению разрушенного то, по крайней мере, замедлению прогрессирования этих заболеваний, стабилизации состояния;
- После травм, операций;
- Увеиты;
- Астма.

Авторы отмечают, что при аутоиммунных заболеваниях по-настоящему патогенетической может быть лишь эфферентная терапия, главным образом плазмаферез и гемосорбция, обеспечивающие удаление из организма аутоантител, иммунных комплексов и иных патологических метаболитов. К сожалению, авторы не приводят ни своих, ни литературных данных о сравнении эфферентных методов с фармакологическими иммуносупрессорами – гормонами и цитостатиками. Соответственно, как и при аутоиммунных заболеваниях человека в ветеринарии отсутствуют сообщения о приоритетах фармакотерапевтической и инструментальной иммуносупрессии, а также о клинических разработках по их совместному применению.

Противопоказаниями они считают только нарушения гемодинамики и терминальные состояния.

Среди возможных осложнений отмечают кровотечения, эмболию, и озноб. [По материалам сайта <http://www.catgallery.ru/forums/index.php?showtopic=11054>].

Возможно, такой подход несколько преувеличивает возможности экстракорпоральных технологий у животных и не всегда обоснованно расширяет показания к их применению. На наш взгляд, эти методы должны занять свое достойное место в ветеринарной практике, но при условии недостаточной эффективности традиционной фармакотерапии. Они не должны быть альтернативной традиционному лечению, а расширять его лечебные возможности с учетом взаимодействий (бессмысленно ввести антибиотик и тут же выполнить гемосорбцию), показаний и противопоказаний.

В последние годы и в медицине, и в ветеринарии имеется тенденция к сужению показаний к применению сорбционных технологий (за исключением токсич-

кологии) и смещению приоритетов в сторону более безопасных и эффективных методов плазмафереза и диализно-фильтрационных технологий. Наименее инвазивные и дешевые методы энтеросорбции имеют слабые детоксикационные возможности (по сравнению со способами физико-химического воздействия на жидкие среды организма – кровь, плазму и др.). Кроме того, эти, казалось бы, безобидные методики имеют серьезные побочные эффекты – в частности, нарушают всасывание многих витаминов, микроэлементов и других веществ, необходимых для нормального нутриционного статуса, а частицы минеральных и углеродминеральных сорбентов способны застревать между ворсинками тонкого кишечника и задерживаться там длительное время, что нарушает процессы пищеварения в целом. Тем не менее, “мягкие” сорбенты в виде паст и волокон таким действием практически не обладают, и поиски новых сорбентов для ветеринарии и животноводства продолжаются (например, [20]).

Так, к примеру, ЗАО «Марипродукт» организовало выпуск подобных сорбентов на основе кембрийских глин и ламинарии региона Белого моря.

Имеется сообщение об эндогенной интоксикации у телят, больных бронхопневмонией [17]. Наличие эндогенной интоксикации автоматически подразумевает использование дезинтоксикации у таких животных, при недостаточной эффективности традиционной фармакотерапии – в т. ч. с применением экстракорпоральных технологий.

Сообщалось об использовании не прямой электрохимической детоксикации гипохлоритом натрия при сальмонеллезе овец [18] и других животных [19].

В принципе, области применения экстракорпоральных технологий в ветеринарии существенно шире, чем при нескольких заболеваниях, представленных в работе в качестве примеров. Факторами, сдерживающими их более широкое распространение являются: 1) Высокая себестоимость методов и расходных материалов и 2) Недопустимость использования сельскохозяйственных животных с воспалительными, гнойно-сетическими и многими инфекционными заболеваниями в пищевой промышленности, даже после полного клинического излечения.

В заключение необходимо отметить, что все методы экстракорпоральной гемокоррекции, детоксикации, почечнозаместительной терапии и т. д. у животных, как и у человека, существенно расширяют возможности традиционной медицины, а при их совместном рациональном комплексном использовании позволяют существенно улучшить результаты лечения – уменьшить смертность, количество осложнений, продлить жизнь животных с неизлечимыми хроническими заболеваниями и нередко снизить затраты на лечение. Тем не менее, при необратимых изменениях в различных органах и системах эти методы не позволяют добиться полного излечения животного. В этих ситуациях полное выздоровление возможно только путем пересадки (трансплантации) необратимо поврежденного структурного элемента организма. Трансплантология – одна из самых дорогих медицинских технологий, тем не менее, появляются сообщения о возможностях успешной трансплантации донорских органов у животных (например, Мордас Е.М. Ортоотопическая трансплантация донорской печени у кошек и собак в терминальной стадии заболевания – Источник - <http://www.vetchirurg.ru/st8.html?id=38>).

Таким образом, методы экстракорпоральной гемокоррекции и детоксикации в ветеринарной и сельскохозяйственной практике в настоящее время получают все

более широкое распространение и освещение в отечественной и зарубежной литературе. Тем не менее, вопросы показаний и противопоказаний к их использованию, тактические, технические и клинические аспекты их использования у домашних и сельскохозяйственных животных в доступной литературе и интернет-источниках освещены явно недостаточно. Имеются единичные сообщения об использовании в ветеринарии такого мощного метода как гемофильтрация, а сообщений об использовании технологии плазмафереза-плазмосорбции-плазмообмена сорбированной аутоплазмой в доступной литературе и интернет-источниках мы не встретили вообще. В последние годы значительно уменьшилось число сообщений об использовании квантовой гемотерапии – ультрафиолетового и лазерного (в т. ч. неинвазивного чрезкожного) облучения крови, хотя они существенно повышают эффективность многих фармпрепаратов, а иногда могут быть более дешевой альтернативой последних, например, в плане антибиотикопрофилактики. Не разработаны юридические и экономические аспекты их применения в сельскохозяйственном производстве, соответственно, не определены соответствующие источники финансирования, хотя проблема имеет очевидное значение в обеспечении человека продуктами животноводства. Все это делает проблему актуальной и достойной дальнейших исследований.

Литература

1. Эфферентная терапия / под ред. А.Л.Костюченко. СПб: ИКФ «Фолиант». 2000. 432 с.
2. Энтеросорбция / под ред. Н.А.Белякова. Л.: Цетр сорбционных технологий. 1991. 329 с.
3. Чаленко В.В., Редько А.А., Андожская И.В., Пастухова Н.К. Флуоокоррекция. СПб.: Агентство “РДК-принт”. 2002. 586 с.
4. Чаленко В.В., Кутушев Ф.Х. Эндогенная интоксикация в хирургии // Вестник хирургии. 1990, № 4. С. 3–8.
5. Вингфильд В.Е. Секреты неотложной ветеринарной помощи кошки и собаки: Пер. с англ. СПб.; Невский диалект. 2000. 606 с.
6. Домашний доктор для кошек и собак. Советы американских ветеринаров. Пер. с англ.-PWP (Германия). 2003. 324 с.
7. Cowgil L.D. Application of peritoneal dialysis and hemodialysis in the management of renal failure. / In: Osborne C.E., Finco D.R. (eds). Canine and Feline Nephrology and Urology.- Baltimore; Williams & Wilkins. 1995. P. 573–596.
8. Cowgill L.D., Maretzki C.H. Veterinary applications of hemodialysis: An update / In: Bonagura J.D. (ed.) Kirk's Current Veterinary Therapy XII.- Philadelphia; W.B. Saunders. 1995. P. 975–977.
9. Cowgill LD, Langston CE. Role of hemodialysis in management of dogs and cats with renal failure / Vet Clin North Am: Small Anim Pract. 1996, № 26. P. 1347–1378.
10. Cartner L.J., Wingfield W.E., Allen T.A. Clinical experience with peritoneal dialysis an small animal. Comp. Cont. Educ. Pract. Vet. 1989. № 11. P.1335–1343.
11. Chew D.J., Dibartola S.P., Crisp M.S. Peritoneal dialysis. / In: Dibartola S.P. (Ed.) Fluids Therapy in Small Animal Practice/- Philadelphia; W.B. Saunders. 1992. P. 573–597.
12. Lane I.F., Carter L.J., Lappin M.R. Peritoneal dialysis. An update on methods and usefulness. / In: Kirk R.W., Bonagura J.T. (eds). Current Veterinary Therapy XI.- Philadelphia; W.B.Saunders. 1992. P. 865–870.
13. Thornhill J.A. Peritonitis associated with peritoneal dialysis: Diagnosis and treatment. // J. Am. Vet. Med. Assoc. 1983, № 182. P. 721–724.

14. Parker H.R. Peritoneal dialysis and hemofiltration. / In: Bovee K.C. (ed.). Canine Nephrology. Media.- PA, Harwal Publishing. 1984. P. 723–753.

15. Crisp M.S., Chew D.J., Dibartola S.P., Bichard S.J. Peritoneal dialysis in dogs and cats: 27 cases (1976-1987) // J. Am. Vet. Med. Assoc. 1989. № 195. P. 1262–1266.

16. Чаленко В.В., Андожская И.В., Пастухова Н.К. и др. Применение экстракорпоральной гемокоррекции в интенсивной терапии критических состояний при некоторых инфекционных заболеваниях // Инфектология: достижения и перспективы. Юбил. научно-практ. конф., посв. 100-летию первой в России кафедры инфекционных болезней.- СПб.- 1996.- С. 217–218.

17. Гурова С.В., Аксенова В.М. Оценка эндогенной интоксикации у телят, больных бронхопневмонией – Ветеринария. 2008. Т. VIII. С. 41.

18. Алескеров З.А. Гипохлорит натрия для дезинфекции при сальмонеллезе овец. // Ветеринария.- 2009. Т. V. С. 14.

19. Руденок В.А., Марасинская Е.И., Закомырдин А.А. Детоксикация организма прямым электрохимическим окислением в токе крови // Ветеринария. 2008. Т. IV. С. 41.

20. И.Н. Медведев, С.Ю. Завалишина. Влияние адсорбента ЗОО-Верад на физиологическое состояние, рост и развитие свиней разных генотипов в раннем постнатальном онтогенезе на откорме // Ветеринарная медицина. 2007. № 3-3.

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БЕЛОГО МОРЯ В 2001-2010 ГГ.

В.А. Чугайнова

Северный филиал Федерального государственного унитарного предприятия «Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича», Архангельск, Россия, e-mail: val@pinro.ru

Одной из важнейших задач современных исследований Белого моря является комплексное изучение морских экосистем, функционирование которых определяется совокупностью взаимосвязанных и взаимообусловленных физических, химических и биологических процессов. Одну из актуальных задач изучения закономерностей формирования биологической продуктивности представляет исследование гидрохимического режима Белого моря как биохимической основы продуктивности, влияющей как на формирование запасов промысловых объектов, так и на их качество.

Работа выполнена на основе комплексных экспедиций 2001–2010 гг. в Белом море на стандартной сетке станций, которые располагались равномерно по всей акватории (по 6 станций в каждом крупном районе). Гидрохимические исследования включали определение кислородосодержания, БПК₅, биогенных веществ (солей азота и фосфора, силикатов). Химические анализы были выполнены общепринятыми в гидрохимической практике методами.

Кислородосодержание наряду с водообменом является одним из важных факторов, лимитирующих продуктивность экосистем, так как изменения в балансе органического вещества могут привести к изменению кислородного режима экосистемы и, возможно, к возникновению зон острого дефицита кислорода, что неблагоприятно влияет на рост и развитие гидробионтов и на всю экосистему в целом.

Максимум растворенного кислорода в Белом море наблюдался в весенний период, что связано с весенним цветением фитопланктона. Так, например, во всех районах насыщенность вод кислородом в мае в среднем составляла 110%, за исключением придонных вод глубоководных районов Канда拉克шского залива, Бассейна. Весной в районе Соловецких островов она достигала 140–200% насыщенности, в пр. Печаконская Салма в мае-июне в разные годы насыщенность вод кислородом составляла 130–150%.

Летние месяцы – июль–август – характеризовались несколько пониженным содержанием кислорода, так как наблюдалась резкая вертикальная стратификация вод по температуре, истощение питательных солей, ограничивающих развитие фитопланктона и выедание его развивающимися зоопланктонными организмами, являющимися в то же время и потребителями кислорода. Летние концентрации кислорода были различны для отдельных районов моря: так в хорошо перемешиваемых водах сравнительно мелководных районов Онежского и Мезенского заливов, Горла, а также в Воронке и в поверхностных водах Канда拉克шского залива, Бассейна кислородосодержание составляло в среднем около 100% и более, в придонном горизонте Канда拉克шского залива и Бассейна около 90%.

Осенью, в октябре–ноябре, в исследованных районах содержание кислорода еще немного понижалось. Хотя в последние годы в отдельных районах осенью наблюдались концентрации кислорода выше летних, что, очевидно, связано с потеп-

лением морских вод в осенний период и, как следствие, продолжающимися процессами фотосинтеза морских водорослей. Но в целом в исследованных районах осенью наблюдалась насыщенность вод кислородом немногим менее 100%.

Сильное охлаждение поверхностного слоя зимой влечет за собой возникновение конвекционных токов и к марту вся толща воды оказывается равномерно охлажденной. Это время является периодом наибольшего единообразия всех гидрохимических факторов от поверхности до дна, что в полной мере относится и к кислороду.

Особенно резки сезонные и суточные колебания количества растворенного в воде кислорода в прибрежной зоне Белого моря, богатой зарослями макрофитов и отложениями органических остатков в грунтах. Эти колебания обусловлены главным образом наличием большого количества растворенного в воде органического вещества и интенсивно идущим процессом фотосинтеза.

Параметр БПК₅ является индикатором наличия в воде легкоокисляемой органики. Его значения, с одной стороны, служат показателем интенсивности биохимических и гидробиологических процессов в Белом море, с другой – могут указывать на наличие антропогенного воздействия.

Диапазон изменчивости БПК₅ в Белом море по данным исследований составил в весенний период в поверхностных водах во всех заливах и в Горле в среднем от 2,61–2,96 мг О₂/дм³, в открытой части моря и в Мезенском заливе 3,04–3,07 мг О₂/дм³. В придонных горизонтах БПК₅ уменьшалось до 2,16–2,94 мг О₂/дм³ во всем море.

В летний период этот показатель составлял 2–3 мг О₂/дм³ по всей акватории моря. В целом по морю наиболее высокое содержание легкоокисляемой органики отмечалось в поверхностных слоях моря весной в Бассейне, Мезенском заливе и Воронке. Абсолютные же максимумы БПК были зафиксированы в Двинском и Мезенском заливах.

Осенью БПК₅ ещё понижалось и в среднем не превышало 2 мг О₂/дм³, с максимумом в Двинском, Онежском заливах (до 4 мг О₂/дм³), в Бассейне и Воронке (более 3 мг О₂/дм³).

Пространственное распределение биогенных элементов (БЭ) в Белом море зависит, главным образом, от динамики вод. Горизонтальная циркуляция является основным механизмом их перераспределения по акватории. Воды речного стока богаче поверхностных морских вод биогенными элементами (особенно кремнием и азотом), соответственно и зоны, подверженные их воздействию, характеризуются полями повышенных концентраций этих элементов.

Доминантная закономерность в распределении неорганических форм БЭ по вертикали – возрастание их концентраций с глубиной, с максимумом в глубинных водах.

Азот относится к исключительно важным биогенным веществам, поскольку входит в состав белков и аминокислот, нуклеиновых кислот и многих других органических соединений, без которых невозможно существование живых клеток. Из соединений азота водорослями используются нитраты, нитриты и аммонийный азот.

По полученным данным максимальные концентрации аммонийного азота были зафиксированы в «собственно» Белом море – в Онежском, Двинском заливах, Бассейне в весенний период. Количество аммонийного азота практически во всех районах уменьшалось к осени.

Содержание нитритного азота, как и аммонийного, невелико. Максимальные концентрации их были обнаружены в летний период, что связано с процессами окисления органического вещества в море.

Сезонные изменения в содержании нитратов практически одинаковы для всех районов моря. В фотической зоне в весенний период они составляли 0,02–0,04 мг/дм³ с максимумом в опресняемых заливах. В летний период содержание их уменьшалось, в Бассейне нередко до 0. Затем начиналось накопление нитратов и в октябре–ноябре содержание их достигало 0,04–0,07 мг/дм³ по всей акватории моря. Это объясняется активным потреблением нитратов фитопланктоном в вегетационный период. Осенью содержание их возрастает за счет уменьшения фотосинтетической деятельности, а также и вследствие процессов регенерации азота, продолжительность которой близка к трем месяцам.

В глубинных слоях моря – в Бассейне, Кандалакшском заливе – концентрации нитратов практически круглый год составляли 0,06–0,09 мг/дм³, с небольшой вариабельностью. Если в весенний период наблюдалась стратификация в распределении нитратов по глубине, то летом в хорошо перемешиваемых мелководных прибрежных районах концентрации питательных солей практически одинаковы от поверхности до дна, с небольшим приращением по глубине.

Фосфор необходим живым организмам для передачи энергии внутри клетки, некоторым ферментным системам, а также для осуществления других внутриклеточных функций. В водных системах фосфор встречается в нескольких формах. Наиболее важными формами фосфора являются растворимый неорганический фосфор, растворимый органический фосфор и взвешенный органический фосфор. Содержание фосфора, как и азота, также является одним из химических факторов, лимитирующих продуктивность водоемов.

Режим фосфатного фосфора в Белом море в общих чертах сходен с нитратным азотом: концентрация фосфатов в фотическом слое понижалась от начала вегетационного периода (от 0,02 в центральной части моря до 0,05 мг/дм³ в кутовых районах) к лету (от следовых концентраций в Бассейне до 0,04 мг/дм³ в кутовых частях Двинского и Мезенского заливов). И вновь увеличивалась с затуханием жизнедеятельности фитопланктона в осенний период (до 0,04 мг/дм³).

В придонном горизонте Бассейна и Кандалакшского залива в течение весны – лета фосфаты также показывали стабильно высокие концентрации (0,05–0,09 мг/дм³). В водах заливов содержание фосфатов напрямую зависит от речного стока и часто их содержание в поверхностных водах превышает таковое в придонных.

Особенностью гидрохимии вод Белого моря является исключительное богатство их силикатами, что связано с обильным речным стоком, с которым в море попадает много кремния. В отличие от солей азота, силикаты на протяжении всего года не лимитируют продуктивность вод Белого моря.

В целом для режима биогенных веществ характерно сохранение стратификации круглый год. Весной и летом наблюдается обычно истощение биогенных солей в зоне фотосинтеза. Зимой, напротив, они достигают своих максимальных величин.

Значительная часть биогенных элементов в водах Белого моря входит в состав органических соединений, что обусловлено слабой минерализацией вследствие

низких температур, а также поступлением питательных солей как с сильно гуминифицированными речными водами, так и с компенсационным течением из Баренцева моря. По литературным и нашим данным около 90% азота в Белом море представлено органическими соединениями и только 10% – минеральными, а более легко минерализующегося фосфора 40% – органическими и 60% – минеральными.

В результате комплексных океанологических съемок Белого моря с 2001 по 2010 гг. по гидрохимическим показателям можно сделать следующие выводы:

- в водах Белого моря максимум растворенного кислорода наблюдался в весенний период. Насыщенность поверхностного слоя кислородом и его абсолютное количество снижалось от весны к лету и далее к осени.

- Для Белого моря пространственное распределение биогенных элементов (БЭ) зависит, главным образом, от динамики вод. Горизонтальная циркуляция является основным механизмом их перераспределения по акватории. Воды речного стока богаче поверхностных морских вод биогенными элементами (особенно кремнием и азотом), соответственно и зоны, подверженные их воздействию, характеризуются повышенными концентрациями этих элементов.

- Сезонная динамика питательных веществ сводится к формированию максимума в конце зимы, минимума – в середине лета.

- Доминантная закономерность в распределении неорганических форм биогенных элементов по вертикали в глубоководных районах – возрастание их концентраций с глубиной с максимумом в придонных водах.

- Значительная часть биогенных элементов в водах Белого моря входит в состав органических соединений, что обусловлено слабой минерализацией органического вещества вследствие низких температур.

ФАУНА ГУБОК (КЛАСС DEMOSPONGIA) КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

Н.В. Шакурова, А.В. Ананьева

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
профессионального образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,
Казань, Россия, e-mail: ntlshakurova@gmail.com

Для рационального использования биоресурсов и охраны природы важны всесторонние исследования не только промысловых объектов, но и массовых видов. Одной из наиболее распространенных и богатых по количеству видов и биомассе групп морских животных являются губки. Эти биофильтраторы, являясь обязательным компонентом донных сообществ, составляют важное звено в экосистеме Белого моря и играют существенную роль в поддержании гидробиологического баланса. Анализ литературных данных показывает, что современный уровень знаний по этой интересной и важной группе не соответствует ее значению. Фауна губок северного полушария изучена весьма неравномерно.

Согласно нашим исследованиям в Кандалакшском заливе (губа Чупа) Белого моря среди губок преобладают представители класса Demospongia, принадлежащие к двум отрядам Tetraxonida и Cornacuspongida. Наибольшее видовое разнообразие отмечено для отряда Cornacuspongida: выявлено три вида – *Haliclona aquaeductus*, *Lissodendoryx indistincta*, *Halichondria panacea*. Два вида рода *Polymastia* (*P. mammillaris* и *P. robusta*) – из отряда Tetraxonida. Широко распространенными в пределах исследованной акватории являются виды: *Polymastia mammillaris* (Tetraxonida) и *Haliclona aquaeductus* (Cornacuspongida) (встречены в трех из семи точках сбора). Наиболее многочисленным в сборах оказались губки вида *Polymastia mammillaris*.

Для составления детального описания выявленных видов использовались методы как световой, так и растровой электронной микроскопии. Изучение деталей тонкого строения губок позволило внести ряд дополнений в диагноз вида *Polymastia mammillaris*. До сих пор для *P. mammillaris* в литературе описывались только иглы тилостилического, субтилостилического или стилического типа. Однако изучение ультраструктуры скелетных образований с помощью РЭМ позволило констатировать присутствие неизвестных ранее для данного вида макросклер сферостилического типа (рис. 1). Для второго вида того же рода (*P. robusta*) сферостили не обнаружены. Гистологическое исследование папилл полимастий – своеобразных структур, выделяющих этот род среди прочих губок, – показало точное соответствие их морфологии выполняемой функции (почкование): на срезах хорошо выражена центральная полость, окруженная коллагеновым слоем, нанизанным на продольно-ориентированные длинные оксы. Внешняя сторона папилл имеет скелет из более мелких игл, регулярно уложенных, образующих «палисадниковую» структуру. Оси этих внешних игл ориентированы перпендикулярно продольным срежневым оксам.

У большинства обнаруженных видов губок отсутствуют микросклеры, исключение составляет вид *Lissodendoryx indistincta* (отр. Cornacuspongida). Для этого вида известны два основных типа микросклер: хелы и сигмы. Особенностью данного вида является наличие малых равноконечных якорьковых хел (рис. 2). Однако на световом уровне малые хелы зачастую выглядят как сигмы. Использование метода сканирующей электронной микроскопии позволяет провести точную диагностику склеритов (в частности, микросклер), избавляя от ошибок при описании скелетных элементов губок.

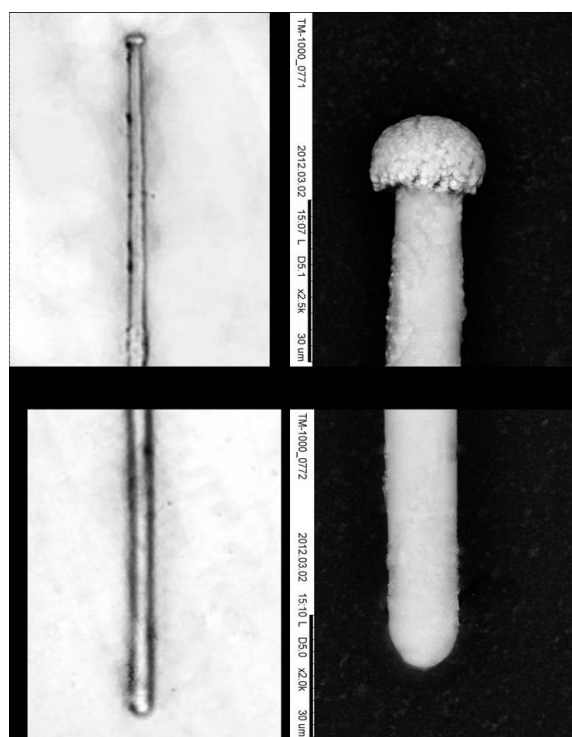


Рис. 1. *Polymastia mammillaris*. Сферостили

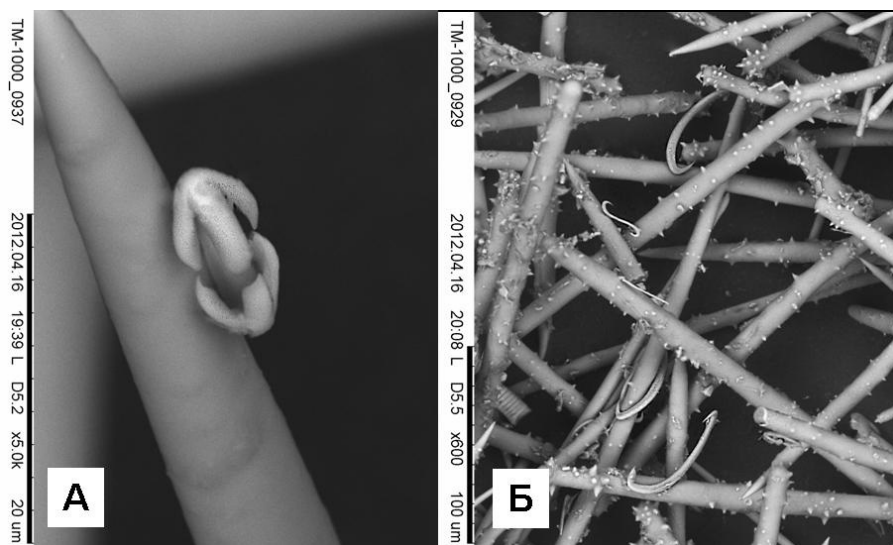


Рис. 2. *Lissodendoryx indistincta*. Микросклеры: малая якорьковая хела (А), хелы дуговидные и сигмы (Б)

ОЦЕНКА АДАПТИВНОЙ СПОСОБНОСТИ МИДИЙ *MYTILUS EDULIS* L. БЕЛОГО МОРЯ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ СЕРДЕЧНОГО РИТМА

А.Н. Шаров, С.В. Холодкевич

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургский
научно-исследовательский центр экологической безопасности Российской академии наук,
Санкт-Петербург, Россия, e-mail: sharov_an@mail.ru*

Для характеристики состояния отдельных организмов наиболее доступным способом индикации является оценка изменений физиологического состояния (здоровья) под воздействием факторов окружающей среды. Животные, длительное время находившиеся в благоприятных в экологическом отношении условиях, имеют лучшее физиологическое состояние по сравнению с аналогичными организмами, обитающими в неблагоприятных для данного вида или загрязненных условиях. Таким образом, интегральное загрязнение среды обитания отражается на уровне адаптивных возможностей гидробионтов. Приспособление организма к изменившимся условиям среды обитания требует включения адаптационных механизмов и требует от организма дополнительных энергетических затрат на их осуществление, в ряде случаев при длительном воздействии к гиперкомпенсации этих затрат и к сопровождающим их функциональным сдвигам – увеличению размеров сердца, печени, повышению концентрации гемоглобина в крови и т. д.

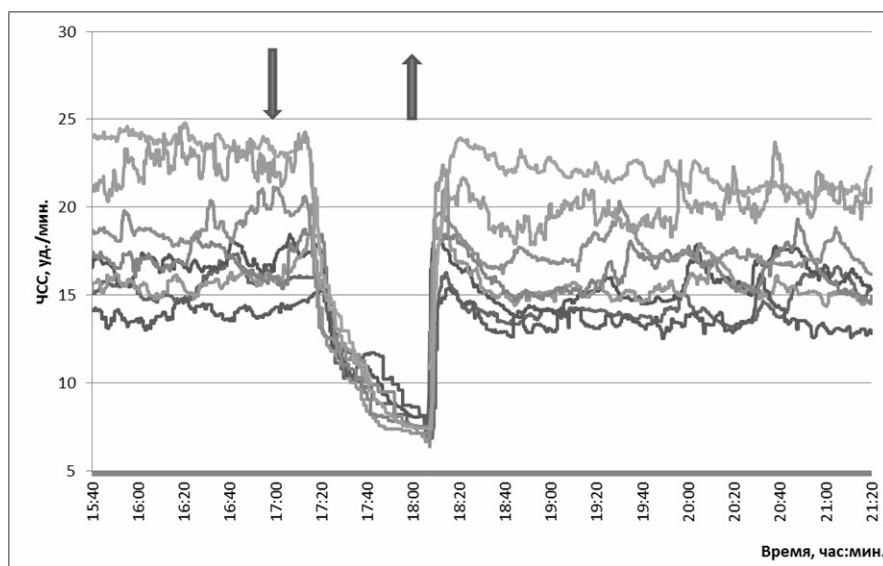
Методологической основой данных исследований является оценка компенсаторных реакций тест-организмов при различных функциональных нагрузках (например, быстрое изменение солености воды в пределах толерантности вида). Диагностика функционального состояния моллюсков проводилась путем анализа характеристик кардиоактивности, измеряемых неинвазивно оригинальным волоконно-оптическим методом (Холодкевич и др., 2011), обеспечивающим непрерывную одновременную регистрацию частоты сердечных сокращений (ЧСС) восьми мидий (рассчитываются средние значения по 50 интервалам сердечного ритма с шагом 10 секунд). В качестве биомаркеров использовались время адаптивного восстановления ЧСС до фонового уровня (после возвращения моллюсков в исходные условия солености среды) и коэффициент вариации частоты индивидуальных сердечных сокращений для группы тестовых моллюсков.

Объектом исследования были мидии *Mytilus edulis* (L.), собранные в районе Беломорской биологической станции «Картеш» (ББС) – морской стационар Зоологического Института РАН, расположенный в губе Чупа Кандалакшского залива Белого моря (66°20.230'N; 33°38.972'E). Сублиторальные мидии были собраны с установок для культивирования мидий (глубина 2 м), литоральные – с камней в среднем горизонте приливо-отливной зоны. Соленость воды в период (22–23 сентября 2012 г.) сбора моллюсков составляла 25‰, температура воды 10 °С. Соленость в ходе эксперимента измерялась с помощью рефрактометра с температурной поправкой. Аквариумы с системой аэрации находились в изотермической камере при температуре 10 °С и искусственном освещении в период с 8:00 до 20:00. Первая часть работы была проведена в лабораторных помещениях ББС, вторая в НИЦЭБ РАН. Мидий предварительно адаптировались к условиям лабораторного содержания. В экспериментах на ББС использовалась природная морская вода

(25‰, 10 °C), дополнительное кормление не проводилось, ежедневно меняли 80% воды. В лаборатории НИЦЭБ РАН мидии содержались в аквариумах с искусственной морской водой (25‰, 10 °C), приготовленной на основе морской соли Tropic Marin BIO-ACTIF, с системой биологической фильтрации Eheim и контролем основных физико-химических показателей воды. Кормление проводилось 3 раза в неделю сбалансированным препаратом TROPIC MARIN Pro-Coral Phyton.

Непосредственно после сбора на створки моллюсков в область сердца были наклеены датчики. Мидии показали устойчивый сердечный ритм уже через 2–3 часа после помещения в аквариум. Через двое суток было исследовано время восстановления ЧСС мидий из литоральной и сублиторальной зоны после функциональной нагрузки (кратковременное, на 1 час, снижение солёности воды на 50%). Далее моллюски были доставлены в лабораторию НИЦЭБ РАН и проведены повторные исследования (через 1, 2 и 5 месяцев после сбора) функционального состояния для оценки адаптивной способности мидий к лабораторным условиям и возможности проведения долговременных экспериментов на искусственной морской воде и дополнительным кормлением.

На кратковременное (1 час) 50% уменьшение солёности все мидии реагировали снижением ЧСС (рис.). Это типичная реакция протестированных нами ранее морских двустворчатых моллюсков на подобное воздействие.



Индивидуальные показатели ЧСС сублиторальных мидий *Mytilus edulis* при снижении до 12 ‰ солёности воды на 1 час и последующее восстановление до 25 ‰ после смены воды. Стрелками обозначено изменение солёности воды, 25.09.13, $T_{\text{воды}}$ 10 °C

Средние фоновые значения ЧСС беломорских мидий в ходе экспериментов снижались с увеличением времени пребывания моллюсков в лабораторных условиях. Что может быть связано с нехваткой пищи или других факторов, которые невозможно создать в лабораторных условиях. ЧСС литоральных мидий снижа-

лось с 13 ± 1 уд./мин в начале эксперимента до 9 ± 2 уд./мин через 2 месяца, а сублиторальных мидий – с 18 ± 3 уд./мин до 8 ± 2 уд./мин по прошествии 5 месяцев. Отличия в средних значениях ЧСС у исследуемых субпопуляциях мидий может быть связаны с разным возрастом моллюсков. Литоральные мидии растут медленнее по сравнению с сублиторальными, т.е. при одинаковых размерах створок их возраст может значительно отличаться. Объясняется это более благоприятными условиями среды обитания для мидий в сублиторальной зоне. Известно, что сердцебиение и обменные процессы с возрастом замедляются.

Мидии, собранные в литоральной зоне оказались менее чувствительными к тест воздействию (изменение температуры, солености воды, световых условий) по сравнению с сублиторальными моллюсками, обитающими вне зона влияния прилива и приливов-отливов. Литоральные мидии, во время экспериментов на ББС «Картеш» характеризовались небольшими (7–10%) значениями коэффициента вариации ЧСС для группы тестируемых моллюсков и временем восстановления ЧСС менее 60 мин. После их транспортировки в лабораторию НИЦЭБ и адаптации к лабораторным условиям в течение 2 недель коэффициент вариации вырос почти в 1,5 раза, а время восстановления ЧСС составляло уже 2 часа. Через два месяца содержания в аквариуме этот разброс еще увеличился и, кроме того, при кратковременном (на 1 час) 50% снижением солености воды ЧСС мидии уже не имели достоверных отличий в ходе эксперимента.

Сублиторальные мидии в экспериментах на ББС имели большее расхождение в индивидуальных уровнях ЧСС по сравнению с литоральными моллюсками и характеризовались хотя и высоким коэффициентом вариации ЧСС, но, тем не менее, быстрым (30–40 минут) временем восстановления после кратковременного изменения солености воды (рис.). Повторные эксперименты в лаборатории НИЦЭБ РАН после адаптации мидий к лабораторным условиям показали, что время восстановления ЧСС после функциональной нагрузки заметно возросло до 6 часов, а коэффициент вариации для исследуемой группы увеличился до 30% через 5 месяцев содержания в лабораторных условиях. Время восстановления ЧСС после 1 и 2 месяцев содержания в аквариуме составляло 2 и 4 часа соответственно. Это говорит об ухудшении их физиологического состояния после продолжительного содержания в лабораторных условиях.

Как известно, большинству природных популяций свойственен стандартный уровень коэффициента вариации по любому признаку, в том числе связанному со сроками протекания процессов, в пределах 4–7% (Черепанов, 1986). Однако экстремальные факторы и изменение состояния окружающей среды могут приводить к повышению изменчивости организмов внутри популяции, которые в количественном отношении можно оценить с помощью коэффициента вариации. Согласно Лакину Г.Ф. (1990), при величине коэффициента вариации до 10% изменчивость оценивается как слабая, при 11–25% – как средняя, при достижении значения более 25% трактуется как сильная. В частности, экспериментально показано (Viarengo et al., 1995; Kholodkevich et al., 2011), что для различных видов бентосных животных из условно чистых мест обитания коэффициент вариации различных биомаркеров находится в пределах 5–10%, а из загрязненных районов – 30–40%.

Таким образом, функциональное состояние мидий из условно фонового района значительно ухудшилось после длительного (5 месяцев) содержания

в лабораторных условиях с использованием искусственной морской воды и пищевых добавок. Причем сублиторальные мидии оказались более выносливыми по сравнению с литоральными, что объясняется благоприятными условиями среды обитания и соответственно их лучшим физиологическим состоянием. В экотоксикологических экспериментах важно учитывать характеристики среды обитания, из которой они взяты, т.к. они определяют особенности роста, развития и состояние «здоровья» тестируемых животных. Длительное пребывание мидий в лабораторных условиях негативно сказывается на их адаптационных способностях к изменению факторов среды, которые могут быть оценены по показателям сердечной активности. Использование искусственной морской воды, в случаях когда невозможно использовать природную воду, требует дополнительного кормления моллюсков и контроля за постоянством физико-химических параметров в аквариуме. Все это вместе со стрессом во время длительной транспортировки от места сбора до лаборатории накладывает дополнительную нагрузку на животных, которая должна учитываться при анализе полученных результатов в ходе экотоксикологических экспериментов. Наиболее приближенные к естественным условиям при проведении экспериментов с мидиями можно обеспечить в проточных аквариумах с использованием природной воды из района сбора моллюсков.

Контроль и анализ сердечного ритма (коэффициент вариации и время восстановления ЧСС) с помощью неинвазивного метода является эффективным инструментом для оценки физиологического состояния мидий в различных условиях и может использоваться в экотоксикологических исследованиях для изучения влияния различных веществ на «здоровье» отдельных организмов и субпопуляций.

ЖИЗНЕННЫЕ ЦИКЛЫ МАКРОВОДОРОСЛЕЙ В ЭКОСИСТЕМАХ АРКТИКИ

Е.В. Шошина

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет», Мурманск, Россия, e-mail: shoshinaev@mstu.edu.ru

В суровых климатических условиях северных морей России эндогенная программа ростовых и репродукционных процессов макроводорослей, как неподвижных фототрофных морских организмов, четко согласована с сезонным ходом факторов среды. Ведущим экзогенным фактором сезонной динамики природы является сезонный ход солнечной радиации. Существенное влияние на сезонную динамику жизнедеятельности морских растений оказывает и термический режим, динамика биогенов и интенсивности движения воды.

Материалом явились собственные сборы и наблюдения за макроводорослями, выполненные в разные годы в Баренцевом и Белом морях (Шошина, 2001; Кузнецов, Шошина, 2003).

Продолжительность жизненных циклов. В сообществах на побережье Белого и Баренцева моря водоросли-макрофиты показывают широкий спектр по длительности жизни – от нескольких месяцев до 20 лет. По количеству видов преобладают однолетние водоросли, которые составляют 75% от общего списка видов. В образовании биомассы в подавляющем большинстве ассоциаций основную роль играют многолетние водоросли, на долю которых приходится более 95% от общей массы водорослей. Многолетние бурые водоросли (фукусовые и ламинариевые) являются доминирующими в наиболее широко распространенных ассоциациях макрофитов, занимающих большие пространства. Преобладание по биомассе многолетников, а по числу видов – однолетников характерно в целом для высокобореальной подзоны.

Среди многолетних водорослей выделяется две группы видов. Первую группу образуют долгоживущие виды (более 10 лет). К ним относятся бурые водоросли – фукоиды (*Ascophyllum nodosum*, *Fucus vesiculosus*, *F. serratus*) и ламинариевые (*Laminaria digitata*, *L. hyperborea*). К долгоживущим видам относится и промысловая красная водоросль *Ahnfeltia plicata*. Слоевище долгоживущих многолетников представлено двумя основными типами. Первый – это фукоиды и анфельция, для них характерен апикальный рост и формирование слоевища на протяжении всей жизни. Второй – ламинариевые с интеркалярным ростом, у которых многолетней частью является стволик, а пластина сменяется ежегодно. Наиболее длительным жизненным циклом среди водорослей Белого и Баренцева моря имеют фукусовые, обитающие на литорали в наиболее жестких и постоянно меняющихся условиях, со значительными суточными и сезонными изменениями среды.

Вторую образуют многолетние виды с непродолжительным жизненным циклом (обычно 2–3 года, единичные растения могут иметь возраст до 5 лет), для которых характерна ярко выраженная сезонная динамика массы слоевища. Эта группа многочисленна и разнообразна. К ней относятся из бурых – *Laminaria saccharina*; из красных водорослей – *Callophyllis cristata*, *Delesseria sanguinea*,

Devaleraea ramentacea, *Palmaria palmata*, *Phycodrys rubens*, *Rhodomela lycopodioides* и другие. Кроме того, имеются виды, занимающие промежуточное положение между двумя этими группами, с продолжительностью жизни 5–10 лет. Одни из них тяготеют к группе долгоживущих (*Fucus distichus*, *Phyllophora brodiaei*), другие (*Alaria esculenta*, *Odonthalia dentata*) – к группе видов с непродолжительным жизненным циклом.

Продолжительность жизни водорослей в условиях Белого и Баренцева морей находится в пределах, известных для видов из более южных районов. Для ряда ламинариевых отмечено увеличение длительности жизни и более позднее вступление в фазу размножения в арктических районах Баренцева моря.

Особенности жизненного цикла. Среди макроводорослей большинство имеет гетероморфный жизненный цикл (55% видов); изоморфный жизненный цикл имеют 45% видов. Гетероморфный жизненный цикл связывают с сезонным характером среды обитания. В условиях Мурманского побережья для видов с изоморфным жизненным циклом характерно одновременное образование органов бесполого и полового размножения и одновременный массовый выход репродуктивных клеток. У видов с гетероморфным жизненным циклом наблюдаются, как правило, разные сроки бесполого и полового размножения. Макроскопическая форма в жизненном цикле является длиннодневной и приурочена к весне – началу лета. Микроскопическая форма является короткодневной стадией. Корковые и микроскопические стадии развития в жизненном цикле водорослей служат для переживания суровых зимних условий. Большинство изученных видов красных водорослей с изоморфным жизненным циклом характеризуются равным соотношением бесполой и половой форм развития, как в условиях Мурмана, так и в других районах распространения. У большинства видов спорофиты и гаметофиты представлены равным количеством растений, между ними не наблюдается различий в длительности жизни, в размерах и массе слоевища. Увеличение роли бесполого размножения в условиях Мурмана отмечается у некоторых бореально-арктических видов (*Palmaria palmata*, *Phycodrys rubens*, *Polysiphonia urceolata*) по сравнению с более южными районами обитания.

Сезонная динамика ростовых процессов. Характеризуя сезонную динамику роста слоевища водорослей в высокобореальных условиях в целом, можно выделить период быстрого роста, когда ростовые процессы являются доминирующими (весна–лето) и период замедленного роста, когда скорость и интенсивность роста снижаются до нулевых значений, и процессы деструкции преобладают над процессами роста (осень – зима). Период быстрого роста можно подразделить на две фазы. Первая фаза – это фаза интенсивного формирования фотосинтетической поверхности (март–июнь), когда интенсивность роста слоевища у большинства видов достигает своих максимальных значений. Вторая – это фаза накопления массы и завершения вегетативного развития (июль–август), когда интенсивность роста снижается, но значения скорости роста длины и массы слоевища могут быть еще высокими.

Наиболее интенсивный вегетативный рост слоевища массовых видов водорослей на Мурманском побережье происходит в весенний период, когда наблюдается годовой минимум температуры воды (0–2 °C), когда длина светового дня и интенсивность солнечной радиации быстро увеличиваются до максимальных значений,

когда в воде содержится еще много биогенов. Растения достигают максимальных размеров и массы слоевища обычно летом, в период годового максимума температуры. Для ряда видов (*Laminaria saccharina*) показано, что максимум длины слоевища наблюдается на месяц раньше, чем массы слоевища. В климатических условиях Мурманска сначала идет формирование фотосинтетической поверхности, и лишь затем растения набирают массу, что обусловлено низкой весенней температурой воды.

Характеризуя стратегию роста макроводорослей на протяжении года на севере высокобореальной подзоны, следует выделить две группы – многолетние и однолетние. Существенных различий в ходе сезонной динамики роста между сеголетними растениями многолетних видов и однолетними видами нет. Рост слоевища однолетних видов и сеголетних растений многолетних видов в значительной степени зависит от факторов внешней среды, он идет на протяжении всего вегетационного периода, пока факторы среды (свет и температура) не достигают критических значений. В то же время рост слоевища растений старше одного года регулируется, главным образом, эндогенными факторами и приурочен к весеннему периоду в большей степени. По стратегии сезонного роста однолетние относятся к “видам-реагентам” (“season responder”), а многолетние – к “видам-прогностикам” или “season anticipator” (Kain, 1989). Первые вынуждены следовать за сезонным изменением факторов среды, вторые имеют возможность “предвидеть” и заблаговременно готовиться к благоприятным условиям.

Сезонная динамика репродукционных процессов. В северной части высокобореальной подзоны сезонная динамика роста и размножения водорослей зависит от взаимосвязи эндогенной программы растения с сезонной динамикой факторов среды. Поскольку основным ростовым сезоном для водорослей-макрофитов является весна (и начало лета), то именно в это время наблюдается массовое появление проростков, вне зависимости от времени массового размножения. Жизненный цикл водорослей организован таким образом, чтобы споры (зиготы и т. д.) или проростки появлялись к весне.

У водорослей, за некоторыми исключениями, органы размножения образуются на сеголетних частях слоевища. Жизненный цикл однолетних водорослей укладывается в рамки укороченного и холодного вегетационного периода. При достижении определенного вегетативного развития однолетники приступают к размножению, которое у разных видов однолетних водорослей в условиях Мурманска идет с конца весны до начала осени. Конкретные сроки размножения зависят от морфологической организации слоевища и жизненного цикла вида.

Многолетние водоросли также разграничивают процессы роста и размножения, но не только во времени, но и во “временном пространстве” слоевища. В сезонном размножении многолетних водорослей в условиях Баренцева моря прослеживаются две основные тенденции. Во-первых, наблюдается ускорение развития: в течение одного вегетационного периода завершается рост вегетативных структур и формирование на них органов размножения. В этом случае закладка органов размножения идет в благоприятное время года, а выход репродуктивных клеток наблюдается осенью или даже зимой – в суровое время, но важно – перед весенней вегетацией. Это характерно для массовых многолетних водорослей с непродолжительным жизненным циклом (*Laminaria saccharina*, *Odonthalia dentata*,

Phycodrys rubens). Во-вторых, имеет место удлинение развития: формирование вегетативных структур и развитие на них органов размножения занимает два вегетационных сезона. В этом случае органы размножения закладываются в конце периода вегетации. В следующий вегетативный период одновременно идет рост генеративных структур на старых частях слоевища и образование новых побегов, т. е. имеет место разграничение процессов роста и размножения в пространстве слоевища. В этом случае наблюдается длительное развитие органов размножения. При этом закладка и выход репродуктивных клеток приходится на благоприятное время года, что характерно для долгоживущих видов водорослей (*Ascophyllum nodosum*, *Fucus vesiculosus*, *F. distichus*, *Ahnfeltia plicata*).

В условиях Мурмана по сравнению с более южными районами наблюдается небольшое смещение сроков размножения макроводорослей в сторону лета. Для длиннодневных форм характерно смещение с конца весны на начало лета, что связано с низкой температуры воды в период весенней вегетации; у короткодневных форм – с осени на конец лета, что обусловлено годовым ходом фотопериода. В пределах ареала размножение водорослей наблюдается в аналогичное время года.

Таким образом, в северной части высокобореальной подзоны в условиях смены полярного дня и полярной ночи размножение видов идет на протяжении всего года, минимум – весной в период интенсивного вегетативного роста; максимум – летом–осенью. Реализация эндогенной временной программы ростовых и репродуктивных процессов определяется морфофункциональной организацией слоевища водорослей. Макроводоросли, как группа с большим разнообразием морфофункционального строения слоевища и широким спектром жизненных циклов, как группа различного таксономического, географического и экологического состава, показывают, наряду с общими закономерностями, множественные особенности в проявлении временной организации процессов роста и размножения в связи с конкретными условиями обитания.

ОРНИТОЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ КАНОЗЕРСКОГО ЗАКАЗНИКА (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)

Е.В. Шутова, Е.Л. Толмачева, Ю.А. Быков

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Кандалакшский государственный природный заповедник», Кандалакша, Россия, e-mail: shutovakand@gmail.com

Государственный природный заказник федерального подчинения «Канозерский» находится в южной части Кольского полуострова между тремя крупными озерами – Канозеро, Пончозеро и Мунозеро. Он был образован в 1980 г. для сохранения мест зимнего скопления лосей. Заказник расположен в подзоне северной тайги, современная площадь составляет 65660 га. Преобладают сосновые леса, в значительной степени на зарастающих вырубках разного возраста. В меньшей степени представлены ельники. Более четверти площади заказника занимают болотные комплексы. По территории протекает несколько относительно крупных рек, общая протяженность которых в границах заказника составляет около 120 км, а ручьев более 200 км. Кроме этого в заказнике более 140 мелких и средних озер.

Первые полевые работы на территории заказника проводились в 1988–1989 годах. На их основании в «Проекте внутрихозяйственного устройства Канозерского государственного республиканского заказника» (1989) приведен список из 87 видов птиц, относящихся к 11 отрядам. Позднее орнитологических работ на этой территории не велось. С 2011 г. охрану территории заказника «Канозерский» осуществляет Кандалакшский государственный природный заповедник. С 4 по 8 июля 2012 г. сотрудниками заповедника проведены маршрутные учеты птиц в юго-восточной части заказника (устье р. Лямукса – оз. Сосновое – оз. Окуновое – д. Печекуры – оз. Тормозеро) (рис.). Общая протяженность маршрутов составила 55 км, осмотрено 20 озер разной величины. Всего зарегистрировано 67 видов птиц.

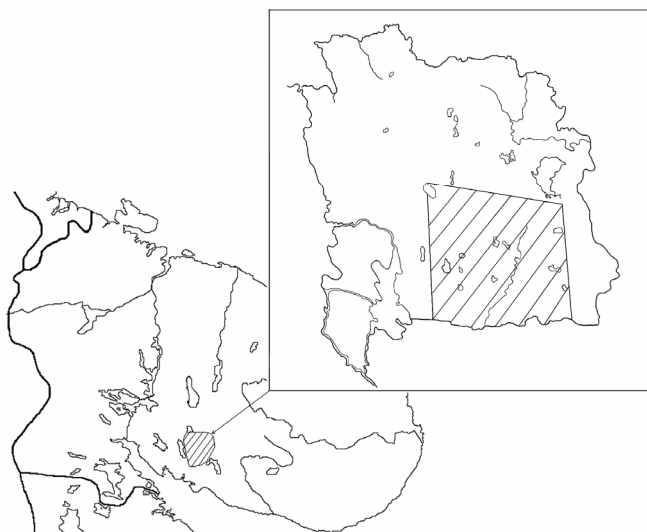


Схема расположения Канозерского заказника и территории, обследованной в 2012 г.

В результате, с учетом материалов 1988-89 гг., на территории Канозерского заказника отмечено 99 видов птиц, из них: гагарообразные – 1, поганкообразные – 1, гусеобразные – 14, соколообразные – 6, курообразные – 4, журавлеобразные – 1, ржанкообразные – 16, голубеобразные – 1, кукушкообразные – 1, совообразные – 5, стрижеобразные – 1, дятлообразные – 3, воробыинообразные – 45. Предположительно 85 видов гнездятся в этом районе (отмечены гнезда, выводки, территориальное поведение или виды гнездятся на сопредельных территориях), 3 вида отмечены здесь на пролете, 3 вида – летом в период линьки, у 8 видов статус не определен.

В 2012 г. к списку гнездящихся видов были добавлены деряба *Turdus viscivorus*, чиж *Spinus spinus*, овсянка-крошка *Emberiza pusilla* и, предположительно, черный стриж *Apus apus*, стаи которого (до 20 особей) ежедневно отмечали летающими с «визгом» над лесом. Из 67 видов, встреченных в 2012 г., 42 вида были обычными, для остальных зарегистрированы единичные встречи.

На озерах неоднократно отмечали пары чернозобых гагар *Gavia arctica*, стаи хохлатых чернетей *Aythya fuligula* и турпанов *Melanitta fusca* (по 10–50 птиц), иногда выводки чирка-свистунка *Anas crecca* и кряквы *Anas platyrhynchos*, в небольшом количестве кормящихся полярных крачек *Sterna paradisaea* и отдельные пары си-зых чаек *Larus canus*. На реках и ручьях нередко были выводки большого крохала *Mergus merganser*, перевозчики *Actitis hypoleucos*, иногда отмечали выводки кряквы и чирка-свистунка. На болотах по берегам озер и внутри леса самыми обычными гнездящимися видами являются фифи *Tringa glareola*, желтая трясогузка *Motacilla flava* и луговой конек *Anthus pratensis*. Несколько реже отмечали больших улитов *Tringa nebularia*, щеголей *Tringa erythropus*, бекасов *Gallinago gallinago*, тростниковых овсянок *Emberiza schoeniclus* и овсянок-крошек. Изредка встречались здесь и другие виды куликов. Из лесных воробыиных птиц везде самыми многочисленными были пеночки-весники *Phylloscopus trochilus*, обычные вьюрки *Fringilla montifringilla*, лесные коньки *Anthus trivialis*, обыкновенные горихвостки *Phoenicurus phoenicurus*, белобровики *Turdus iliacus* и певчие дрозды *Turdus philomelos*, а в сухих сосняках нередко дерябы. В разных местах отмечали стайки чечеток *Acanthis flammea*, чижей и три вида клестов. Из куриных птиц самыми обычными были тетерева *Lururus tetrix*, из дятлов – большие пестрые *Dendrocopos major*. Из хищных птиц и сов только дербник *Falco columbarius* отмечен в нескольких местах, для остальных видов – единичные встречи.

Естественно, полученный список далеко не полный, и расширяться он будет за счет редких и малочисленных гнездящихся, пролетных и залетных видов. В дальнейшем эта работа будет продолжена.

МУКОИДНЫЕ ЖЕЛЕЗЫ НЕСКОЛЬКИХ ВИДОВ ЦЕРКАРИЙ БЕЛОМОРСКИХ ТРЕМАТОД

С.В. Щенков

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет»,
Санкт-Петербург, Россия, e-mail: sergei.shchenkov@gmail.com

Мукоидные железы церкарий – одна из нескольких групп т.н. эмбриональных желез. Они представляют собой цитоны тегумента, фаза активного накопления секрета которых приходится на период морфогенеза личинок. Впервые мукоидные железы были выявлены у церкарий представителей группы *Cercaria virgulae* (Kruidenier, 1951). Позднее – еще у нескольких видов стилетных церкарий и личинок, филогенетически к ним близких (Kruidenier, 1953a; 1953b; 1953c; Добровольский, 1967; 1971; Galaktionov, Malkova, 1994). Несмотря на кажущуюся полноту исследований, они далеки от своего завершения. Функциональное назначение мукоидных желез до конца не выяснено. Лишь предполагается участие в прикреплении личинки к покровам промежуточного хозяина и в образовании цисты. Но основная проблема заключается в том, что сведения о морфогенезе и устройстве мукоидного аппарата церкарий, полученные ранее (см., напр., Kruidenier, 1951; 1953a; 1953b; 1953c), отличаются от полученных нами.

Мукоидные железы идентифицируют, окрашивая образцы гепатопанкреаса зараженных моллюсков толлуидиновым синим. В опубликованных ранее работах главным источником сведений служили реконструкции срезов, а не тотальные препараты. Но, как показывает опыт работы – в данном случае это не совсем подходящая методика. Мукоидные железы лишь на определенной протяженности морфогенеза имеют форму, позволяющую легко реконструировать их строение по срезам. Поэтому наиболее целесообразной оказалась работа с тотальными препаратами.

Целью настоящего исследования являлось детальное изучение морфогенеза мукоидных желез церкарий *Cryptocotyle* sp., *Maritrema subdolum*, *Levinseniella brachysoma*.

Источником материала для данного исследования послужили моллюски *Hydrobia ulvae*, собранные на илистой литорали губы Левин наволок Белого моря в августе 2012 г. Моллюски были проверены на зараженность по стандартной методике. Зараженных особей вскрывали, фрагменты гепатопанкреаса равномерно распределяли по поверхности покровных стекол тонким слоем. Полученные мазки погружали в фиксатор Шаудина (Пирс, 1962), покрывали тонким слоем целлоидина и окрашивали в 3%-ном растворе толлуидинового синего в течении трех минут (Kruidenier, 1951; Пирс, 1962). После этого окрашенные препараты отмывали от избытков красителя, дегидратировали в спиртах возрастающей концентрации и заключали в канадский бальзам. Изучение проводили на световом микроскопе Leica DM2500. Фотографии сделаны при помощи фотокамеры Nikon DS-Fi1.

1) Мукоидные железы *Cryptocotyle* sp. (сем. Heterophyidae) в количестве четырех пар различимы довольно рано, на стадии полярного эмбриона. Расположены на вентральной стороне тела церкарий, залегают друг за другом с одинаковым интервалом. Они очень маленькие, едва заметные. Железы представлены цитонами с крупным ядром и тонким слоем цитоплазмы, содержащей муцин.

На поздних стадиях морфогенеза, когда ротовая присоска окружена tunica prorgia, глаза сформированы, хорошо заметен половой зачаток и мочевого пузыря, а так же место расположения желез проникновения, мукоидные железы исчезают, так и не накопив большого количества секрета. Он весь переходит в отростки цитонов в виде отдельных капель. Муцина оказывается настолько мало, что он не придает сколько-нибудь выраженной окраске тегументу церкарий.

2) Мукоидные железы *Maritrema subdolum* (сем. Microphallidae Travassos, 1921) впервые в морфогенезе становятся заметными в период обособления хвостовой почки от тела развивающейся церкарии. Они располагаются парами вдоль вентральной поверхности тела личинок. Первые 6 клеток (3 пары) залегают между ротовой присоской и ацетабулумом, а 2 последние позади брюшной присоски. Клеточные границы передних трех пар видны отчетливо. Цитоплазма гомогенно окрашена, в каждой клетке различима область расположения ядра. Границ цитонов последней пары желез, как и ядер, на этом этапе не видно, из-за очень маленького количества секрета. Фактически, сами клетки еще не видны, а метакроматически окрашиваются лишь небольшие участки с нечеткими контурами.

По мере накопления секрета все железы увеличиваются в размере. Границы клеток передних трех пар, в местах их соприкосновения друг с другом, становятся неразличимыми. Муцин в последней паре желез синтезируется очень интенсивно и она постепенно приобретает размеры, одинаковые с первыми. На данном этапе места расположения ядер из-за интенсивного окрашивания цитоплазмы не видны ни в одном из цитонов.

К началу выведения секрета в тегумент все цитоны примерно одинакового размера, интенсивность окраски тоже совпадает. Далее клетки одновременно приобретают звездчатую, а затем сильно разветвленную форму (муцин транспортируется по цитоплазматическим мостикам в тегумент). Со временем он весь оказывается в пластинке тегумента, придавая ему бледно-розовую окраску, а сами цитоны перестают различаться.

Таким образом, мукоидные железы церкарии *M. subdolum* демонстрируют тенденцию к дифференциации: каудальная пара начинает синтезировать муцин позднее передних трех.

3) Четыре пары мукоидных желез *Levinseniella brachysoma* (сем. Microphallidae) становятся заметными гораздо раньше, чем в предыдущем случае – еще до обособления зачатков ротовой присоски и хвоста, то есть на стадии полярного эмбриона (по терминологии Cheng, Bier, 1972). Первые три пары лежат очень плотно друг к другу и представлены клетками небольшого размера. Их ядра относительно крупные, окружены очень тонкой каемкой метакромазирующей цитоплазмы. Последней, четвертой пары желез на этой стадии не видно. Она появляется несколько позже, когда формируется зачаток ротовой присоски. На первых стадиях цитоны каудальной пары желез имеют веретеновидную форму с расширением в месте расположения ядра.

Когда ротовая присоска отделяется tunica prorgia, размеры всех восьми желез становятся одинаковыми. Но цитоплазма каудальной пары клеток окрашена менее интенсивно, чем передних трех. Со временем в передних трех парах клеток вырабатывается такое количество секрета, что границы между ними перестают различаться. Каудальная пара по количеству накопленного секрета по мере развития сильно опережает передние. Она приобретает больший размер. В тегумент выбра-

сывается сначала секрет передних пар желез. Из каудальной пары муцин транспортируется, когда первые три пары клеток уже исчезают.

Все три вида изученных церкарий обладают четырьмя парами мукоидных желез (эти данные уточняют имевшиеся ранее). Отчетливо видна тенденция к дифференциации желез мукоидного аппарата. У *Cryptocotyle* sp. они очень маленькие, одинаковые по размеру. Закладываются и развиваются синхронно. Но фаза накопления секрета непродолжительная (по сравнению с остальными исследованными видами).

Мукоидные железы *M. subdolum* хорошо развиты. В начале морфогенеза муцин интенсивнее накапливается в передних парах желез, а задняя отстает в развитии. Но перед выведением секрета в пластинку тегумента цитоны становятся одинаковыми. Транспортировка муцина у *M. subdolum* начинается и заканчивается синхронно из всех восьми желез.

Сильно отличаются все упомянутые процессы у *L. brachysoma*. Не заостряя внимание на деталях, следует остановиться на главном. Из перечисленных видов, у этого специализация мукоидного аппарата зашла дальше всего. Различия сводятся не только к времени закладки и созревания мукоидных желез, но так же к выведению секрета из них.

Столь далеко заходящую специализацию мукоидных желез до этого момента наблюдали лишь у церкарий семейства Prosthogonimidae (Щенков, 2012). В то же время, церкария филогенетически очень близкого к ней семейства Plagiorchiidae *Xiphidiocercaria* sp. 7 Odening Dobrovolskij демонстрирует наличие четырех пар мукоидных желез, которые закладываются, развиваются и выводят секрет абсолютно синхронно.

Таким образом, на данном этапе можно утверждать, что наличие четырех пар мукоидных желез является синапоморфией трематод плагиорхиоидного ствола.

Литература

- Добровольский А. А. 1967. Жизненный цикл *Macrodera longicollis* (Abildgaard, 1788) Luhe, 1909 (Trematoda, Ochetsomatoidea). Вестн. Ленингр. ун-та. Сер. биол. 15: 9–20.
- Добровольский А. А. 1971. Жизненные циклы некоторых трематод семейств Telorchidae и Plagiorchiidae: дис. на соиск. степ. канд. биол. наук. Л. 192 с.
- Пирс А. Г. Эверсон. 1962. Гистохимия. Теоретическая и прикладная. М.: «Издательство иностранной литературы». 962 с.
- Щенков С. В. 2012. Мукоидные железы *Cercaria baushii* 6 (Xiphidiocercariae: Cercariae 'microcotylae). Паразитология, 76, 1.
- Cheng T. C., Bier J. W. 1972. Studies on molluscan shistosomiasis: an analysis of the development of the Cercaria of *Shistosoma mansoni*. Parasitology. 64: 129–141.
- Galaktionov K.V., Malkova I.I. 1994. The gland of trematode cercariae of family Microphallidae Travassos, 1920. Intern. Journ. Parasitol. 24: 595–604.
- Kruidenier F. J. 1951. The formation and function of mucoids in virgulate cercariae, including a study of the virgula organ. Amer. Midl. Nat. 46, 3: 660–683.
- Kruidenier F. J. 1953a. The formation and function in cercariae: Monostome cercariae. Trans. of the Amer. Microsc. Society. 72, 1: 57–67.
- Kruidenier F. J. 1953b. Studies on the formation and function of mucoid glands in cercariae: Opisthorchoid cercariae. Journ. Parasitol. 39, 4: 385–391.
- Kruidenier F. J. 1953c. Studies on the formation and function of mucoids in cercariae: Non-virgulate Xiphidiocercariae. American Midland Naturalist. 50, 2: 382–396.

АВТОРСКИЙ ИНДЕКС

- Абрамова А.А. 10
Алексеев А.П. 13
Ананьева А.В. 344
Аникиева Л.В. 130
Аристов Д.А. 21
Арсениев Н.А. 332
Атаджанова О.А. 124
Барышев И.А. 24
Бахмет И.Н. 27, 74, 171, 315
Безгачина Т.В. 31
Белевич Т.А. 33
Бергер В.Я. 36, 60
Березина Н.А. 40
Бианки В.В. 44
Биягов К.Л. 106
Бойко Н.С. 47
Большаков Ф.В. 50
Борвинская Е.В. 53
Будько Д.Ф. 56
Бульон В.В. 60
Бурыкин Ю.Б. 64, 67, 71
Бурыкина Е.А. 64, 67, 71
Быков Ю.А. 354
Ващенко П.С. 139
Вдовиченко Е.А. 74
Веселов А.Е. 76
Вишняков А.Э. 103
Владиминова Н.В. 326
Возняк О.Л. 286
Воронкина И.В. 80
Воронов Д.А. 164, 168
Воронова А.Д. 168
Вошиков В.Б. 47
Высоцкая Р.У. 74
Газизова Г.Р. 84
Герасимова А.В. 87
Герасимова М.В. 36, 91
Горбачева Т.Т. 95, 192
Гордеева Н.В. 99
Горшкова О.М. 56
Гранског М. 234
Гудкова А.А. 103
Дёмина Л.Л. 56
Денисенко Н.В. 106
Деревщиков А.В. 158
Добренкова С.В. 31
Доровских Г.Н. 110
Дорофеева Е.А. 113
Дриц А.В. 33
Ершов П.Н. 117, 121
Ефремов Д.А. 76
Жилин А.Ю. 245
Житина Л.С. 135
Журкин Д.В. 256
Заботин Я.И. 84
Задевалова М.И. 40
Зимин А.В. 124
Зотин А.А. 127
Иванов М.В. 185, 208, 275
Иванова Т.С. 185, 208
Иешко Е.П. 130
Ильмаст Н.В. 133
Ильяш Л.В. 33, 135, 260
Калинка О.П. 139
Камардин Н.Н. 144
Карнатов А.Н. 139
Климовский Н.В. 148
Клювиткин А.А. 160
Кожин М.Н. 294
Козлов И.Е. 124
Козминский Е.В. 151
Комендантов А.Ю. 329
Корчагин Д.М. 31
Корякин А.С. 155, 294
Косевич И.А. 50, 181
Костиков В.В. 332
Кравец П.П. 158, 202
Кравчишина М.Д. 135, 160
Краснова Е.Д. 164, 168
Кращенко С.А. 158
Крупнова М.Ю. 171
Кудрявцева В.А. 173
Кутчева И.П. 176, 304
Кяйвярйянен Е.И. 178
Лавров А.И. 181
Лайус Д.Л. 185, 208
Лебедева Д.И. 130
Левицкий А.Л. 148

- Любарцев А.П. 256
Любимцев В.Ф. 144
Лютиков А.А. 189
Мазухина С.И. 95, 192
Македонская И.Ю. 199, 300
Максимова В.В. 196
Максимович Н.В. 87, 311
Малавенда С.С. 158
Мамедова Э.Э. 53
Мартма Т. 234
Мартынова Д.М. 56, 286, 304
Мархасева Е.Л. 10
Маслобоев В.А. 196
Машнин А.А. 202
Мискевич И.В. 205
Митяев М.В. 36, 91
Мовчан Е.А. 282
Моганова М.В. 208
Мосеев Д.С. 211
Москвичева Л.А. 155
Мохнаткин Ф.Ю. 124
Мохова О.Н. 215
Мухин В.А. 218
Мюге Н.С. 221
Мясоедов А.Г. 124
Нагирняк Г.А. 76
Назарова Л.Е. 222
Наумов А.Д. 226
Немова Н.Н. 171, 178, 315
Нестеров Н.Н. 332
Новиков В.Ю. 218
Новоселов А.П. 230
Отченaш Н.Г. 199, 300
Павлов А.К. 234
Павлов Д.С. 76
Пантюлин А.Н. 164, 238
Парухина Л.В. 241
Пастухов С.В. 278
Петракова И.В. 148
Пинаев Г.П. 80
Плотицына Н.Ф. 245
Политова Н.В. 160
Полякова Н.В. 249
Поромов А.А. 252
Примаков И.М. 60
Протасов М.В. 80
Прусов С.В. 99
Рабинович А.Л. 256
Радченко И.Г. 260
Рипатти П.О. 256
Рогатых Т.А. 164
Руоколайнен Т.Р. 315
Ручьев М.А. 76
Рыжков Л.П. 264
Савоськина А.М. 31
Салменкова Е.А. 99
Семушин А.В. 234, 267
Сказина М.А. 326
Смагин Р.Е. 271
Смагина Д.С. 275
Смирнов В.В. 36
Смирнов Л.П. 53, 284
Смирнова Е.Б. 218
Смуров А.В. 252
Старков А.И. 249
Стасенков В.А. 278
Стедмон К. 234
Степанов В.Г. 110
Стерлигова О.П. 133
Стогов И.А. 282
Столяр О.Б. 53, 284
Ступникова А.Н. 33
Суховская И.В. 284
Сухотин А.А. 117, 121, 286
Сысоева М.И. 76
Ткаченко А.В. 290
Толмачева Е.Л. 294, 354
Толстиков А.В. 160, 296
Трошков В.А. 300
Усов Н.В. 304
Филатов Н.Н. 308
Филипов А.С. 160
Филиппова Н.А. 311
Фокина Н.Н. 286, 315
Фомина О.В. 319
Фролов С.Б. 267
Фукс Г.В. 323
Хайтов В.М. 196, 326
Халаман В.В. 178, 329
Хернрот Б. 80
Холодкевич С.В. 144, 346
Чаленко В.В. 332

Чернов И.А. 296
Чугайнова В.А. 340
Чудненко К.В. 196
Шакурова Н.В. 344
Шапрон Б. 124
Шарлаимова Н.А. 80
Шаров А.Н. 346

Шатских Е.В. 185
Шевченко В.П. 135, 160, 260
Шкляревич Г.А. 319
Шошина Е.В. 350
Шутова Е.В. 155, 354
Щенков С.В. 356
Явловская В.В. 234

Научное издание

XII Международная конференция с элементами школы
для молодых ученых и аспирантов

**ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ, РАЦИОНАЛЬНОГО
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ОХРАНЫ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ
БЕЛОГО МОРЯ**

Петрозаводск, 30 сентября – 4 октября 2013 г.

Материалы конференции

Печатается по решению Ученого Совета ИБ КарНЦ РАН

Издано в авторской редакции

Дизайн обложки сборника разработан и выполнен с использованием фотографий
А.В. Толстикова (ИВПС КарНЦ РАН),
Е.В. Борвинской, Д.В. Панченко (ИБ КарНЦ РАН)

Подписано в печать 2.09.2013. Формат 70х100¹/₁₆.
Гарнитура Times. Печать офсетная. Уч.-изд. л. 22,05. Усл. печ. л. 20,86.
Тираж 160 экз. Изд. № 382. Заказ 147

Карельский научный центр РАН
Редакционно-издательский отдел
185003, г. Петрозаводск, пр. А. Невского, 50