Федеральное государственное бюджетное учреждение
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

VI Всероссийская конференция молодых ученых
"Комплексные исследования Мирового океана"

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

18 – 24 апреля 2021 г.
Москва

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Институт океанологии им. П.П. Ширшова

УДК 551.46
ББК 26.221
К 63

Комплексные исследования Мирового океана. Материалы VI Всероссийской научной конференции молодых ученых, г. Москва, 18–24 апреля 2021 г. Москва: Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 2021, 538 с. DOI:10.29006/978-5-6045110-3-9. ISBN 978-5-6045110-3-9.

В сборнике представлены материалы VI Всероссийской научной конференции молодых ученых «Комплексные исследования Мирового океана» (КИМО-2021), посвященной обсуждению основных научных достижений молодых специалистов в области океанологии, современных методов и средств изучения Мирового океана. В рамках конференции рассматривались вопросы современной океанологии по секциям: физика океана, биология океана, химия океана, морская геология, морская геофизика, экология моря и рациональное природопользование, океанологическая техника и приборостроение, а также были представлены междисциплинарные физико-биологические исследования океана. Наравне с освещением результатов, полученных в ходе традиционных океанологических экспедиционных исследований, уделялось внимание развитию современных методов изучения океана: численного моделирования и дистанционных методов зондирования Земли из космоса.

Редколлегия: к.ф.-м.н. Алексеев Д.А., к.б.н. Андреева А.Ю., Анисимов И.М., к.ф.-м.н. Багаев А.В., Баяндина Ю.С., Беззубова Е.М., к.г.-м.н. Будько Д.Ф., к.б.н. Веденин А.А., к.ф.-м.н. Владимирова И.С., к.ф.-м.н. Габсатаров Ю.В., к.ф.-м.н. Глуховец Д.И., Гуров К.И., к.г.н. Кивва К.К., Кодрян К.В., к.г.-м.н. Козина Н.В., Колтовская Е.В., к.ф.-м.н. Крылов А. А., к.ф.-м.н. Кубряков А.А., к.ф.-м.н. Кубрякова Е.А., к.б.н. Кухарева Т.А., Кулешова Л.А., Латушкин А.А., Лишаев П.Н., к.г.н. Лобанова П.В., к.ф.-м.н. Медведев И.П., Медведева А.Ю., к.ф.-м.н. Мизюк А.И., Муравья В.О., к.ф.-м.н. Мысленков С.А., к.г.-м.н. Овсепян Е.А., к.г.н. Полухин А.А., Пономаренко Е.П., Рукавишникова Д.Д., Сандалюк Н.В., Свергун Е.И., к.г.н. Сильвестрова К.П., к.ф.-м.н. Степанова Н.Б., PhD Тарасенко А.Д., к.г.н. Толстиков А.В., Турко Н.А., к.г.н. Ульянова М.О., Федоров А.М., к.б.н. Челебиева Э.С., Шармар В.Д., Шатравин А.В., к.г.-м.н. Шульга Н.А., к.ф.-м.н. Юровская М.В., Юшманова А.В.

Материалы публикуются в авторской редакции.

Разработка оригинального макета обложки – Колтовская Е.В. (Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН) и Турко Н.А. (Московский физико-технический институт).

Адрес редакции: 117997, Москва, Нахимовский пр., д. 36
Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук,
тел.: +7 (495) 719-00-35, e-mail: office@ocean.ru официальный сайт: https://ocean.ru/
ISBN: 978-5-6045110-3-9 © ИО РАН, 2021

Complex Investigations of the World Ocean. Proceedings of the VI Russian Scientific Conference of Young Scientists, Moscow, April 18–24, 2021 Moscow: Shirshov Institute of Oceanology RAS, 2021, 538 p. DOI: 10.29006/978-5-6045110-3-9.
ISBN 978-5-6045110-3-9.

The collection contains materials of the VI All-Russian Scientific Conference of Young Scientists "Complex Investigations of the World Ocean", dedicated to the discussion of the main scientific achievements of young specialists in the field of oceanology, modern methods and means of studying the World Ocean. Within the framework of the conference, issues of modern oceanology were considered in sections: ocean physics, ocean biology, ocean chemistry, marine geology, marine geophysics, marine ecology and environmental management, oceanological technology and instrumentation, as well as interdisciplinary physical and biological research of the ocean. Along with the coverage of the results obtained in the course of traditional oceanological expeditionary research, attention was paid to the development of modern methods of studying the ocean: numerical modeling and remote sensing methods of the Earth from space.

Editorial board: Ph.D. Alekseev D.A., Ph.D. Andreeva A.Yu., Anisimov I.M., Ph.D. Bagaev A.V., Bayandina Yu.S., Bezzubova E.M., Ph.D. Budko D.F., Ph.D. Vedenin A.A., Ph.D. Vladimirova I.S., Ph.D. Habsatarov Yu.V., Ph.D. Glukhovets D.I., Gurov K.I., Ph.D. Kivva K.K., Kodryan K.V., Ph.D. Kozina N.V., Koltovskaya E.V., Ph.D. A.A. Krylov, Ph.D. A.A. Kubryakov, Ph.D. E.A. Kubryakova, Ph.D. Kukhareva T.A., Kuleshova L.A., Latushkin A.A., Lishaev P.N., Ph.D. Lobanova P.V., Ph.D. Medvedev I.P., Medvedeva A.Yu., Ph.D. Mizyuk A.I., Muravya V.O., Ph.D. Myslenkov S.A., Ph.D. Hovsepyan E.A., Ph.D. Polukhin A.A., Ponomarenko E.P., Rukavishnikova D.D., Sandalyuk N.V., Svergun E.I., Ph.D. Silvestrova K.P., Ph.D. Stepanova N.B., PhD Tarasenko A.D., Ph.D. Tolstikov A.V., Turko N.A., Ph.D. Ulyanova M.O., Fedorov A.M., Ph.D. Chelebieva E.S., Shamar V.D., Shatravin A.V., Ph.D. Shulga N.A., Ph.D. Yurovskaya M.V., Yushmanova A.V.

Materials are published in the author's edition.

Development of the original cover layout: E.V. Koltovskaya (Shirshov Institute of Oceanology RAS) and N.A. Turko (Moscow Institute of Physics and Technology).

Содержание

СЕКЦИЯ «ФИЗИКА ОКЕАНА» 26

Коржуев В.А.
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ШТОРМОВЫХ УСЛОВИЙ НА ЗАГЛУБЛЕНИЕ ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЫ СЕЗОННОГО ТЕРМОКЛИНА 26

Аверьянова Е.А., Губарев А.В.
О ВЛИЯНИИ СЕВЕРОАТЛАНТИЧЕСКОГО И ВОСТОЧНО-АТЛАНТИЧЕСКОГО КОЛЕБАНИЙ НА ЗАВИХРЕННОСТЬ ПОЛЯ ВЕТРА В ЧЕРНОМОРСКОМ РЕГИОНЕ . . 28

Алескерова А.А., Кубряков А.А., Станичный С.В., Мизюк А.И.
ИССЛЕДОВАНИЕ АПВЕЛЛИНГОВ В ЧЕРНОМ МОРЕ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ И МОДЕЛИ NEMO 30

Ананьева А.А., Тюлькина Д.С., Лактионов П.П.
КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ . 32

Артамонова А.В., Козлов И.Е.
СУБМЕЗОМАСШТАБНЫЕ ВИХРИ В НОРВЕЖСКОМ И ГРЕНЛАНДСКОМ МОРЯХ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ 34

Атаджанова О.А., Зимин А.В.
КОЛИЧЕСТВЕННОЕ СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ В БАРЕНЦЕВОМ И КАРСКОМ МОРЯХ, С ДАННЫМИ ИЗ ГЛОБАЛЬНЫХ СПУТНИКОВЫХ И МОДЕЛЬНЫХ АРХИВОВ 35

Байдаков Г.А., Кандауров А.А., Русаков Н.С., Поплавский Е.И., Троицкая Ю.И.
ЛАБОРАТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОБРУШЕНИЙ ВОЛН НА РАССЕЯНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННОГО СИГНАЛА 37

Бакуева Я.И., Козлов И. Е.
ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЯ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В ЮЖНОМ ОКЕАНЕ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ РСА SENTINEL-1 A/B 39

Белова П.М., Корзинин Д.В.
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВДОЛЬБЕРЕГОВОГО ПОТОКА НАНОСОВ У ПОБЕРЕЖЬЯ БАЛТИЙСКОЙ КОСЫ 41

Борисов М.А. , Криницкий М.А.
ИСКУССТВЕННЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В ЗАДАЧЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ И РАЗМЕРОВ СОЛНЕЧНОГО ДИСКА НА ШИРОКОУГОЛЬНЫХ ФОТОГРАФИЯХ НЕБОСВОДА 43

Бочерикова И.Ю., Чубаренко И.П.
ПОВЕДЕНИЕ ЧАСТИЦ ПЛАСТИКА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ЛЬДА 45

Буканова Т.В., Крек Е.В., Стонт Ж.И.
ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ЛЕДОВЫЕ УСЛОВИЯ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ (2004-2020) 47

Василенко Н.В., Кубряков А.А., Алескерова А.А., Медведева А.В., Станичный С.В.
ЗАТОКИ ЧЕРНОМОРСКИХ ВОД В АКВАТОРИЮ АЗОВСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ 49

Вязигина Н.А., Тимохов Л.А., Егорова Е.С., Юлин А.В.
ИНФОРМАТИВНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ И АСТРОГЕОФИЗИЧЕКИХ ФАКТОРОВ НА ПРИМЕРЕ ОПИСАНИЯ ДОЛГОПЕРИОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ ЛЕДОВИТОСТИ ГРЕНЛАНДСКОГО МОРЯ 51

Гиппиус Ф. Н., Мысленков С. А.
МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ В ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЯХ ЧЁРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ . . 53

Гиппиус Ф.Н., Демидов А.Н., Иванов А.А.
ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕНОСА ВОД ЧЕРЕЗ РАЗЛОМ ВИМА В СРЕДИННО-АТЛАНТИЧЕСКОМ ХРЕБТЕ 55

Глухов В.А., Гольдин Ю.А., Родионов М.А.
РЕГИСТРАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ВНУТРЕННИХ ВОЛН ЛИДАРНЫМ МЕТОДОМ ДЛЯ СЛУЧАЯ ДВУХСЛОЙНОЙ СТРАТИФИКАЦИИ ГИДРООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК 57

Гордей А.С., Осадчиев А.А.
ВОДООБМЕН МЕЖДУ ЛАГУНАМИ ЭСТУАРНОГО ТИПА И ОКЕАНОМ НА ПРИМЕРЕ ПАТУСА И ТОДУС-УС-САНТУС 59

Диденкулова Е.Г., Диденкулов О.И.
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СОЛИТОНОВ И БИЗЕРОВ В СТРАТИФИЦИРОВАННОМ ОКЕАНЕ 61

Евстигнеева Н.А, Демышев С.Г.
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ЧЕРНОГО МОРЯ В ЛЕТНИЙ И ОСЕННИЙ СЕЗОНЫ 2016 Г. НА ОСНОВЕ УСВОЕНИЯ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ СЪЕМОК В ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ. 63

Егорова Е.С.
ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ВОЗРАСТНОГО СОСТАВА ЛЬДОВ ГРЕНЛАНДСКОГО МОРЯ 65

Елкин Д.Н., Зацепин А.Г.
СРАВНЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ОПУСКАНИЯ ВОД ПО ГЛАДКОМУ И ШЕРОХОВАТОМУ НАКЛОННОМУ ДНУ ПРИДОННОМ ЭКМАНОВСКОМ СЛОЕ, И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ПРИДОННОГО ЭКМАНОВСКОГО СЛОЯ С ПОМОЩЬЮ ДАТЧИКА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ (ЛАБОРАТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ) 67

Жук В.Р., Кубряков А.А.
ВЛИЯНИЕ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО ТЕЧЕНИЯ НА ВОДООБМЕН В БЕРИНГОВОМ ПРОЛИВЕ ПО СПУТНИКОВЫМ АЛЬТИМЕТРИЧЕСКИМ ДАННЫМ 69

Журбас Н.В., Кузьмина Н.П.
СТАТИСТИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЧИВОСТИ РАСХОДА АТЛАНТИЧЕСКИХ ВОД ВДОЛЬ СКЛОНА ЕВРАЗИЙСКОГО БАССЕЙНА ПО МНОГОЛЕТНИМ ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ 71

Зенкова П. Н., Чернов Д. Г., Аршинов М. Ю.
ОПТИЧЕСКИЕ И МИКРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРОПОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ НАД МОРЯМИ РОССИЙСКОГО СЕКТОРА АРКТИКИ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ С БОРТА САМОЛЕТА-ЛАБОРАТОРИИ ТУ-134 "ОПТИК" 73

Иванов К.Д., Травкин В.С.
ГРИБОВИДНЫЕ СТРУКТУРЫ ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЫ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ 75

Ижицкий А.С., Кириллин Г.Б., Гончаренко И.В., Курбаниязов А.К., Завьялов П.О.
ЗАЛИВ ЧЕРНЫШЕВА АРАЛЬСКОГО МОРЯ КАК КРУПНЕЙШЕЕ ГЕЛИОТЕРМАЛЬНОЕ ОЗЕРО 77

Капустина М.В., Зимин А.В.
ПОВТОРЯЕМОСТЬ АПВЕЛЛИНГОВ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКЕ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА 79

Кашин С.В., Антипов Н.Н., Чистяков И.А., Федотова А.А.
МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СТРУКТУРЫ И ХАРАКТЕРИСТИК ВОД ПРОЛИВА БРАНСФИЛД ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ ААНИИ 81

Ковалдов Д.А., Рябкова М.С., Караев В.Ю., Титченко Ю.А., Мешков Е.М., Зуйкова Э.М.
ИЗМЕРЕНИЯ ДОПЛЕРОВСКИХ СПЕКТРОВ ОТРАЖЕННОГО МИКРОВОЛНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ МАЛЫХ УГЛАХ ПАДЕНИЯ НА РЕКЕ 83

Козлов И.Е., Кудрявцев В.Н.
КИНЕМАТИКА ВНУТРЕННИХ ВОЛН В АРКТИКЕ ПО ДАННЫМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ СПУТНИКОВЫХ РСА НАБЛЮДЕНИЙ 85

Козлов И.Е., Плотников Е.В.
ДИНАМИКА ВИХРЕЙ ПРИКРОМОЧНОЙ ЗОНЫ В АРКТИКЕ ПО ДАННЫМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ СПУТНИКОВЫХ РСА НАБЛЮДЕНИЙ 87

Коник А.А., Козлов И.Е.
ФРОНТАЛЬНАЯ И ВИХРЕВАЯ ДИНАМИКА КАРСКОГО МОРЯ В ТЕПЛЫЙ СЕЗОН 2018 ГОДА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ 89

Коник А.А., Зимин А.В.
МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОЛЯРНОЙ ФРОНТАЛЬНОЙ ЗОНЫ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ 91

Химченко Е.Е., Серебряный А.Н., Конюхова А.А.
НАБЛЮДЕНИЕ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН НА КРУТОМ ШЕЛЬФЕ 93

Корженовская А.И., Медведев И.П., Архипкин В.С.
ПРИЛИВНЫЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ АЗОВСКОГО МОРЯ 95

Крайнева М.В.
ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА МОРЯ ЛАПТЕВЫХ В ПОСЛЕДНЕЕ ДЕСЯТИЛЕТИЕ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ 97

Кубряков А.А., Козлов И.Е.
КРУПНЫЕ СИНОПТИЧЕСКИЕ ВИХРИ В ВОСТОЧНОЙ АРКТИКЕ ПО СПУТНИКОВЫМ АЛЬТИМЕТРИЧЕСКИМ ДАННЫМ 99

Гоголев Д.Г. , Буканова Т.В. , Кудрявцева Е.А.
ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННОГО ПРОГРЕВА И ОХЛАЖДЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ 101

Кузнецова А.М., Досаев А.С., Русаков Н.С., Поплавский Е.И., Троицкая Ю.И.
МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ПОЛЯРНОЙ ДЕПРЕССИИ 103

Кукушкин В.М., Маркина М.Ю., Гулев С.К.
АНАЛИЗ МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ С 1979 ПО 2018 ГОД 105

Куликов М.Е., Архипкин В.С., Медведев И.П.
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ 106

Куликов М.Е., Медведев И.П.
АНАЛИЗ ПРИЛИВНЫХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ РОССИИ 108

Куприянова А.Е., Гриценко В.А.
ИЗМЕНЧИВОСТЬ СРЕДНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВДОЛЬСКЛОНОВЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ПЛОТНОСТНЫХ ТЕЧЕНИЙ КОНВЕКТИВНОЙ ПРИРОДЫ 110

Лемешко Е.Е.
МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ РЕЖИМОВ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ И СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА 112

Леонов И.И.
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЛЕДЕНЕНИЯ МОРСКИХ СУДОВ 114

Коротаев Г.К., Лишаев П.Н., Кныш В.В.
ВОССТАНОВЛЕНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ ПОЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И СОЛЕНОСТИ ПО ДАННЫМ АЛЬТИМЕТРИИ И ИЗМЕРЕНИЙ БУЕВ ARGO 116

Лобчук О.И., Буканова Т.В., Чубаренко И.П.
БОРНХОЛЬМСКИЕ vs ЛЕВАНТИЙСКИЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ВОДЫ: СХОДСТВО И РАЗЛИЧИЕ 118

Журбас Н.В., Лыжков Д.А.
НЕУСТОЙЧИВЫЕ СУБМЕЗОМАСШТАБНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ ГЕОСТРОФИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ С ЛИНЕЙНЫМ ВЕРТИКАЛЬНЫМ ПРОФИЛЕМ СКОРОСТИ 120

Максимовская Т.М., Ильин Г.В.
ЭЛЕМЕНТЫ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО РАЙОНА БАРЕНЦЕВА МОРЯ (ПО МАТЕРИАЛАМ ЭКСПЕДИЦИЙ НИС «ДАЛЬНИЕ ЗЕЛЕНЦЫ» 2019-2020 Г.) 122

Малуша А.П. , Царев В.А.
ОСОБЕННОСТИ ВЕСЕННЕГО РАЗРУШЕНИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА В ОХОТСКОМ МОРЕ 124

Малышева А.А., Гневышев В.Г., Белоненко Т.В., Колдунов А.В.
О ВИХРЯХ АГУЛЬЯСА И ВОЛНАХ РОССБИ, РАСПРОСТРАНЯЮЩИХСЯ В ЮЖНОЙ АТЛАНТИКЕ 126

Медведев И.П.
ЧАСТОТНО-СПЕКТРАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ШТОРМОВЫХ НАГОНОВ В ФИНСКОМ ЗАЛИВЕ 128

Медведева А.В., Станичный С.В., Кубряков А.А., Алескерова А.А., Василенко Н.В.
ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ МРАМОРНОГО МОРЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ 130

Михайличенко С.Ю.
РАСПРОСТРАНЕНИЕ И НАКАТ УЕДИНЕННОЙ ВОЛНЫ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЗАПОВЕДНИКА “ХЕРСОНЕС ТАВРИЧЕСКИЙ” 133

Михайличенко Т.В., Козлов И.Е.
ДИНАМИКА КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В ПРОЛИВЕ ФРАМА И ВБЛИЗИ АРХ. ШПИЦБЕРГЕН ПО ДАННЫМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ РСА НАБЛЮДЕНИЙ 135

Молчанов М.С., Головин П.Н.
МОДЕЛИРОВАНИЕ КАСКАДИНГА НА ШЕЛЬФЕ И МАТЕРИКОВОМ СКЛОНЕ АНТАРКТИКИ НА МЕЛКОМАСШТАБНОЙ НЕГИДРАСТАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ FLUIDITY-ICOM 137

Мухаметьянов Р.З., Фрей Д.И.
МЕЗОМАСШТАБНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДНЫХ МАСС И ТЕЧЕНИЙ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ МОРЯ УЭДДЕЛЛА (БАССЕЙН ПАУЭЛЛА) 139

Мухаметьянов Р.З.
ЦИРКУЛЯЦИЯ ВОД В МОРЕ УЭДДЕЛЛА 140

Наурозбаева Ж.К , Лобанов В.А.
ЛЕДОВЫЙ ПОКРОВ КАСПИЙСКОГО МОРЯ, ОЦЕНКА ЕГО ИЗМЕНЕНИЯ ПО КЛИМАТИЧЕСКИМ СЦЕНАРИЯМ ДО 2100 ГОДА 142

Никольский Н.В., Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А.
ОЦЕНКА СВЯЗИ ФРОНТАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ПОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА С ЦИРКУЛЯЦИЕЙ ВОД В АТЛАНТИЧЕСКИХ СЕКТОРАХ ПОЛЯРНЫХ БАССЕЙНОВ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗОВ NOAA OI SST И CMEMS 144

Новоселова Е.В., Белоненко Т.В.
ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАВИХРЕННОСТЬ В ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЕ 146

Нурлибаева А.С., Подрезова Н.А.
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В ПРОЛИВЕ БЬЕРКЕЗУНД ЗА ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2018-2019 ГГ. 148

Осадчиев А.А., Спивак Э.А., Семилетов И.П.
СТРУКТУРА И ИЗМЕНЧИВОСТЬ СИБИРСКОГО ТЕЧЕНИЯ В ПРОЛИВЕ ЛОНГА И В ЧУКОТСКОМ МОРЕ 149

Осадчиев А.А., Фрей Д.И., Спивак Э.А., Семилетов И.П.
СТРУКТУРА ОПРЕСНЕННОГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ И ВОСТОЧНО-СИБИРСКОМ МОРЕ В ТЕЧЕНИЕ БЕЗЛЕДНОГО ПЕРИОДА 151

Осадчиев А.А., Коновалова О.П., Гордей А.С.
ВОДООБМЕН МЕЖДУ ОБСКОЙ ГУБОЙ И КАРСКИМ МОРЕМ В ТЕЧЕНИЕ БЕЗЛЕДНОГО ПЕРИОДА 153

Оскотская С.А., Подрезова Н.А.
ЛЕДОВЫЙ РЕЖИМ БЕЛОГО МОРЯ В 2017-2020 ГГ. 155

Павлова А.В., Архипкин В.С., Мысленков С.А.
ОСОБЕННОСТИ ЗАТОПЛЕНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ НА ОСНОВЕ ИЗМЕНЕНИЙ ФОНОВОГО УРОВНЯ 156

Павлушин В.А, Кубряков А.А.
ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК БЕНГЕЛЬСКОГО АПВЕЛЛИНГА ПО ДАННЫМ БУЁВ АРГО 158

Панфилова М.А., Караев В.Ю., Митник Л.М.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ВЕТРА ПО ДАННЫМ ДВУХЧАСТОТНОГО РАДИОЛОКАТОРА НА СПУТНИКЕ GPM 160

Пиваев П.Д., Кудрявцев В.Н., Кориненко А.Е., Малиновский В.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРУШЕНИЙ ВОЛН СПЕКТРАЛЬНОГО ПИКА 162

Почуфаров А.О., Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Полькин В.В., Радионов В.Ф., Малафеев Г.В., Новигатский А.Н.
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОЗОЛЯ ПРОВЕДЁННЫХ В АРКТИЧЕСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ «ТРАНСАРКТИКА-2019» И В 80-М РЕЙСЕ НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ» 164

Резвов В.Ю., Криницкий М.А., Гавриков А.В., Гулев С.К.
ИСКУССТВЕННЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В ЗАДАЧЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО МАСШТАБИРОВАНИЯ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО ВЕТРА В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ 166

Романенко В.А.
СЕЗОННАЯ И МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТУРБУЛЕНТНОГО ЭНЕРГООБМЕНА МЕЖДУ МОРЯМИ ЗАПАДНОГО СЕКТОРА РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ И АТМОСФЕРОЙ 168

Рубакина В.А., Кубряков А.А., Станичный С.В., Мизюк А.И.
ВЛИЯНИЕ СУТОЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИЧЕСКОГО ПРОГРЕВА ВЕРХНЕГО СЛОЯ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ 170

Рыбалко А.Д., Мысленков С.А.
СРАВНЕНИЕ СПЕКТРОВ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ ПО ДАННЫМ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИЗМЕРЕНИЙ В РАЙОНЕ ГЕЛЕНДЖИКА И УТРИША 172

Рябкова М.С., Титченко Ю.А., Мешков Е.М., Титов В.И., Панфилова М.А., Караев В.Ю., Скиба Е.В., Кориненко А.Е.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИМИ И ОПТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ 174

Сандалюк Н.В., Белоненко Т.В., Bosse A.
ТРЕХМЕРНАЯ СТРУКТУРА МЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ В ДИНАМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ РАЙОНАХ МИРОВОГО ОКЕАНА: КОМПОЗИТНЫЙ АНАЛИЗ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ АЛЬТИМЕТРИИ И IN SITU НАБЛЮДЕНИЙ 176

Сарафанов М.И., Никитин Н.О., Калюжная А.В.
ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРОПУСКОВ В ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ 178

Свергун Е.И., Зимин А.В.
ОСОБЕННОСТИ ПОЛЯ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН НА РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ ШЕЛЬФА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ 180

Свергун Е.И., Зимин А.В.
ПРОЯВЛЕНИЯ ВНУТРЕННИХ ВОЛН ВТОРОЙ МОДЫ В МОРЯХ РОССИИ ПО ДАННЫМ КОНТАКТНЫХ И СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ 182

Сендеров М.В., Мизюк А.И.
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОД АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО БАССЕЙНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОЦЕДУРЫ ДВУНАПРАВЛЕННОГО НЕСТИНГА . 184

Сергеев Д.А., Кандауров А.А.,Троицкая Ю.И.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛЬДА НА ВЕТРО-ВОЛНОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В УСЛОВИЯХ ЛАБОРАТОРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ 186

Серых И.В.
ВЗАИМОСВЯЗИ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГИДРОФИЗИЧЕСКОГО РЕЖИМА МИРОВОГО ОКЕАНА И ГЛОБАЛЬНОЙ АТМОСФЕРНОЙ ОСЦИЛЛЯЦИИ . 188

Смирнова Д.А., Медведев И.П.,, Рабинович А.Б.,, Шепич Я.
ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ ЯПОНСКОГО МОРЯ, ВЫЗВАННЫЕ ТАЙФУНАМИ МАЙСАК И ХАЙШЕН В СЕНТЯБРЕ 2020 Г. 190

Соколов А.А., Иванов В.В.
АДВЕКТИВНЫЙ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОС ЧЕРЕЗ КАРСКОЕ МОРЕ 192

Сумкина А.А. , Иванов В.В. , Кивва К.К.
ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА НА ИЗМЕНЧИВОСТЬ ДАТ ПОЛНОГО ОЧИЩЕНИЯ ОТО ЛЬДА В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ 194

Сухонос П.А.
АНАЛИЗ ЛИНЕЙНЫХ ТЕНДЕНЦИЙ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕРХНЕГО СЛОЯ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ В РАЗНЫЕ СЕЗОНЫ ПО ДАННЫМ РЕ-АНАЛИЗА ORA-S3 ЗА 1959-2011 ГГ. 196

Тарханова М.А.
ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕННОГО СТОКА АРКТИЧЕСКИХ РЕК НА ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИЛЕГАЮЩИХ АКВАТОРИЙ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА 198

Травкин В.С., Белоненко Т.В.
КИНЕТИЧЕСКАЯ И ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ ТЕЧЕНИЙ ВОД В АКВАТОРИИ ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЫ 200

Тузов Ф.К.
ИЗМЕНЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ КАСКАДИНГА В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ В СВЯЗИ С СОКРАЩЕНИЕМ ПЛОЩАДИ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА 202

Федоров А. М., Новоселова Е.В., Башмачников И.Л., Белоненко Т. В.
ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ КОНВЕКЦИЯ В ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЕ НОРВЕЖСКОГО МОРЯ 204

Фетисов С.В., Чубаренко И.П.
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ШТОРМОВ НА МАССОВЫЙ ВЫБРОС МОРСКОГО МУСОРА НА БЕРЕГ САМБИЙСКОГО ПОЛУОСТРОВА 206

Фокина К.В., Булгаков К.Ю.
СОВМЕСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛН И ВОЛНОВОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ 208

Фрей Д.И., Кречик В.А., Фофанов Д.В., Сильвестрова К.П.
ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА МАЛЬВИНСКОГО (ФОЛКЛЕНДСКОГО) ТЕЧЕНИЯ 210

Чернявская Е.А., Тимохов Л.А., Малиновский С.Ю.
МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЗИМНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ И ГАЛОКЛИНА В АРКТИЧЕСКОМ БАССЕЙНЕ 212

Шапкин Б.С., Рубченя А.В., Иванов Б.В., Ревина А.Д.
ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПЛОЩАДИ И ТОЛЩИНЫ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА В ЗАПАДНОМ СЕКТОРЕ АРКТИКИ 214

Шаповал К.О., Григорьев А.В
ОПЕРАТИВНАЯ ОКЕАНОЛОГИЯ ЧЕРНОГО МОРЯ (СЕВЕРО-ВОСТОЧНАЯ ПРИБРЕЖНАЯ ОБЛАСТЬ): ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ 216

Шармар В.Д., Ивонин Д.В., Гавриков А.В., Салаватова Л.И., Тилинина Н.Д., Гулев С.К.
ВАЛИДАЦИЯ ВЫСОКОРАЗРЕШАЮЩЕЙ МОДЕЛИ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ ПРИ ПОМОЩИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ И КОНТАКТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ 218

Шишкова П.О., Медведев И.П.
ПРИЛИВНЫЕ И СОБСТВЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ ВЕЛИКИХ ОЗЕР ПО ДАННЫМ ДЛИТЕЛЬНЫХ ПРИБРЕЖНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ 220

Яковлева Д.А., Башмачников И.Л.
ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС СУБПОЛЯРНОЙ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ 222

СЕКЦИЯ «БИОЛОГИЯ ОКЕАНА» 224

Аксенова В.А., Белевич Т.А.
ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БИОМАССЫ ВОДОРОСЛЕЙ В ТОЛЩЕ ЛЬДА ПРОЛИВА ВЕЛИКАЯ САЛМА БЕЛОГО МОРЯ В РАННЕ-ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД . . . 224

Анцыфорова Л.Ю., Войкина А.В., Бугаев Л.А., Жарынина И.И., Лисовская В.В., Кириченко О.В.
ПОКАЗАТЕЛИ СИСТЕМЫ АНТИОКСИДАНТНОЙ ЗАЩИТЫ У ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ 226

Баяндина Ю.С., Челебиева Э.С., Кирин М.П.
МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ ПОПУЛЯЦИЙ УСТРИЦ В ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ РОССИЙСКОГО СЕКТОРА ЧЁРНОГО МОРЯ228

Беззубова Е.М., Романова Н.Д.
ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ СОСТАВ БАКТЕРИАЛЬНОГО СООБЩЕСТВА ГЛУБОКОВОДНЫХ РАЙОНОВ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ 230

Большаков Д.В., Большакова Я.Ю.
ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЗРОСЛЫХ ОСОБЕЙ И ЛИЧИНОК СВЕТЯЩИХСЯ АНЧОУСОВ РОДА LAMPANYCTUS В ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ЗАПАДНОЙ ЧАСТЯХ ЮЖНОЙ ПАЦИФИКИ 232

Большакова Я.Ю., Большаков Д.В.
МОРФОЛОГИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИЧИНОК СЕМ. STOMIIDAE В ЦЕНТРАЛЬНЫХ ВОДАХ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ 234

Борисова П.Б., Будаева Н.Е.
ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ КОЛЬЧАТЫХ ЧЕРВЕЙ (ANNELIDA) АРКТИКИ 236

Венгер М.П., Болтенкова М.А., Махотин М.С.
ВИРИО- И БАКТЕРИОПЛАНКТОН ОСЕННЕГО ПЕРИОДА В БЕССТОКОВЫХ РАЙОНАХ ДВУХ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ 237

Воронин В.П., Мурзина С.А., Руоколайнен Т.Р., Немова Н.Н., Артеменков Д.В., Рольский А.Ю., Орлов А.М.
ЛИПИДНЫЙ ПРОФИЛЬ ОКУНЯ-КЛЮВАЧА *SEBASTES MENTELLA* МОРЯ ИРМИНГЕРА В ГРАДИЕНТЕ ГЛУБИН 240

Вышкваркова Е.В., Трусевич В.В., Греков А.Н., Кузьмин К.А., Мишуров В.Ж., Журавский В.Ю.
БИОМАРКЕРЫ ПОВЕДЕНЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ МОЛЛЮСКОВ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО БИОМОНИТОРИНГА В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНОЙ СРЕДЫ НЕФТЯНЫМИ УГЛЕВОДОРОДАМИ И БУРОВЫМ ШЛАМОМ 242

Гордеев И.И., Шевляков В.А.
КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТИХООКЕАНСКИХ ВОД В ПЕРИОД ПРЕДАНАДРОМНОЙ МИГРАЦИИ ЛОСОСЕЙ И ОТКОЧЕВКИ ИХ МОЛОДИ В ОТКРЫТЫЕ ВОДЫ 244

Гришина. Д.Ю., Коржавина О.А., Иваненко В.Н.
ОБЗОР РАЗНООБРАЗИЯ И СОСТОЯНИЯ ИЗУЧЕННОСТИ СИМБИОТИЧЕСКИХ КОПЕПОД, ОБИТАЮЩИХ НА ВОСЬМИЛУЧЕВЫХ КОРАЛЛАХ МИРОВОГО ОКЕАНА 246

Дегтяр И.В., Евстигнеев В.П., Серикова И.М., Пионтковский С.А.
БИОТИЧЕСКИЕ И АБИОТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ПОЛЯ БИОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В ЧЕРНОМ МОРЕ В ЛЕТНИЙ СЕЗОН 247

Демчук А.С., Полякова, Н.В., Иванов М.В., Иванова Т.С., Лайус Д.Л.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ХАРАКТЕРА ПИТАНИЯ ТРЕХИГЛОЙ КОЛЮШКИ (GAS- TEROSTEUS ACULEATUS L.) В ПЕЛАГИЧЕСКОЙ И ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНАХ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 249

Евсеева О.Ю.
МШАНКИ (BRYOZOA) СУБЛИТОРАЛИ КОЛЬСКОГО ЗАЛИВА (БАРЕНЦЕВО МОРЕ): СТРУКТУРА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ 251

Еськова А. И., Пономарева А. Л., Легкодимов А. А., Калгин В. Ю., Шакиров Р. Б., Обжиров А. И.
МИКРООРГАНИЗМЫ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮЖНО-КИТАЙСКОГО МОРЯ 253

Жарынина И.И., Лисовская В.В., Кириченко О.В., Войкина А.В., Бугаев Л.А.
СОСТОЯНИЕ АНТИОКСИДАНТНОГО ФЕРМЕНТАТИВНОГО КОМПЛЕКСА ТКАНЕЙ ГИГАНТСКОЙ УСТРИЦЫ ИЗ МАРИКУЛЬТУРНЫХ ХОЗЯЙСТВ КРЫМА 255

Загайнов А. В. , Колючкина Г. А. , Кондарь Д. В.
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕЙОБЕНТОСА ГЕЛЕНЖИКСКОЙ БУХТЫ ЧЕРНОГО МОРЯ 257

Захарова Н.Б., Поважный В.В., Кокоулина П.А.
ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗООПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА МОРЯ ЛАПТЕВЫХ ПО ДАННЫМ UVP (The Underwater Vision Profiler) И СЕТНЫХ ПРОБ В 2018 ГОДУ 259

Зверева А.Ю., Володина А. А.,
ВИДОВОЙ СОСТАВ И ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКРОВОДОРОСЛЕЙ В УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ РЕКИ ПРЕГОЛИ (БАССЕЙН БАЛТИЙСКОГО МОРЯ) . . . 261

Зеленская А.Е., Надточий Е.В., Иванова Т.С., Иванов М.В., Демчук А.С., Лайус Д.Л.
МЕЖГОДОВАЯ ДИНАМИКА ПИТАНИЯ РЫБ В ЗАРОСЛЯХ ВЗМОРНИКА (КАНДАЛАКШСКИЙ ЗАЛИВ, БЕЛОЕ МОРЕ) 263

Кириченко О.В., Лисовская В.В., Жарынина И.И., Бугаев Л.А., Войкина А.В.
МОРФО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АЗОВСКОЙ ТАРАНИ ИЗ РАЗНЫХ АРЕАЛОВ 265

Кудрявцева Е.А., Буканова Т.В., Канапацкий Т.А., Крек А.В.
ТЕНДЕНЦИИ ЭВТРОФИРОВАНИЯ ВОД ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ПО МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ 267

Кузьмичева Т.А., Лобырев Ф.С., Мишин А.В., Большаков Д.В., Щеглова Я.В., Большакова Я.Ю.
МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПЛОТНОСТИ РАННЕЙ МОЛОДИ РЫБ С УЧЕТОМ ЕСТЕСТВЕННОЙ СМЕРТНОСТИ НА ПРИМЕРЕ САЙКИ BOREOGADUS SAIDA (LEPECHIN, 1774) КАРСКОГО МОРЯ 269

Куница А.А., Мамаев М.С., Анофриев А.С., Бурдин А.М.
НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ НАГУЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ СЕРЫХ КИТОВ (ESCHRICHTIUS ROBUSTUS) У СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО САХАЛИНА В 2019-2020 ГГ. 271

Кухарева Т.А., Кладченко Е.С.
ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ ВОДНОЙ СРЕДЫ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ ОРГАНИЗМА НА КОЛИЧЕСТВО АНОМАЛЬНЫХ ЭРИТРОЦИТОВ У ДОННЫХ РЫБ ЧЕРНОГО МОРЯ 272

Лепихина П.П., Кондарь Д.В., Удалов А.А., Мокиевский В.О.
ПЕРВЫЕ СВЕДЕНИЯ О РАСПРЕДЕЛЕНИИ МНОГОКЛЕТОЧНОГО МЕЙОБЕНТОСА В ЗАЛИВЕ БЛАГОПОЛУЧИЯ (НОВАЯ ЗЕМЛЯ, КАРСКОЕ МОРЕ) 274

Лисицына К.Н., Герасимова А.В.
РОСТ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ MACOMA CALCAREA В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ 276

Лисовская В.В., Кириченко О.В., Жарынина И.И., Бугаев Л.А.,Войкина А.В.
СОДЕРЖАНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТОВ В СЫВОРОТКЕ КРОВИ АЗОВСКОЙ ТАРАНИ В НЕРЕСТОВЫЙ ПЕРИОД 278

Лосева В.В., Войкина А.В., Бугаев Л.А., Лисовская В.В., Жарынина И.И.
СОДЕРЖАНИЕ КАРОТИНОИДОВ У МОЛЛЮСКОВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАРИКУЛЬТУРНЫХ ХОЗЯЙСТВ ЧЕРНОГО МОРЯ 280

Любимов И.В., Колючкина Г.А., Беляев Н.А., Мокиевский В.О.
МАКРОЗООБЕНТОС ПОДВОДНЫХ ЛУГОВ ЗОСТЕРЫ ТАМАНСКОГО ЗАЛИВА АЗОВСКОГО МОРЯ 282

Мишин А.В., Кобылянский С.Г., Гордеева Н.В.
РЕЗУЛЬТАТЫ ИХТИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В 79-М РЕЙСЕ НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ» В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ МОРЯ УЭДДЕЛЛА В ЯНВАРЕ-ФЕВРАЛЕ 2020 Г. 284

Мосесян Г.В., Стрижакова Т.В., Дудкин С.И.
УПИТАННОСТЬ ХАМСЫ ENGRAULIS ENCRASICOLUS И ЕЕ ЗАРАЖЕННОСТЬ НЕМАТОДОЙ HYSTEROTHYLACIUM ADUNCUM В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2020 Г. В АЗОВСКОМ МОРЕ 286

Надточий Е.В., Савельев П.Д., Паницина В.А., Демчук А.С., Иванов М.В., Иванова Т.С., Генельт-Яновский Е.А., Лайус Д.Л.
ПОДВОДНЫЕ ИНТЕРВАЛЬНЫЕ СЪЁМКИ КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ И ПОВЕДЕНИЯ РЫБ НА ПРИМЕРЕ АКВАТОРИИ КЕРЕТСКОГО АРХИПЕЛАГА БЕЛОГО МОРЯ 288

Никитенко А.И., Строганов А.Н., Артеменков Д.В., Беляев В.А.
РАЗМЕРНО-ВОЗРАСТНАЯ СТРУКТУРА СКУМБРИИ SCOMBER COLIAS В ЦЕНТРАЛЬНО-ВОСТОЧНОЙ АТЛАНТИКЕ 290

Пастух Я.В., Войкина А.В., Бугаев Л.А., Стрижакова Т.В., Нейдорф А.Р.
ПАРАЗИТОЛОГИЧЕСКИЙ СТАТУС АЗОВСКОЙ ТАРАНИ В НЕРЕСТОВЫЙ ПЕРИОД 292

Пастухов И.А., Ишкулова Т.Г.
СОВРЕМЕННЫЕ ДАННЫЕ О ГИДРОХИМИИ ВОД СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ В ОСЕННИЙ ПЕРИОД 294

Подзорова Д.В., Макаров М.В., Надольный А.А., Ковалёва М.А.
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МАКРОЗООБЕНТОСА В ПРИБРЕЖНОЙ ЧАСТИ КАРКИНИТСКОГО ЗАЛИВА (ЧЁРНОЕ МОРЕ) 296

Подлевских А.Л., Демчук А.С., Иванов М.В., Иванова Т.С., Лайус Д.Л.
ПРОЯВЛЕНИЕ КАННИБАЛИЗМА У ТРЕХИГЛОЙ КОЛЮШКИ (GASTEROSTEUS ACULEATUS L.) В ПЕРИОД НЕРЕСТА В КАНДАЛАКШСКОМ ЗАЛИВЕ БЕЛОГО МОРЯ 298

Пономарева А.А., Шевченко О.Г.
ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ РОДА SKELETONEMA В ЯПОНСКОМ МОРЕ 300

Рауэн Т.В., Багаев А.В.
ОЦЕНКА КОНЦЕНТРАЦИИ И КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА ВЗВЕСИ В СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЕ С ПОМОЩЬЮ ПРОТОЧНОГО ЦИТОМЕТРА 302

Салова В.Д., Гавирова Л.А.
ОЦЕНКА РАЗНООБРАЗИЯ И ЧИСЛЕННОСТИ МИКРООРГАНИЗМОВ В ВОДНОЙ ТОЛЩЕ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ 304

Самарич З.О., Войкина А.В., Бугаев Л.А., Кириченко О.В.
БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ИКРЫ СЕВРЮГИ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ РЫБОВОДНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ 306

Семин В.Л. , Колючкина Г.А. , Любимов И.В. , Басин А.Б. , Симакова У.В.
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МАКРОБЕНТОСА ГЕЛЕНДЖИКСКОЙ БУХТЫ ЧЕРНОГО МОРЯ 308

Смолькова Ольга Викторовна
ОСОБЕННОСТИ ЛИНЕЙНОГО РОСТА ДВУСТВОРЧАТОГО МОЛЛЮСКА MYA ARENARIA LINNE, 1758. В УСЛОВИЯХ ЛИТОРАЛИ БАРЕНЦЕВА И БЕЛОГО МОРЕЙ . . 310

Соломатина А.С, Спиридонов В.А.
КОНЦЕНТРАЦИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В АНТАРКТИЧЕСКОМ КРИЛЕ (EUPHAUSIA SUPERBA) В МОРЕ УЭДДЕЛЛА 312

Сытов А.М., Козлов Д.А.
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРНЫХ ГРУПП АНТАРКТИЧЕСКОГО КРИЛЯ *EUPHAUSIA SUPERBA* В АНТАРКТИЧЕКОЙ ЧАСТИ АТЛАНТИКИ В ЛЕТНЕМ СЕЗОНЕ 2019-2020 ГГ. 314

Тышко А.А., Шатравин А.В., Криницкий М.А.
СВЯЗЬ МЕЖДУ РАЗЛИЧНЫМИ ПОДХОДАМИ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ШУМ В ЗАДАЧЕ ОБНАРУЖЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ДЕЛЬФИНОВ 316

Фёдоров А.В., Бородулина П.А., Лифанчук А.В.
ГОДОВАЯ ДИНАМИКА ФИТОПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА ГОЛУБОЙ БУХТЫ (Г. ГЕЛЕНДЖИК) 2018-2019 ГГ. 318

Фёдоров А.В., Лифанчук А.В.
МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ АДАПТАЦИИ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ К РАЗЛИЧНЫМ СВЕТОВЫМ УСЛОВИЯМ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ . . 320

Шульгина М.А. , Шевченко О.Г.
РЕВИЗИЯ РОДА THALASSIOSIRA (BACILLARIOPHYTA) В ЯПОНСКОМ МОРЕ . . . 322

СЕКЦИЯ «ХИМИЯ ОКЕАНА» 324

Ананян А.С. , Ульянова М.О. , Егошина Е.Д.
ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГАЗОНАСЫЩЕННЫХ ОСАДКОВ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ 324

Бежин Н.А., Довгий И.И., Козловская О.Н., Кременчуцкий Д.А., Шибецкая Ю.Г.
КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ, ПРИРОДНЫХ И КОСМОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ЧЕРНОГО МОРЯ 326

Гребнева Е.А.
ДИНАМИКА СЕЗОННЫХ КОЛЕБАНИЙ ВЕЛИЧИНЫ pH ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПРИДОННЫХ ВОД АКВАТОРИИ ПРИУСТЬЕВОГО ВЗМОРЬЯ РЕКИ ДУНАЙ 328

Григорьев Д.Ю.,Дубинин А.В., Римская-Корсакова М.Н.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА БИОГЕННОГО АПАТИТА И ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ КОНКРЕЦИЙ КАПСКОЙ КОТЛОВИНЫ (АТЛАНТИЧЕСКИЙ ОКЕАН) 330

Зологина Е.Н., Римская-Корсакова М.Н.
РАСТВОРЕННЫЕ Mo, W И V НА ГРАНИЦЕ АЭРОБНЫХ И АНАЭРОБНЫХ ВОД В ЧЕРНОМ МОРЕ 332

Казакова У.А., Полухин А.А.
ОЦЕНКА КОЛИЧЕСТВА ПРЕСНЫХ ВОД РАЗНОГО ГЕНЕЗИСА В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ КАРСКОГО МОРЯ 334

Кодрян К.В., Кивва К.К., Зубаревич В.Л.
ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВОД ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧУКОТСКОГО МОРЯ В АВГУСТЕ 2019 Г. 336

Костылева А.В., Щука А.С., Замятин И.А., Полухин А.А., Чульцова А.Л., Селиверстова А.М., Гусак Г.В., Казакова У.А.
ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ВОД В ЖЕЛОБЕ СВ. АННЫ (КАРСКОЕ МОРЕ) 338

Костылева А.В., Мошаров С.А.
СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА КИСЛОРОДНОЙ СТРАТИФИКАЦИИ ВОД И СОДЕРЖАНИЯ В НИХ ХЛОРОФИЛЛА-А В ЭВФОТИЧЕСКОМ СЛОЕ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ 340

Куринная Ю.С., Орехова Н.А.
РАЗВИТИЕ ЗОН ДЕФИЦИТА КИСЛОРОДА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ В РАЙОНЕ КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА 342

Малахова Л.В., Проскурнин В.Ю., Лобко В.В.
ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА СОДЕРЖАНИЕ ХЛОРОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ РЕКИ ЧЕРНОЙ (СЕВАСТОПОЛЬ, КРЫМ) 344

Майорова А. Ю.
ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИЕ АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ 346

Малахова Т.В., Мурашова А.И.
СУТОЧНАЯ ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРЕННОГО МЕТАНА В ВОДЕ КИСЛОРОДНОГО СЛОЯ ЧЕРНОГО МОРЯ ДЛЯ ГЛУБОКОВОДНОГО И ПРИБРЕЖНОГО РАЙОНОВ (ПО ДАННЫМ 113 РЕЙСА НИС "ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ") . 348

Новиков М.О., Ерёмина Т.Р.
ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАРСКОГО МОРЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕДИЦИИ 2019 ГОДА 350

Пастухов И.А., Намятов А.А.
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ «ФОНОВЫХ» КОНЦЕНТРАЦИЙ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПРИМЕРЕ АНАЛИЗА ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ДАННЫХ НА РАЗРЕЗЕ "КОЛЬСКИЙ МЕРИДИАН" 352

Перевозчикова Д. П., Полунина Ю.Ю., Герб А. А., Володина А.А.
ОСОБЕННОСТИ АБИОТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ Р. ПРЕГОЛЯ (БАЛТИЙСКОЕ МОРЕ) ПОСЛЕ ПРОВЕДЕННЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТ 354

Пронина Ю.О., Полухин А.А.
ИЗМЕНЧИВОСТЬ КАРБОНАТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТНОГО И ПРИДОННОГО СЛОЯ КАРСКОГО МОРЯ 356

Рогожин В.С., Полухин А.А., Якушев Е.В., Семилетов И.П.
ВЛИЯНИЕ СТОКА РЕКИ ЛЕНА НА ГИДРОХИМИЧЕСКУЮ СТРУКТУРУ ВОД ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ В ЛЕТНИЙ СЕЗОН В 2019 ГОДУ 358

Свищев С.В.
КАЖУЩЕЕСЯ ПОТРЕБЛЕНИЕ КИСЛОРОДА В ГЛУБОКОВОДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ БУЕВ БИО-АРГО 360

Селиверстова А.М., Полухин А.А., Чульцова А.Л.
ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ВОД НА ТРАНСАТЛАНТИЧЕСКИХ РАЗРЕЗАХ В 2019-2020 ГГ. 362

Семкин П.Ю., Анисимова Е.В., Барабанщиков Ю.А., Михайлик Т.А., Тищенко П.П.
ИЗОТОПНЫЙ И ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ ОТКЛИК РАЗГРУЗКИ ГРУНТОВЫХ ВОД В ЭСТУАРИИ РЕКИ РАЗДОЛЬНОЙ (АМУРСКИЙ ЗАЛИВ) В ПЕРИОД ЗИМНЕЙ МЕЖЕНИ 364

Степанова С.В., Полухин А.А.
СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ 366

Федулов В.Ю., Беляев Н.А.
ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ТОЛЩИ ВОД КАРСКОГО МОРЯ: СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ 368

СЕКЦИЯ «МОРСКАЯ ГЕОЛОГИЯ» 370

Бубнова Е.С.
СМЕНА ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ В ГДАНЬСКОЙ ВПАДИНЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ КАК ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА 370

Голиков В.А., Криницкий М.А., Борисов Д.Г.
КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ЗЁРЕН ОСАДОЧНЫХ ПОРОД НА МИКРОФОТОГРАФИЯХ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ 372

Гуров К.И.
ДИНАМИКА ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЗАПАДНОГО КРЫМА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ШТОРМОВЫХ УСЛОВИЙ 374

Киреенко Л.А., Козина Н.В., Тихонова А.В.
ПАЛЕОЭКОЛОГИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БЕНТОСНЫХ ФОРАМИНИФЕР В ГОЛОЦЕНЕ В ДАТСКОМ ПРОЛИВЕ 376

Клеванцева Е. В., Гершелис Е.В., Гринько А.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ДОННЫХ ОСАДКОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ШЕЛЬФА МОРЯ ЛАПТЕВЫХ 378

Козина Н.В., Тихонова А.В., Стародымова Д.П., Алексеева Т.Н., Булохов А.В.
ЛИТОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И МИКРОПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ (ПО МАТЕРИАЛАМ 71-ОГО РЕЙСА НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ») 380

Колтовская Е.В., Немировская И.А., Храмцова А.В.
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛЕВОДОРОДОВ В БАРЕНЦЕВОМ И НОРВЕЖСКОМ МОРЯХ 382

Костромина Н.А., Гусев Е.А., Крылов А.А., Крылов А.В.
ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПАЛИНОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ КОЛОНКИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ 384

Кубова В.В., Лейченков Г.Л., Гусева Ю.Б.
КОНТУРИТОВЫЕ НАНОСЫ В БАССЕЙНАХ ПАУЭЛЛ И ДЖЕЙН, МОРЕ УЭДДЕЛЛА386

Кулешова Л.А., Баширова Л.Д., Пономаренко Е.П.
МИГРАЦИЯ ВНУТРИТРОПИЧЕСКОЙ ЗОНЫ КОНВЕРГЕНЦИИ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ СВОЙСТВ ПРИДОННЫХ ВОД В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЭКВАТОРИАЛЬНОЙ АТЛАНТИКИ В ТЕЧЕНИЕ ПОСЛЕДНИХ 513 ТЫСЯЧ ЛЕТ 388

Кулешова Л.А., Баширова Л.Д.
ПОЗДНЕЧЕТВЕРТИЧНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В СООБЩЕСТВЕ БЕНТОСНЫХ ФОРАМИНИФЕР В РАЙОНЕ КОНТУРИТОВОГО ДРИФТА ГАРДАР (СЕВЕРО-ВОСТОЧНАЯ ЧАСТЬ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА) 390

Ласкина Д.Н.
ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПОРТАТИВНОГО РЕНТГЕНО-ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗАТОРА OLYMPUS VANTA-C ДЛЯ АНАЛИЗА ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ДОННЫХ ОСАДКОВ (НА ПРИМЕРЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ И СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ АТЛАНТИКИ) 392

Полтавская Н.А., Гершелис Е.В., Гринько А.А., Рубан А.С., Гусева Н.В., Семилетов И.П.
СОСТАВ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ДОННЫХ ОСАДКОВ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ШЕЛЬФА МОРЯ ЛАПТЕВЫХ ПО МЕТОДУ ROCK-EVAL 394

Пономаренко Е.П., Кулешова Л.А.
РЕКОНСТРУКЦИЯ УСЛОВИЙ ГДАНЬСКОГО БАССЕЙНА В ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ ПО НОВЫМ ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ СЕДИМЕНТАЦИОННЫХ КОЛОНОК 396

Попова Е.А.
НОВЫЕ ДАННЫЕ О СОДЕРЖАНИИ ТЯЖЁЛЫХ МИНЕРАЛОВ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ДОННЫХ ОСАДКАХ ЕВРАЗИЙСКОЙ ЧАСТИ ШЕЛЬФА СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА 398

Рябчук Д.В., Сергеев А.Ю., Прищепенко Д.В., Жамойда В.А., Элькина Д.В., Пискарев А.Л., Баширова Л.Д., Пономаренко Е.П., Буданов Л.М., Григорьев А.Г., Евдокименко А.В
ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ПРОЦЕССЫ СЕДИМЕНТАЦИИ В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА В СРЕДНЕМ – ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ 400

Пугачёва Т.Л., Пономаренко Е.П.
ГЕОХРОНОЛОГИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ: ПОДХОДЫ И ПРОБЛЕМЫ 402

Соснина И.А. , Напреенко-Дорохова Т.В. , Напреенко М.Г. , Сапожников Ф.В.
РАЗВИТИЕ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ В КОРНЕВОЙ ЧАСТИ КУРШСКОЙ КОСЫ ПО ДАННЫМ ДИАТОМОВОГО АНАЛИЗА 404

Сухих Е.А.
ЛИТОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА В ЮЖНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВО-КАРСКОГО РЕГИОНА406

Тихонова А.В.
СОВРЕМЕННЫЕ КОМПЛЕКСЫ БЕНТОСНЫХ ФОРАМИНИФЕР ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ И МОРЯ ЛАПТЕВЫХ. 408

Храмцова А.В., Немировская И.А.
УГЛЕВОДОРОДНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА 410

СЕКЦИЯ «МОРСКАЯ ГЕОФИЗИКА» 412

Белоконь А.Ю., Фомин В.В.
ВЛИЯНИЕ РЕЛЬЕФА ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЫ ЧЕРНОГО МОРЯ НА ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛН ЦУНАМИ 412

Буданов Л.М. , Сергеев А.Ю. , Рябчук Д.В. Крек А.В. , Данченков А.Р.
НОВЫЕ ДАННЫЕ О ДЕГЛЯЦИАЦИИ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА ПО ДАННЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ 414

Василевская Я.А., Соловьева М.А., Ахманов Г.Г., Монтелли А.И.
РЕГУЛЯРНЫЕ МОРЕННЫЕ ГРЯДЫ ВОСТОЧНО-БАРЕНЦЕВОМОРСКОЙ ВПАДИНЫ КАК ИНДИКАТОР ДИНАМИКИ ОТСТУПЛЕНИЯ ЛЕДОВОГО ПОКРОВА 416

Зотов Л.В., Марчукова О.В.
ВРАЩЕНИЕ ЗЕМЛИ И ЭЛЬ-НИНЬО ЮЖНОЕ КОЛЕБАНИЕ 418

Кишанков А.В.
РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ГАЗОНАСЫЩЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА АРКТИЧЕСКИХ АКВАТОРИЙ 419

Кривцов А.Ю., Соловьёва М.А. , Ахманов Г.Г.
СЕЙСМОФАЦИАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ 421

Крылов А.А.
ВЛИЯНИЕ СЛОИСТОЙ ГРУНТОВОЙ ТОЛЩИ НА ВЕРТИКАЛЬНУЮ СОСТАВЛЯЮЩУЮ ПРОХОДЯЩИХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН 423

Лаврентьев К.А., Крылов А.А.
АВТОМАТИЧЕСКОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ МИКРОЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ЗАПИСЯХ ЛОКАЛЬНЫХ СЕТЕЙ СЕЙСМОСТАНЦИЙ 424

Медведева А.Ю.Медведев И.П.
ОЦЕНКА ЦУНАМИОПАСНОСТИ В КАСПИЙСКОМ МОРЕ НА ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТНОГО ПОДХОДА 426

Новиков М.А , Крылов А.А.
АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКИХ ШУМОВ НА ШЕЛЬФЕ И КОНТИНЕНТАЛЬНОМ СКЛОНЕ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ 428

Радюк Е.А., Крылов А.А.
МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕАКЦИИ НАСЫЩЕННЫХ ГРУНТОВ НА ПРОХОЖДЕНИЕ SH-ВОЛНЫ 430

Рукавишникова Д.Д.
ФАКТОРЫ, ПРИВОДЯЩИЕ К ОБРАЗОВАНИЮ ПОДВОДНЫХ ОПОЛЗНЕЙ НА СКЛОНАХ О. САХАЛИН 432

Соловьева М.А., Ахманов Г.Г., Егошина Е.Д., Монтелли А.И.
СВИДЕТЕЛЬСТВА ФЛЮИДОНАСЫЩЕННОСТИ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ОСАДОЧНОГО РАЗРЕЗА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ШЕЛЬФА БАРЕНЦЕВА МОРЯ 434

Цуканова Е.С., Медведев И.П., Медведева А.Ю.
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОКУШИРСКОГО ЦУНАМИ (ХОККАЙДО) 1993 ГОДА 436

СЕКЦИЯ «ЭКОЛОГИЯ МОРЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ» 438

Андреева А.П.
ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ ДОННЫХ ПРИРОДНЫХ КОМПЛЕКСОВ АБРАЗИОННО-ОПОЛЗНЕВОГО БЕРЕГА ПОЛУОСТРОВА АБРАУ 438

Астафурова А.В.
РАЗВИТИЕ ГРАЖДАНСКОЙ НАУКИ В ПОЛЯРНЫХ РЕГИОНАХ С ПОМОЩЬЮ ИНДУСТРИИ ТУРИЗМА КАК ИНСТРУМЕНТА ИССЛЕДОВАНИЯ САМЫХ ТРУДНОДОСТУПНЫХ УГОЛКОВ ПЛАНЕТЫ 440

Березина А.В., Якушев Е.В., Иванов Б.В.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ И ЭКОСИСТЕМНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПЕРЕНОС МИКРОПЛАСТИКА НА ПРИМЕРЕ ОСЛОФЬОРДА 442

Будько Д.Ф., Демина Л.Л.
ГЕОХИМИЧЕСКОЕ ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ОСАДКОВ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ 444

Дроздов В.В., Матюшков С.С.
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МОРСКИХ ЭКОСИСТЕМ С УЧЕТОМ КОЛЕБАНИЙ КЛИМАТА И ОКЕАНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА 447

Ефремова Т.В., Долотов В.В.
ПОСЛЕДСТВИЯ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЮЖНЫЕ И ЗАПАДНЫЕ БЕРЕГА ЧЕРНОГО МОРЯ 449

Жданов И.А.; Пахомова С.В.; ван Бавель Б.
ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРОМЕТРА БЛИЖНЕГО ИНФРАКРАСНОГО ДИАПОЗОНА Micro-NIR ДЛЯ КАЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА МОРСКОГО ПЛАСТИКОВОГО МУСОРА . . 451

Калинская Д. В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЕРЕНОСА ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ PM10 НА ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ НАД ЧЕРНЫМ МОРЕМ 453

Кивва К.К., Мурый Г.П.
ИЗМЕНЧИВОСТЬ В РАСПРЕДЕЛЕНИИ ПРОМЫСЛОВЫХ СКОПЛЕНИЙ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ АРКТИЧЕСКОЙ ТРЕСКИ КАК ИНДИКАТОР АТЛАНТИФИКАЦИИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ 455

Коновалов Д. С.
ИМПАКТНЫЕ ЗОНЫ ВОДОСБОРА БЕЛОГО МОРЯ 457

Кузьмина А. С., Ершова А. А.
ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОМУСОРА НА ПЕСЧАНЫХ ПОБЕРЕЖЬЯХ ФИНСКОГО ЗАЛИВА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НАБЛЮДЕНИЙ 2018-2020 ГГ. 459

Дрост Г.И, Тешебаева К.,Ловцкая О.В., Балыкин Д.Н., Хворова Л.А., Ковалевская Н.М., Кульшин А.В.
МОНИТОРИНГ ДИНАМИКИ ОЗЕР ЦЕНТРАЛЬНОГО ЯМАЛА НА ОСНОВЕ МНОГОСПЕКТРАЛЬНОЙ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ 461

Лапенков А.Е., Поздняков Ш.Р., Ревунова А.В.
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДНОГО БАЛАНСА ВЫСОКОМИНЕРАЛИЗОВАНОГО ОЗЕРА БАСКУНЧАК 463

Леонтьев Ф.А., Орлова М.И., Рябчук Д.В.
НОВЫЕ ДАННЫЕ О ПОДВОДНЫХ ЛАНДШАФТАХ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА: ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА ADRIENNE 465

Лисовский А.Я.
ШУМОВОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОДВОДНОЙ СРЕДЫ, КАК ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА 467

Лобчук О.И., Лазарюк А.Ю., Чубаренко И.П.
МИКРОПЛАСТИК В КЕРНЕ ЛЬДА БУХТЫ НОВИК (АМУРСКИЙ ЗАЛИВ, ЯПОНСКОЕ МОРЕ) 470

Мазур А.Ю., Ивонин Д.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АВТОМАТИЧЕСКОГО СЕГМЕНТИРОВАНИЯ СУДОВЫХ РАЗЛИВОВ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА ПО РАДИОЛОКАЦИОННЫМ СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ РСА SENTINEL-1 472

Мустафина Ф.И., Шарма Р., Черкашёв Г.А.
ОБЗОР РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА И ОСОБЕННОСТЕЙ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ МИРОВОГО ОКЕАНА . . 474

Погожева М.П. , Якушев Е.В.
АНАЛИЗ СВЯЗИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛАВАЮЩЕГО МОРСКОГО МУСОРА С ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ РОССИИ В ОКТЯБРЕ 2020 Г. 476

Полетаев Д.А., Соколенко Б.В., Присяжнюк А.В.
ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОЙ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ МИКРОПЛАСТИКА 478

Салахов Д.О., Пуговкин Д.В.
ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЗЕЛЕНОЙ ВОДОРОСЛИ ENTEROMORPHA INTESTINALES L. БАРЕНЦЕВА МОРЯ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА . 480

Санин Александр Юрьевич
К ВОПРОСУ О РЕКРЕАЦИОННОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УСТЬЕВЫХ ОБЛАСТЕЙ РЕК РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ 482

Свищев С.В.
ПРОСТРАНСТВЕННО-РАСПРЕДЕЛЕННАЯ АДАПТИВНАЯ МОДЕЛЬ АССИМИЛЯЦИОННОЙ ЕМКОСТИ МОРСКОЙ ЭКОСИСТЕМЫ 484

Сильвестрова К.П., Степанова Н.Б.
СОДЕРЖАНИЕ МИКРОПЛАСТИКА В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ В 79 РЕЙСЕ НИС "АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ" 486

Скавинская Н.Ю., Барымова А.А.
СОВРЕМЕННОЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ШЕЛЬФОВОЙ ЧАСТИ ХАРАСАВЭЙСКОГО ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (КАРСКОЕ МОРЕ, 2020) 488

Суворова И.В. , Постникова А.Н., Коростелева А.Н.
НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ВЫБРОСАМИ МОРСКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ НА ПОБЕРЕЖЬЕ КРЫМА В 2019 Г. 490

Филиппова Т.А., Васечкина Е.Ф.
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА ПЛОСКОЙ УСТРИЦЫ 492

Якушкин Л.Е., Пелевин В.В., Завьялов П.О.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО ЛАЗЕРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ МОРСКОГО МУСОРА, ВЗВЕШЕННОГО В ПРИПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ 494

СЕКЦИЯ «ФИЗИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОКЕАНА» 496

Аглова Е.А., Глуховец Д.И.
БИООПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОРСКОЙ ВОДЫ У КРОМКИ ЛЬДА В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ ЛЕТОМ 2020 ГОДА 496

Глуховец Д.И., Гольдин Ю.А.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОЖЕСТВЕННОЙ РЕГРЕССИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА А ПО СПЕКТРАМ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ 498

Кириллов В.В. , Ловцкая О.В. , Хворова Л.А. , Ковалевская Н.М. , Ефанов А.В
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ СПУТНИКОВ SENTINEL-2 И LANDSAT-8 ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ВЗВЕСИ, ХЛОРОФИЛЛА И ПЕРВИЧНЫХ ГИДРООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБСКОЙ ГУБЫ 500

Казаков А. С., Чернышков П. П.
ДИНАМИКА БИОМАССЫ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТУНЦА В ТРОПИЧЕСКОЙ АТЛАНТИКЕ В СВЯЗИ С ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ 502

Кивва К.К., Воробьёва О.В., Орлова С.Ю., Кодрян К.В., Педченко А.П.
ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХЛОРОФИЛЛА «А» В МОРЯХ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕДИЦИИ НИС «ПРОФЕССОР ЛЕВАНИДОВ» 2019 ГОДА 503

Кубряков А.А., Станичный С.В.
ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ОСЕДАНИЯ ЧАСТИЦ В ЧЕРНОМ МОРЕ И ЕЁ СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ БУЕВ БИО-АРГО . . 505

Кубрякова Е.А., Кубряков А.А., Микаэлян А.С.
ЗИМНИЕ ЦВЕТЕНИЯ КОККОЛИТОФОРИД В ЧЕРНОМ МОРЕ: МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ И ФАКТОРЫ ЕЕ ВЫЗЫВАЮЩИЕ 507

Кузьмина С.К., Лобанова П.В.
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЧИСТОЙ ПРОДУКЦИИ ПЛАНКТОНА (СООБЩЕСТВА) В АТЛАНТИЧЕСКОМ ОКЕАНЕ И ЕЁ СВЯЗЬ С ФИЗИЧЕСКИМИ И БИОЛОГИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ СРЕДЫ 509

Малышева А.С., Лобанова П.В.
ВОССТАНОВЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ УДЕЛЬНОЙ СКОРОСТИ ФОТОСИНТЕЗА КАК ФУНКЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ И ХЛОРОФИЛЛА-А В АКВАТОРИЯХ С РАЗЛИЧНЫМИ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ НА ПРИМЕРЕ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА 511

Маховиков А.Д., Лобанова П.В.
СРАВНЕНИЕ МОДЕЛЬНЫХ ОЦЕНОК ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ ПО СПУТНИКОВЫМ И СУДОВЫМ ДАННЫМ В ЯПОНСКОМ МОРЕ 513

Минский И.А., Серикова И.М., Пионтковский С.А., Евстигнеев В.П.
СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТОНКОЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ПОЛЯ БИОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В ЧЕРНОМ МОРЕ 515

Муравья В.О., Артемьев В.А.
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СХОДА ЛЬДА НА СТРАТИФИКАЦИЮ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ В КАРСКОМ МОРЕ ПО ДАННЫМ, ПОЛУЧЕННЫМ В ЭКСПЕДИЦИЯХ 2019 И 2020 ГОДОВ НА НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ» 517

Платова А.Г., Пелевин В.В.
ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХЛОРОФИЛЛА А, ОРГАНИКИ И ВЗВЕСИ В ВЕРХНЕМ СЛОЕ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ ПО ДАННЫМ ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО ЛИДАРА 519

Райкина А.О., Корчёмкина Е.Н.
СЕЗОННЫЙ ХОД ФАКТОРОВ ФОРМЫ СПЕКТРАЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ЯРКОСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ В УСЛОВИЯХ ЦВЕТЕНИЯ КОККОЛИТОФОРИД 520

Юшманова А.В., Глуховец Д.И.
СВЯЗЬ ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА ВЗВЕШЕННЫМИ ЧАСТИЦАМИ С КОНЦЕНТРАЦИЕЙ ХЛОРОФИЛЛА В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ И АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ 522

СЕКЦИЯ «ОКЕАНОЛОГИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ» . . 524

Анисимов И.М., Лесин А.В., Муравья В.О., Тронза С.Н.
ПОСТРОЕНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ЗАТОПЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ДАННЫМ ПОДВОДНОЙ ФОТО И ВИДЕО СЪЕМКИ 524

Маевский А.М., Горелый А.Е.
ГРУППОВОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ И ГЛАЙДЕРОВ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОГРАФИИ 526

Конюхов И.В., Воробьева О.В.
ПОРТАТИВНЫЙ ФЛУОРИМЕТР «TUBBY_FRR-430» ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ХЛОРОФИЛЛА «А» И ФЕОФИТИНА «А» В ЭКСТРАКТАХ И ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ КУЛЬТУР ОДНОКЛЕТОЧНЫХ ВОДОРОСЛЕЙ 528

Ржепка Т.П., Троицкая Е.С., Макаров М.М., Ольшуков А.С., Кучер К.М. , Наумова Е.Ю.
ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕР-ТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗООПЛАНКТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПО-ГРУЖНОЙ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ КАМЕРЫ 530

Рябкова М.С., Титченко Ю.А., Мешков Е.М., Караев В.Ю., Беляев Р.В., Яблоков А.А., Баранов В.И., Очередник В.В., Куклев С.Б., Епанова К.С., Блинов Е.С., Парамонов Г.С., Индисов А.И., Литвинова Ю.Н., Зайчикова И.А.
ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВОЛНЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ АКУСТИЧЕСКОГО ВОЛНОГРАФА В ЧЕРНОМ МОРЕ И СРАВНЕНИЕ С БУЕМ SPOTTER 532

Шатравин А.В.
ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ФЛУКТУАЦИИ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО КАНАЛА В МЕЛКОМ МОРЕ 534

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ШТОРМОВЫХ УСЛОВИЙ НА ЗАГЛУБЛЕНИЕ ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЫ СЕЗОННОГО ТЕРМОКЛИНА

Коржуев В.А.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

genzak30@gmail.com

Ключевые слова: сезонный термоклин, турбулентность, бароклинный слой, модель Крауса-Тёрнера.

Турбулентность играет важную роль в вертикальном обмене и переносе свойств и вещества. Большинство процессов в океане тем или иным образом связаны с турбулентными движениями, поэтому возрастающее внимание, уделяемое исследованию турбулентности, диктуется научными и практическими задачами геофизики.

Теория термоклина в настоящий момент является центральной проблемой океанографии. Сущность проблемы заключается в сложности описания вертикальной структуры бароклинного океана. По этому вопросу существуют различные точки зрения, выполнено множество исследований, однако проблема до сих пор не разрешена.

Целью работы является определение явной зависимости заглубления верхней границы сезонного термоклина под влиянием штормовых условий. Оценка данного параметра была произведена с помощью одномерной модели сезонного термоклина Крауса-Тёрнера [1].

Во время выполнения поставленной задачи был проведен скрупулезный анализ процессов, наблюдающихся в бароклинном слое до и после шторма. Ощутимое влияние на заглубление верхней границы оказывают такие факторы, как перемешивание внутри слоя, создаваемое постоянными течениями и слабыми ветрами, солнечное излучение, внутренняя конвекция, испарение и другие. Главным новшеством данной работы, по сравнению с работой Крауса-Тёрнера, является более современный способ оценки механической энергии, переходящей от ветра в водный слой, а также детальный расчет уравнений теплового баланса.

Система двух уравнений модели К-Т в данной работе является основной [1]:

$$\begin{cases} \frac{dTs}{dt} = \frac{2}{h^2}[(S+B)h - (G + \frac{S}{\beta})] \\ \frac{dh}{dt} = \frac{1}{(Ts-Th)h}[2(G+\frac{S}{\beta}) - (S+B)h)], \end{cases}$$

где T_S - температура поверхности воды, T_h - температура на измеряемом горизонте, h - глубина перемешанного слоя, S - приток тепла в слой, B - потери тепла, G - полная механическая энергия, поступающая в слой, β - масштабный коэффициент.

Полная механическая энергия с учетом размерности является интегрированной по глубине суммой трех источников турбулентной энергии [2, 3]:

$$G* = \frac{1}{g\alpha}\int_0^z [P_{Sh}(z) + P_W(z) + qP_{Br}(z)]dz,$$

где $P_{Sh}(z)$ - характеризует генерацию турбулентной энергии сдвигом скорости течения, $P_W(z)$ - генерация турбулентной энергии необрушивающимися волнами, $P_{Br}(z)$ - генерация турбулентной энергии обрушивающимися волнами, q - вероятность обрушений.

Тепловой баланс определяется как сумма S - проникающего компонента солнечной радиации и B - потери тепла. Для параметра B определяется соотношение:

$$B = Q_{eff} + Q_{isp} + Q_{kont},$$

где Q_{eff} - эффективное излучение поверхности моря, Q_{isp} - теплоотдача за счет испарения, Q_{kont} - контактный турбулентный обмен с атмосферой.

Экспериментальные данные, позволяющие верифицировать рассмотреную выше модель Крауса-Тёрнера, были собраны в июне 2019 г. во время проведения экспедиционных работ на стационарной океанографической платформе Черноморского гидрофизического подспутникового полигона Морского гидрофизического института РАН в п.г.т. Кацивели.

Составляющие теплового баланса были оценены с использованием данных, полученных при помощи метеорологического комплекса *Davis*, характеристики волнения регистрировались струнным волнографом, вклады различных механизмов генерации турбулентной энергии расчитывались в соответствии с зависимостями из [2, 3]. Процесс прохождения шторма через регион оценивался по скорости ветра выше 8 м/с, которая определялась чашечным анемометром на высоте 20 м. По его показаниям были зарегистрированы два последовательных шторма, со скоростями ветра до 15 и 17 м/с соответственно. Профили температуры для верификации модели определялись с помощью измерительного комплекса «Сигма-1» [4].

В ходе исследования получены следующие результаты:

– определена функциональная зависимость, позволяющая количественно оценивать скорость и величину заглубления верхней границы сезонного термоклина под действием штормовых условий;

– показано, что вклад механической энергии ветра во время шторма по сравнению с притоком тепловой энергии из атмосферы является доминирующим;

– на основе измерений сделана оценка величины заглубления верхней границы сезонного термоклина после прохождения в исследумой области двух штормов;

– рассчитаны относительные вклады различных источников турбулентной энергии.

Результаты работы показывают, что термоклинная теория Крауса-Тёрнера может быть доработана и улучшена для более точного описания и прогнозирования стратификации бароклинного слоя в океане.

Список литературы

1) Turner J.S., Kraus E.B., A one-dimensional model of seasonal thermocline II. The general theory and it's consequences //Woods Hole Oceonagraphic Institution, Woods Hole, Massachusetts, 1965.
2) Чухарев А. М., Модель турбулентности со многими временными масштабами для приповерхностного слоя моря //Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2013. Т. 439 С. 477-488.
3) Чухарев А.М., Вклад необрушивающихся ветровых волн и сдвига скорости дрейфового течения в турбулентный обмен //Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2003. Т. 39. С. 673–679.
4) Самодуров А.С. [и др.], Измерительный комплекс «Сигма-1» для исследования мелкомасштабных характеристик гидрофизических полей в верхнем слое моря // Морской гидрофизический журнал. 2005. № 5. С. 60-71.

О ВЛИЯНИИ СЕВЕРОАТЛАНТИЧЕСКОГО И ВОСТОЧНО-АТЛАНТИЧЕСКОГО КОЛЕБАНИЙ НА ЗАВИХРЕННОСТЬ ПОЛЯ ВЕТРА В ЧЕРНОМОРСКОМ РЕГИОНЕ

Аверьянова Е.А., Губарев А.В.

ФГБУ «Институт природно-технических систем», г. Севастополь

eisal@mail.ru

Ключевые слова: Североатлантическое колебание, Восточно-Атлантическое колебание, межгодовая изменчивость, завихренность касательного напряжения трения ветра, Черное море, реанализ.

Изучение региональных проявлений глобальных климатических мод представляет большой интерес и может быть использовано для решения проблемы долгосрочных прогнозов погоды в условиях современных климатических изменений. Североатлантическое (САК) и Восточно-Атлантического колебания (ВАК) - основные сигналы, определяющие межгодовую изменчивость гидрометеорологических полей над Европой, включая Черноморский регион [1,2]. Завихренность касательного напряжения трения ветра (ЗКНТВ) определяет характер общей циркуляции вод в Черном море, контролирует вертикальный тепло- и массообмен в водной толще [3,4]. Поэтому в данной работе изучается влияние САК и ВАК на ЗКНТВ над регионом Черного моря.

Использовались срочные данные ре-анализа MERRA2 [5] по компонентам вектора ветра (U,V), по которым рассчитывались среднемесячные величины ЗКНТВ, и ряд ежемесячных значений индексов САК и ВАК за 1980-2019 гг. [6]. Для каждого месяца строились временные ряды индексов САК и ВАК, удалялись значимые линейные и полиномиальные тренды 2-6 порядков. Кроме того, исследовалось влияние нестационарности по дисперсии рядов индексов САК и ВАК. Для выборок годов, соответствующих положительной и отрицательной фазам СК, строились средние по выборке поля ЗКНТВ и разностный композит как разность между ними. Далее значимость полученного сигнала (композита) на уровне 95% оценивалась по критерию Манна-Уитни.

Оказалось, что в месяцы, когда ряды САК стационарны по дисперсии (март, апрель, сентябрь), поля композитов ЗКНТВ имеют схожую структуру. Для марта результат незначим, а для апреля и сентября в положительную фазу САК, получено значимое усиление циклонической завихренности в восточной части моря. В месяцы, когда ряды САК нестационарны по дисперсии, влияние САК на ЗКНТВ над Черным морем наиболее ярко проявляется в осенний период в восточной части моря. Оно заключается в усилении циклонической завихренности в положительную фазу САК, а в ноябре-декабре в западной части моря проявляется противоположная тенденция. Показано, что для оценки влияния САК на ЗКНТВ в Черноморском регионе не следует проводить усреднение по холодному полугодию, т.к в отдельные месяцы этого периода структура полей резко меняется. В холодные месяцы года (с ноября по февраль), когда ряды ВАК нестационарны по дисперсии, над большей частью акватории Черного моря в отрицательную фазу ВАК усиливается циклоническая завихренность. Эта же тенденция наблюдается над большей частью акватории Черного моря в положительную фазу ВАК в теплый период года (с июля по сентябрь), как для стационарных, так и для нестационарных рядов. Подтверждено, что влияние ВАК на Черноморский регион более ярко выражено, чем САК.

Работа выполнена в рамках темы госзадания 0012-2019-0007 Фундаментальные и прикладные исследования закономерностей и механизмов формирования региональных изменений природной среды и климата под влиянием глобальных процессов в системе океан-атмосфера и антропогенного воздействия.

Список литературы

1) Полонский А.Б., Кибальчич И.А. Циркуляционные индексы и температурный режим Восточной Европы в зимний период // Метеорология и гидрология. 2015. №1. С. 5-17.

2) Нестеров Е.С. О Восточно-Атлантическом колебании циркуляции атмосферы // Метеорология и гидрология. 2009. №12. С. 32-40.

3) Pedlosky J. Geophysical Fluid Dynamics. Springer, 1979. 624 p.

4) Михайлова Э.Н., Полонский А.Б., Шокурова И.Г. О связи интенсивности циркуляции в Черном море с завихренностью поля ветра // Украинский гидрометеорологический журнал. 2013. № 12. С. 193–203.

5) Ronald G., McCarty W., Suarez M.J. et al. The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications,Version 2 (MERRA-2) // Journal of climate. 15 July 2017. Vol. 30. P. 5419–5454.

6) Standardized Northern Hemisphere Teleconnection Indices // Электронный источник ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/wd52dg/data/indices/tele_index.nh (дата последнего обращения 14.01.2020)

ИССЛЕДОВАНИЕ АПВЕЛЛИНГОВ В ЧЕРНОМ МОРЕ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ И МОДЕЛИ NEMO

Алескерова А.А., Кубряков А.А., Станичный С.В., Мизюк А.И.

ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН»

Annete08@mail.ru

Ключевые слова: апвеллинг, Черном море, Landsat, модель NEMO

Апвеллинг играет важную роль в процессах вертикального и горизонтального обмена. В бесприливном Черном море апвеллинг является естественным процессом, который способствует очищению прибрежных вод [1], что очень важно для рекреационной привлекательности побережья. Важную роль апвеллинги оказывают и на биологическую активность в прибрежных районах, где при их возникновении увеличивается биологическая продуктивность[2].

В работе использовался массив данных о яркости восходящего излучения со спутника Landsat и сканера MODIS с 2003 по 2019 гг. Использовалась также региональная конфигурация модели NEMO [3] с высоким пространственным разрешением, позволяющая воспроизводить мезо- и субмезомасштабную изменчивость гидрофизических полей в морях каскада. Модель описывает динамику Мраморного, Черного и Азовского морей с разрешением около 1.157 км в меридиональном направлении, а вдоль параллели разрешение меняется равномерно от 1100 на севере до 1230 м на юге. Проведенный численный эксперимент позволил воспроизвести особенности вертикальной структуры вод бассейна для периода 2008-2009 гг [4].

В данной работе исследуется мелкомасштабная структура апвеллингов по спутниковым данным с высоким пространственным разрешением и их вертикальная структура по данным модели NEMO. Для этого сопоставлялись ежевневные спутниковые данные среднего разрешения с данными, полученными по модели NEMO о ТПМ за 2008-2009 гг. Получено качественное соответствие этих данных по времени и пространству, т.е. совпадает время возникновения апвеллингов и направление их распространения.

В данной работе были отобраны случаи возникновения апвеллингов на СЗШ, у берегов Крыма и Турции по ежесуточным данным MODIS и VIRS. Апвеллинги выделялись по контрастным данным о ТПМ, в среднем разность температур окружающих вод и вод апвеллинга составляла 3-4 °C. Было проанализировано влияние ветра на возниконвение апвеллингов у различных берегов Черного моря. По спутниковым данным Landsat изучалась тонкая структура апвеллингов, а именно возникновение субмезомасштабных вихрей на их периферии. По модельным данным были выполнены разрезы в районах наблюдения апвеллингов и исследована их вертикальная структура в поле температуры и солености.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 19-05-00479, гранта РФФИ № 19-05-00752 и гос. задания № 0555-2021-0006

Список литературы

1) Горячкин Ю. Н. Апвеллинг у берегов Западного Крыма //Морской гидрофизический журнал. – 2018. – Т. 34. – №. 5 (203).

2) Структура и межгодовая изменчивость характеристик прибрежного черноморского апвеллинга на основе данных спутникового мониторинга / Р. В. Боровская [и др.] // Ис- следование Земли из космоса. 2008. № 2. С. 26–36.

3) Madec G., NEMO System Team. NEMO ocean engine. Issue 27. Scientific Notes of Climate Modelling Center. Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL). 2016. 412 p.

4) Мизюк А. И., Коротаев, Г. К., Григорьев, А. В., Пузина, О. С., Лишаев, П. Н. Долгопериодная изменчивость термохалинных характеристик Азовского моря на основе численной вихреразрешающей модели //Морской гидрофизический журнал. – 2019. – Т. 35. – №. 5 (209).

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Ананьева А.А., Тюлькина Д.С., Лактионов П.П.

280 Центральное картографическое производство ВМФ, г. Санкт-Петербург

anna251096@yandex.ru

Ключевые слова: Балтийское море, физика океана, спутниковая океанография, температура воды, ТПО.

Для мониторинга климатических изменений используются как продолжительные временные ряды измеряемых гидрометеорологических величин, так и данные дистанционного зондирования, для комплексной оценки исследуемых регионов [1]. Но из-за недостаточности данных, связанных с облачностью, а также с нерегулярностью данных во времени и плохим пространственным разрешением, существует ограничение в более детальном исследовании [2]. Поэтому важно производить сравнение поверхностных температур гидрометеорологических станций Балтийского моря и результатов дистанционного зондирования, что выполнено в данной работе.

Исходными данными для выполнения исследований являлись временные ряды следующих характеристик за период с 2010 года по 2018 год: среднегодовые значения реанализа NOAA NCDC ERSST температуры поверхности воды (ТПО) в сетке 2°x2° с временным разрешением мгновенной съемки 6 часов акватории Балтийского моря (14 узлов) [3] и среднегодовые спутниковые данные сканера MODIS (Aqua и Terra) с пространственным разрешением 4 км, уровень обработки L3. Значения дневной температуры поверхности моря были восстановлены по длинноволновому тепловому излучению. Для обработки и визуализации получаемых данных, в виде карт распределения температур в исследуемых точках на поверхности исследуемого моря, использовались программные обеспечения Panoply и Surfer.

В данной работе было проведено сопоставление спутниковых данных в точках сетки 2°x2° с данными гидрометеорологических станций. При анализе за период 2010-2018 гг. были выявлены различия в полученных значениях температуры поверхности воды Балтийского моря. Разность температуры воды по натурным данным и спутника меняется от 0,9 до 4,3 °C. Была получена положительная разность, то есть значения температур, полученных со спутника выше, чем результаты гидрометеорологических станций. Можно предположить, что отклонения более 2 °C связано с сильным дневным прогревом тонкого верхнего слоя воды [2]. Максимальные разницы температур зафиксированы в 2010 и 2018 гг. со значениями равными 4,3 °C и 3,3 °C соответственно. В 2017 году была отмечена минимальная разница температур равная 0,9 °C. Данные отклонения можно объяснить следующими характеристиками, а именно: плохим пространственным разрешением спутниковой системы, разной глубиной съемки (для натурных данных - 1 м, а для спутника - тонкий поверхностный слой воды). Средняя разность температур поверхности воды, полученных разными методами, составила 2,4 °C, что свидетельствует о расхождении данных в значениях, но при этом, сохраняется динамика в межгодовой изменчивости за исследуемый период времени. Для визуального анализа были построены карты поверхностных температур и их отклонений за весь исследуемый период на акватории Балтийского моря. Полученные результаты позволяют выявить районы, где больше всего наблюдалось аномалий при сравнении данных, что можно использовать для дальнейших исследований.

Данные спутникового зондирования помогают отслеживать межгодовую изменчивость температурного режима Балтийского региона. При их использовании наиболее правильно исключать из рассмотрения случаи, когда возникает сильный прогрев тонкого верхнего слоя. Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что при исследовании необходимо проводить комплексную оценку температурного режима Балтийского моря.

Список литературы

1) Тюлькина Д.С., Хаймина О.В. Величина интегрального климатического индекса для Балтийского моря: фактические изменения и оценка качества прогноза // Комплексные исследования Мирового океана. Материалы V Всероссийской научной конференции молодых ученых, г. Калининград, 18-22 мая 2020 г. М.: АО ИО РАН, 2020. С. 183-184.

2) Мысленков С.А., Кречик В. А., Соловьев Д. М. Анализ температуры воды в прибрежной зоне Балтийского моря по спутниковым данным и измерениям термокосы. // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. — 2017. — № 364. — С. 159 – 169.

3) http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCDC/.ERSST/.version5/.sst/T/

СУБМЕЗОМАСШТАБНЫЕ ВИХРИ В НОРВЕЖСКОМ И ГРЕНЛАНДСКОМ МОРЯХ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Артамонова А.В., Козлов И.Е.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

artamonowa.anastasya2011@yandex.ru

Ключевые слова: субмезомасштабные вихри, спутниковые радиолокационные изображения, Норвежское море, Гренландское море

Норвежское и Гренландское моря - это районы с высокой вихревой активностью, что играет важную роль в перераспределении вод между Атлантическим и Северным Ледовитым океаном, а также в распределении биогенных элементов [1, 2]. Исследование впервые совместно рассматривает субмезомасштабные вихри Норвежского и Гренландского морей по данным радаров с синтезированной апертурой в теплый период года с минимальным ледовым покровом.

В данной работе представлены результаты анализа поверхностных проявлений субмезомасштабных вихревых структур в областях свободных ото льда по данным радара с синтезированной апертурой Envisat ASAR за период с мая по октябрь 2007 года в Норвежском и Гренландском морях. Всего проанализировано 730 радиолокационных изображений.

В ходе исследования идентифицировано 3327 поверхностных проявлений вихрей открытой воды, из которых наибольшее количество (1121) зарегистрировано в мае, 810 в июне, 499 в июле, 532 в августе, 218 в сентябре и 47 в октябре. Количество антициклонических вихрей составило 1627, а циклонических 1600. Средний диаметр вихрей составил 13,9 км. Средний диаметр антициклонических и циклонических вихрей отличается незначительно (13,98 и 13,85 соответственно). Максимальный диаметр вихря составил 154 км, минимальный - 158 м. Максимальный диаметр антициклонического и циклонического вихря отличаются незначительно (154 км и 143 км соответственно). Минимальный диаметр циклонического вихря составил 862 м, антициклонического - 158 м. Вихри наблюдались над глубинами от 26 м до 3776 м, со средним значением 1817 м. Вихри располагались в основном на свалах глубин и на границах крупных течений, так, например, крупные скопления вихрей обнаружены вдоль границы Норвежской котловины, вдоль хребта Мона, на границе Восточно-Исландского и Северо-Атлантического течений, в Датском проливе.

В целом можно сказать, что отличительной особенностью поверхностных проявлений вихрей в исследуемом регионе за период с мая по октябрь 2007 года является незначительное различие среднего и максимального диаметров антициклонических и циклонических вихрей, а также незначительное различие количества этих вихрей.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ №18-35-20078 мол_а_вед.

Список литературы

1) Hansen C., Kvaleberg E., Samuelsen A. Anticyclonic eddies in the Norwegian Sea; their generation, evolution and impact on primary production // Deep-Sea Research I. 2010. Vol. 57. P. 1079–1091.

2) Bashmachnikov I.L., Kozlov I.E., Petrenko L.A., Glok N.I., Wekerle C. Eddies in the North Greenland Sea and Fram Strait from Satellite Altimetry, SAR and High-Resolution Model Data // J. Geophys. Res: Oceans. 2020. Vol. 125.

КОЛИЧЕСТВЕННОЕ СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ В БАРЕНЦЕВОМ И КАРСКОМ МОРЯХ, С ДАННЫМИ ИЗ ГЛОБАЛЬНЫХ СПУТНИКОВЫХ И МОДЕЛЬНЫХ АРХИВОВ

Атаджанова О.А., Зимин А.В.

Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН, г. Москва

oksanam07@list.ru

Ключевые слова: Баренцево море, Карское море, Aqua Modis, Suomi NPP VIIRS, NASA SMAP, температура, соленость, модифицированное расстояние Хаусдорфа

В настоящее время для различных исследований активно используются глобальные архивы данных (спутниковые и модельные), которые находятся в открытом доступе в сети Интернет. Такие данные применяются исследователями при решении различных задач научно-прикладного характера, считаясь верифицированными для всех районов Мирового океана. Однако большинство из них дают лишь приблизительную оценку полей океанологических величин, что приводит к необходимости создания простой и универсальной методики оценки качества таких данных путем сопоставления их с независимыми in situ наблюдениями («эталонными» данными).

Целью данной работы является создание алгоритма количественной оценки соответствия данных из глобальных архивов с «эталонными» данными судовых наблюдений и его апробация на данных, полученных в арктических морях России в разные годы на разных сетках.

В работе используются два типа in situ наблюдений по температуре и солености, выполненных на регулярной и нерегулярной сетках станций. К данным на регулярной сетке относятся in situ данные, полученные в южной части Баренцева моря на полигоне в ходе экспедиций НИС «Академик Сергей Вавилов» в период с 9 по 12 сентября 2005 г. и на полигоне НИС «Академик Мстислав Келдыш» с 29 октября по 2 ноября 2018 г. Измерения на этих полигонах проводились на одинаковой сетке станций и в одном и том же районе, что позволит проследить, насколько изменилась способность воспроизведения гидрологических полей используемыми продуктами в одном и том же регионе спустя более чем 10 лет. К данным на нерегулярной сетке относятся результаты измерений в юго-западной части Карского моря в ходе экспедиции НИС «Профессор Леванидов» с 15 по 27 сентября 2019 г.

В качестве спутниковых данных использовались данные температуры поверхности моря Aqua Modis и Suomi NPP VIIRS, а также данные по солености NASA SMAP. Привлекался глобальный архив температуры морской поверхности GHRSST OSTIA. В качестве модельных данных по температуре и солености по глубине (для четырех рассматриваемых горизонтов: поверхность или 10 м (в зависимости от продукта), 50, 75 и 100 м) использовались MERCATOR PSY4QV3R1 и CMEMS GLORYS12v1.

На предварительном этапе на основе исходных данных формировались композитные (кумулятивно, в зависимости от дня измерений) и/или осредненные (за период исследования) массивы в зависимости от типа сетки. Для полигонов с регулярной сеткой станций все исходные поля приводились к единой пространственной сетке, за основу было взято расположение станций судовых измерений на полигонах. Все поля для каждого из продуктов были интерполированы методом линейной интерполяции. Для полигона с нерегулярной сеткой станций интерполяция на сетку не проводилась, выбирались значения в точках, наиболее близким по координатам к точкам in situ измерений.

Алгоритм количественного сравнения состоял непосредственно из двух этапов. На первом этапе работ производилось сравнение разных наборов данных используемых продуктов с in situ наблюдениями по горизонтам для каждого полигона на основе статистических расчетов. Выполнялось сравнение композитных (или осредненных за период) и «эталонных» данных по средним по полю

значениям характеристик и их пространственной дисперсии, рассчитывались средние аномалии и функции расхождения, а также коэффициенты корреляции пространственных полей для каждого набора данных и in situ измерений.

На втором этапе выполнялось пространственное сравнение полей путем расчета модифицированного расстояния Хаусдорфа (MHD) [1], которое позволяет количественно оценить в км отклонение (расстояние) между выбранными изолиниями продуктов и соответствующих изолиний «эталонных» данных. Оно часто используется для количественной оценки сходства между пространственным распределением моделируемых и контрольных скалярных полей различных гидрометеорологических параметров.

Подробные результаты работы будут представлены в докладе. Однако, стоит отметить, что все продукты отражали лишь общие тенденции изменения распределения температуры и солености, имея хорошую корреляцию, но при этом большинство данных имело большие расхождения по абсолютным значениям. Наилучшим продуктом для полигонов в Баренцевом море для воспроизведения температуры на поверхности является продукт OSTIA, при этом CMEMS GLORYS12v1 и MERCATOR PSY4QV3R1 с достаточной точностью воспроизвели поля солености. Для полигона в Карском море температуру и соленость на поверхности лучше воспроизвели спутниковые архивы на основе VIIRS и SNAP.

Работа выполнена в рамках государственного задания №0128-2021-0014.

Список литературы

1) Зимин А.В., Атаджанова О.А., Коник А.А., Гордеева С.М. Сравнение результатов наблюдений, выполненных в Баренцевом море, с данными из глобальных океанологических баз // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2020. Т. 13, № 4. С. 66–77. doi: 10.7868/S2073667320040061

ЛАБОРАТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОБРУШЕНИЙ ВОЛН НА РАССЕЯНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННОГО СИГНАЛА

Байдаков Г.А.[1,2], **Кандауров А.А.**[1], **Русаков Н.С.**[1], **Поплавский Е.И.**[1], **Троицкая Ю.И.**[1]

[1]*ИПФ РАН, Нижний Новгород, Россия*

[2]*ИФА им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия*

baydakov@ipfran.ru

Ключевые слова: лабораторное моделирование, ветровые волны, обрушение волн, скаттерометр, доплеровский спектр

В работе рассматриваются предварительные результаты серии лабораторных экспериментов по исследованию характеристик обрушения поверхностной волны на подводном препятствии при различных заглублениях и скоростях воздушного потока, а также влияние обрушений на обратное рассеяние радиолокационного сигнала. В эксперименте, проводимом на обновленном ветро-волновом канале ИПФ РАН, в контролируемых лабораторных условиях создавался искусственно обрушающийся гребень поверхностной волны, особенности фрагментации которого при различных скоростях ветра изучались с помощью сложной техники визуализации. На первом этапе были выполнены лабораторные эксперименты, в которых исследованы способы создания обрушающейся волны на лабораторной установке высокоскоростного ветро-волнового канала ИПФ РАН. На основе анализа результатов предварительных экспериментов была выбрана оптимальная методика, обеспечивающая регулярное создание обрушающегося гребня волны в фиксированном месте в контролируемый момент времени. Она основана на обрушении поверхностной волн, генерируемых волнопродуктором, на подводном препятствии в виде пластины. Пластина длиной 120 см располагалась на расстоянии 10 м от входного сечения канала, оптимальный угол наклона пластины к горизонту составлял 11,7 градусов. Оптимальное заглубление пластины изменялось от 13.5 см до 21.5 см при изменении скорости ветра U_{10} от 17.8 м/с до 40.1 м/с для обеспечения регулярного интенсивного обрушения волн в рабочей области без осушения участков поверхности. Использовался импульсный режим работы волнопродуктора, при этом волновой пакет, содержащий три периода волны с частотой - 1.042 Гц и амплитудой 93 мм генерировались каждые 15 секунд. Радиолокационные измерения проводились с использованием допплеровского радиоскаттерометра X-диапазона с длиной волны 3,2 см. Их целью является исследование вклада зоны обрушений волн в общее рассеяние радиолокационного сигнала различных поляризаций с использованием скаттерометра, позволяющего проводить одновременные измерения на двух соосных и двух перекрестных поляризациях (HH, VV, HV, VH), что является важным при условии сильно недвумерной поверхности со сложной реологией, поскольку позволяет сравнивать не статистические характеристики, а временные записи сигналов на разных поляризациях напрямую. Были проведены пробные измерения рассеяния микроволнового излучения на области обрушения волны на соосной и ортогональной поляризациях при различных скоростях ветра (U_{10} от 15 до 42 м/с) и углах зондирования (от 30 до 50 градусов от надира). Для интерпретации наблюдаемого радиолокационного сигнала непосредственно перед крылом был установлен струнный волнограф, регистрирующий форму волны перед её набегом на крыло и дальнейшим обрушением. Обнаружено, что генерируемые при обрушении волны структуры на поверхности воды имеют характерный размер порядка единиц сантиметров и имеют существенную эффективную площадь рассеяния. При сильном ветре, когда искусственная генерация волн происходит на фоне регулярно обрушающегося ветрового волнения, она оказывает меньшее влияние на рассеянный сигнал. При этом после прохождения через исследуемую область обрушающегося гребня длинной волны, обратное рассеяние от водной поверхности уменьшается по сравнению с фоновым значением, наблюдаемом при хаотичном обрушении. При этом на усредненной по ансамблю реализаций спектрограмме выраженные пики в интервале частот 30-45 Гц наблюдаются как на прямой, так и на перекрёстной

поляризациях только при прохождении обрушающихся волн. Рассчитаны спектры сигнала, полученного при прохождении одного гребня обрушающейся волны и усредненные по всему ансамблю реализаций. Спектр сигнала на прямой поляризации обладает более выраженным максимумом по сравнению со спектром сигнала на перекрестной поляризации, что наблюдалось и при длительном накоплении сигнала в режиме ветрового волнения без волнопродуктора.

Работа Байдакова Г.А., связанная с радиолокационными методами измерений проводилась при поддержке гранта РНФ 20-77-00097. Работа по проектированию системы подводных препятствий и контактные измерения выполнены при поддержке грантов РФФИ 19-05-00366 и 19-05-00249.

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЯ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В ЮЖНОМ ОКЕАНЕ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ РСА SENTINEL-1 A/B

Бакуева Я.И., Козлов И. Е.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

Yasya1egupova@gmail.com

Ключевые слова: короткопериодные внутренние волны, спутниковая радиолокация морской поверхности, прикромочная ледовая зона, Южный океан

Внутренние волны (ВВ) играют важную роль в горизонтальном и вертикальном турбулентном обмене, способствуют перемешиванию поверхностных и глубинных вод, переносу морских организмов, донных осадков и загрязнений. Это явление обычно встречается в устойчиво стратифицированных водах океанов, морей и крупных пресноводных водоёмов [1]. Обычно ВВ имеют высоту 5-20 м, периоды от нескольких минут до нескольких часов, длины - от нескольких метров до километров, фазовую скорость - до десятков см в секунду, распространяются группами (цугами) с количеством волн до нескольких десятков [2]. Спутниковые радиолокаторы с синтезированной апертурой (РСА) позволяют изучать ВВ по реакции характеристик взволнованной морской поверхности на их прохождение. Распространение ВВ сопровождается формированием поля вертикальных течений, горизонтальные компоненты которого приводят к возникновению выраженных зон конвергенции и дивергенции на морской поверхности. Последние приводят к модуляции гравитационно-капиллярных поверхностных ветровых волн и создают на морской поверхности, а соответственно и на радиолокационном изображении, картину в виде квазипараллельных чередующихся светлых и тёмных полос [3]. В последнее десятилетие ведется активная работа по исследованию поля короткопериодных внутренних волн (КВВ) в арктической полярной области на основе спутниковых наблюдений и контактных измерений. При этом сведения о характеристиках поля КВВ для Южного океана отсутствуютр [4].

В настоящей работе представлены первые результаты наблюдения КВВ в Южном океане в акватории морей Уэддела, Лазарева, Содружества, Космонавтов и Скоша, полученные в ходе анализа массива спутниковых изображений SAR-C Sentinel-1 A/B за летний период в южном полушарии в момент максимального ледотаяния в этих районах. Всего было рассмотрено 400 радиолокационных изображений за февраль 2020 г. Анализ спутниковых данных позволил выделить различные по своим характеристикам пакеты КВВ и определить основные районы их распространения. Общее число случаев регистрации поверхностных проявлений КВВ в морях Уэддела, Лазарева и Космонавтов оказалось значительно меньшим, чем для акватории моря Скоша, что, по-видимому, объясняется меньшей суммарной за период наблюдений площадью открытых ото льда участков моря, а также меньшей неоднородностью рельефа (все вышеуказанные моря являются окраинными, в отличие от моря Скоша). Внутренние волны наблюдались в виде пакетов уединенных волн при средней ширине пакета около 35 км. Средняя длина волны в пакетах КВВ составила 15 км., количество волн в цугах около 5-6. Максимальное количество наблюдений ВВ приходится на район вблизи пролива Дрейка восточнее Антарктического полуострова. Преобладающим направлением распространения внутренних волн на акватории является юго-западное.

Исследование выполнено в рамках государственного задания 0555-2021-0003

Список литературы

1) Morozov E.G., Kozlov I.E., Shchuka S.A., Frey D.I. (2017), Internal tide in the Kara Gates Strait, Oceanology, Vol. 57, №1, p. 8-18. https://doi.org/10.1134/S0001437017010106

2) Kozlov I.E., E.V. Zubkova, V.N. Kudryavtsev (2017), Internal solitary waves in the Laptev Sea: first results of spaceborne SAR observations, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, Vol. 14(11), p. 2047-2051, https://doi.org/10.1109/LGRS.2017.2749681

3) Fer I., Koenig Z., Kozlov I.E., Ostrowski M., Rippeth T.P., & Padman, L., et al. (2020). Tidally forced lee waves drive turbulent mixing along the Arctic Ocean margins. Geophysical Research Letters, 47, e2020GL088083. https://doi.org/10.1029/2020GL088083

4) Zimin A.V., Kozlov I.E., Atadzhanova O.A., Chapron B. (2016). Monitoring short-period internal waves in the White Sea. Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics, Vol. 52, Issue 9, p. 951-960.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВДОЛЬБЕРЕГОВОГО ПОТОКА НАНОСОВ У ПОБЕРЕЖЬЯ БАЛТИЙСКОЙ КОСЫ

Белова П.М.[1], **Корзинин Д.В.**[2]

[1]*Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, Москва*

[2]*Институт Океанологии имени П.П. Ширшова РАН, Москва*

pbelova97@mail.ru

Ключевые слова: Балтийск, пляж, берег, потоки наносов, расход наносов, аккумуляция, шторм.

В данном исследовании произведено моделирование вдольберегового потока наносов на Балтийской (Вислинской) косе южнее морского порта Балтийска. Актуальность исследования обусловлена прикладными задачами обеспечения безопасности и проходимости Балтийского пролива и фундаментальными исследованиями эволюции аккумулятивного рельефа береговой зоны. Литодинамический режим у побережья косы издавна и по сей день активно изучается рядом исследователей [1], [2]. На Балтийской косе берега в основном стабильны, с признаками процессов аккумуляции, за исключением участка севернее Балтийска, где происходит интенсивный размыв косы [1]. В корневой части Балтийской косы действует вдольбереговой поток в восточном направлении (до 50 тыс. м^3/год), а на остальном побережье - в западном (более 100 тыс. м^3/год) [2]. Разница объемов поступающего и выносимого материала в поперечном направлении компенсируется вдольбереговыми потоками, и в итоге бюджет наносов оказывается почти сбалансированным [2].

В период с мая 2019 года по июль 2020 года на участке Балтийской косы протяженностью 600 м вдоль берега осуществлялись мониторинговые наблюдения за изменением аккумулятивного рельефа береговой зоны. В первую половину, рассматриваемого периода (до марта 2020 г) на подводном береговом склоне наблюдался параллельный берегу подводный вал, а с марта 2020 г подводный вал был расчленен в плане на несколько серповидных валов, сдвинутых к берегу до 100 м относительно исходного положения. Целью данного исследования является определение интенсивности вдольберегового переноса во время каждого из временных сегментов между измерениями рельефа.

Для расчета ёмкости вдольберегового потока наносов использовалась математическая модель LONT-2D, разработанная И.О. Леонтьевым и примененная для района северного побережья Калининградского п-ва и Куршской косы [3]. В качестве батиметрической основы использовалась навигационная карта южной части Балтийского моря ГУНиО масштаба 1:50 000 - 25051 «Подходы к Балтийску и Калининграду». Была создана регулярная прямоугольная сетка 2,5×9,2 км со стороной ячейки 116 м на участок к югу от порта Балтийска, с которой были взяты средние глубин для каждой ячейки. Медианный диаметр песчаных наносов в модели был принят за 0,35 мм [4].

Для расчета вдольберегового переноса была проведена подготовка данных реанализа волнения ERA5 из открытого ресурса ECMWF [5] для точки с координатами 55° с.ш. 19.5° в.д. Были проанализированы волноопасные направления: от юго-юго-западного до северо-северо-восточного. В работе рассматриваются 5 временных сегментов между натурными наблюдениями на косе с мая 2019 года по июль 2020 года длительностью от 17 дней до 120 дней. Для точки были рассчитаны: 1) средние высоты волн по градациям; 2) средневзвешенный период волн по градациям; 3) суммарное количество часов для каждого направления. Эти данные были занесены в итоговые сводные таблицы, считываемые при моделировании. Далее в среде MATLAB на основе батиметрической сетки, таблиц данных о волнении и размерности наносов были рассчитаны и построены кривые градиента емкости потока наносов вдоль берега за каждый временной сегмент для каждого волноопасного направления и суммарно по всем направлениям.

Исходя из полученных графиков расхода вдольберегового потока наносов, можно сделать следующие выводы:
1) Вдоль исследуемого участка Балтийской косы превалирует северо-восточный вдольбереговой поток наносов, преимущественно за счет волнений западных и западо-юго-западных румбов. Это обусловлено, как наибольшей повторяемостью в течение всех сегментов западных штормов, так и близким к 45° углом подхода волн к берегу.
2) К стабильному, однако сравнительно слабому перемещению наносов в юго-западном направлении во все временные сегменты приводят волнения северной и северо-северо-западной направленности, что обусловлено углом подхода волн к берегу: 30° и 60° соответственно.
3) В основном, для различных временных сегментов параметры вдольберегового переноса мало отличаются друг от друга. Сильные отличия выявлены только для зимне-весеннего периода, когда в перерасчете на единицу времени количество переносимого вдоль берега материала увеличивается в 3-4 раза. Таким образом, можно предположить, что эволюция внешнего подводного вала от вытянутого вдоль берега к серповидному, во многом связана с постепенной миграцией вала в сторону берега, а не с изменением интенсивности вдольберегового переноса осадков в различные периоды. При этом на данном участке косы было подтверждено наличие зоны аккумуляции, как и в исследовании В.П.Бобыкиной [1], поскольку в течение года наблюдается схождение вдольбереговых потоков в 3 км южнее порта Балтийска, их ослабление и разгрузка. Здесь наблюдается северо-восточный вдольбереговой поток, что указывает на расположение в корневой части косы, однако полученная нами емкость потока на участке достигает 150 м^3/год за 2019-2020гг, что втрое превышает данные исследования И.О.Леонтьева [2].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научно-исследовательского проекта РФФИ «Зависимость морфодинамики песчаного берега от особенностей деструктивной и восстановительной фаз шторма», проект № 18-05-00741.

Список литературы

1) Бобыкина В.П. Антропогенный фактор в морфологии и динамике берегов Балтийской (Вислинской) косы // Матер. Второй междунар. науч.-практ. конф. «Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов» (Калининград, 15—17 октября 2014 г.). Калининград, 2014. С. 174—176.

2) Леонтьев И.О. Прогнозирование развития берега в масштабе столетия на примере Вислинской косы. // Океанология. 2012. Т. 52. № 5. С. 757–767.

3) Леонтьев И.О., Акивис Т.М. Моделирование вдольбереговых потоков наносов у юго-восточного побережья Балтики. // Береговая зона – взгляд в будущее: Материалы XXV международной береговой конференции. Т.1. М.: ГЕОС, 2014. – с.81-84.

4) Бобыкина В.П. Межгодовые вариации состава пляжных отложений Вислинской косы / В.П. Бобыкина, П.М. Жураховская // Ученые записки Русского географического общества (Калининградское отделение), т. 11, 2010 (CD-ROM версия и W-представление). – С. 4В1-4В8.

5) ECMWF ERA5 reanalysis datasets: [Электронный ресурс]. URL: https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5. (Дата обращения: 25.11.2020).

ИСКУССТВЕННЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В ЗАДАЧЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ И РАЗМЕРОВ СОЛНЕЧНОГО ДИСКА НА ШИРОКОУГОЛЬНЫХ ФОТОГРАФИЯХ НЕБОСВОДА

Борисов М.А.[1] **, Криницкий М.А.**[2]

[1] *Московский физико-технический институт (НИУ), г. Долгопрудный*

[2] *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва*

borisov.ma@phystech.edu

Ключевые слова: Нейросеть, атмосфера океана, облачность

Настоящая работа посвящена исследованию атмосферы над океаном. На сегодня существует несколько алгоритмов для оценки балла общей облачности (БОО) по фотоснимку видимой полусфера неба: «Cloud Index»(1), «Sky Index» (2), «Brightness Index»(3) и другие(4). Каждый из этих алгоритмов характерен своими достоинствами, среди которых можно упомянуть скорость исполнения для «Cloud Index» или «Sky Index», а также повышенную точность, например, для схемы «Brighness Index» в сравнении с двумя предыдущими методами.

В качестве одного из наиболее часто упоминаемых недостатков современных алгоритмов оценки БОО можно указать неспособность различать облачность и диск солнца на снимке. Результатом этой особенности может стать превышение оценки БОО до одного балла в зависимости от размера солнечного диска. Как следствие, современные схемы оценки приходящей коротковолновой радиации по баллу облачности могут завышать приходящий поток до 40 Вт/м^2. Таким образом, систематическая ошибка в учете диска солнца в качестве облака может приводить к существенной переоценке приходящей коротковолновой радиации на поверхности океана.

Кроме того, в современных исследованиях показано, что расположение и размеры диска солнца на фотоснимке видимой полусферы неба сильно влияют на точность оценки БОО. В частности, показано, что учет эффектов рассеяния Релея в атмосфере может существенно повысить точность оценки БОО(5). В исследовании Yang et al.(5) учет этих эффектов реализован с помощью вычитания фона, получаемого в ситуации, когда диск солнца располагается в позиции, идентичной наблюдаемой. Одним из принципиальных недостатков современных схем, реализующих фильтрацию эффектов рассеяния Релея, является неспособность определения положения и размеров диска солнца на снимке. В некоторых случаях эту проблему можно решать, зная астрономическое положение светила на небосводе. Однако в случае подвижной платформы в условиях качки при наблюдениях в море этот метод неприменим. В настоящем исследовании предлагается метод определения положения и размеров солнечного диска на широкоугольных цифровых снимках видимой полусферы небосвода с использованием свёрточных нейронных сетей.

Для решения данной задачи была собрана обучающая выборка, состоящая из набора фотоснимков, на которых наблюдается диск солнца. Каждому фотоснимку поставлены в соответствие координаты и диаметр изображения солнечного пятна. Фотоснимки, составляющие основу собранного набора данных, взяты в следующих морских рейсах: АИ-45, АИ-49 и АИ-52 (НИС «Академик Иоффе»), АНС-31 (НИС «Академик Николай Страхов»), АБП-42 (НИС «Академик Борис Петров»), АМК-70 и АМК-79 (НИС «Академик Мстислав Келдыш»). Основные маршруты экспедиций пролегали в регионах Северной Атлантики. Экспедиции АНС-31 и АБП-42 проходили в центральных регионах Индийского океана, а также в Средиземном море и в Северо-восточной части Атлантического океана. Экспедиция АМК-70 проходила в Северной Атлантике и морях Северного Ледовитого океана. Маршруты рейсов АМК-79 и АИ-52 пересекали Атлантический океан от западного побережья Европы до восточного побережья Южной Америки. Фотографии видимой полусферы небосвода были получены с помощью установки SAIL Cloud (4). Общее количество изображений, собранных в вышеперечисленных рейсах, превышает 1‘000‘000. Количество размеченных снимков превышает 2500.

Для решения задачи определения положения и размера диска солнца на снимке была сформирована модель на базе искусственной нейронной сети (ИНС). Сконструированная ИНС была обучена на размеченных данных. В результате тренировки нейросети был получен алгоритм, основанный на данных. Обученная нейронная сеть с высокой точностью определяет положение и размеры солнечного пятна на снимках.

Предложенный метод может быть использован в качестве одного из важных этапов алгоритмов оценки балла общей облачности по широкоугольным цифровым оптическим снимкам видимой полусферы небосвода. Сведения о положении и размере диска солнца на снимке могут повысить качество оценки БОО, снижая переоценку за счет корректного учета солнечного пятна, а также за счет корректного учета эффектов рассеяния Релея в атмосфере.

Госзадание №0128-2021-0003 "Крупномасштабные, волновые и вихревые океанские процессы и роль океана в формировании климата: междекадная эволюция циркуляции, гидрофизических полей океана и потоков на границе океан-атмосфера в условиях меняющегося климата"

Список литературы

1) Long C.N. et al. Retrieving Cloud Characteristics from Ground-Based Daytime Color All-Sky Images // J. Atmos. Oceanic Technol. American Meteorological Society, 2006. Vol. 23, № 5. P. 633–652.

2) Yamashita M., Yoshimura M., Nakashizuka T. Cloud cover estimation using multitemporal hemisphere imageries // International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2004. Vol. 35, № 7. P. 826–829.

3) Yamashita M., Yoshimura M. Analysis on light quantity and quality based on diverse cloud conditions // Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci. 2014. Vol. XL–7. P. 203–208.

4) Krinitskiy M. et al. On the Generalization Ability of Data-Driven Models in the Problem of Total Cloud Cover Retrieval // Remote Sensing. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2021. Vol. 13, № 2. P. 326.

5) Yang J. et al. A total sky cloud detection method using real clear sky background // Atmospheric Measurement Techniques. 2016. Vol. 9, № 2. P. 587–597.

ПОВЕДЕНИЕ ЧАСТИЦ ПЛАСТИКА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ЛЬДА

Бочерикова И.Ю.[1,2], **Чубаренко И.П.**[2]

[1]*Балтийский Федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград*

[2]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

bocherikova_ irinka@rambler.ru

Ключевые слова: микропластик, лёд, лабораторный эксперимент.

Проблема пластикового загрязнения наиболее остро встала в последние десятилетия. С развитием новых технологий, люди придумывают все новые виды и формы полимеров (PBTL, PPV, BPA и т.д.), которые в окружающей среде распадаются на всё более мелкие частички. Пластик разлагается в природных условиях 450 лет и более, вредит окружающей среде и неизбежно влияет и на самого человека.

Натурные исследования показали, что концентрация частиц микропластика в морских льдах существенно выше, чем в водной толще [1]. Количество единиц микропластика на литр снега со льдин сравнимо с величиной с загрязнения микропластиком на поверхности океанической воды в центрах больших океанских мусорных пятен [2], где концентрация может достигать миллиона микрочастиц на кубометр [3]. В частности, в исследование Бергманн и соавторов (2019) подверглись анализу пробы снега со льдин в проливе Фрам, в которых впоследствии было обнаружено 0-14,4 $\times$ 10^3 частиц микропластика на литр снега [4]. Во льдах Арктики преобладают частицы микропластика с положительной плавучестью. Во всей водной толще Арктики наблюдаются минимальные различия в концентрациях микропластика, за исключением глубоководных областей Лабрадорского моря, а также Северной Атлантики (южнее острова Исландия) [5]. Нашей задачей было изучение взаимодействия плавучих пластиковых частиц (из пенополистирола, полиэтилена, полипропилена) с формирующимся льдом.

В лабораторных условиях воспроизведён процесс замерзания пресной воды, на поверхности которой плавают экспериментальные частицы пластика (шарики пенополистирола (диаметр 6 мм), бруски и пластины полиэтилена и полипропилена (характерный размер до 1 см)). Все пластики гидрофобны, поэтому изначально частицы располагаются на поверхности воды, заметно деформируя её поверхность. Поверхностное натяжение удерживает частицы выше уровня, соответствующего балансу силы тяжести и силы Архимеда. При замерзании льда частицы пластика могут и выдавливаться ещё выше над поверхностью льда, и покрываться льдом с одной или нескольких сторон, и оказываться на индивидуальных «постаментах» изо льда. Количественные измерения подъёма/опускания частиц относительно поверхности из-за формирования льда осложняются тем, что поверхность льда вокруг частиц всегда деформирована: как и плёнка поверхностного натяжения, поверхность льда заметно «прогибается» под пластиковыми частицами. Проведено сравнение картины деформаций поверхности вокруг частиц различных пластиков в зависимости от его гидрофобности (краевого угла смачивания). Отмечено, что частицы связаны со льдом очень слабо и при малейшем усилии отделяются/смещаются. Проведены эксперименты с замерзанием частиц как в пресной воде, так и в морской (соленой) воде, с целью выяснения разницы в поведении частиц микропластика при разных условиях. Структура пресного и солёного льда существенно различается, однако заметной разницы в распределении частиц микропластика эксперименты пока не выявили.

В реальных морских условиях ветроволновое или конвективное перемешивание в верхнем слое воды может увлекать частицы с небольшой положительной плавучестью под поверхность, в толщу вод. Наблюдаемые процессы выталкивания и удержания частиц пластика на поверхности действительно способствуют их концентрации на/у поверхности льда при его формировании.

Исследования выполнены при поддержке РНФ (грант №19-17-00041).

Список литературы

1) Kanhai, L.D.K., Gardfeldt, K., Krumpen, T., Thompson, R.C., O'Connor, I. (2020) Microplastics in sea ice and seawater beneath ice floes from the Arctic ocean. Scientific reports. 10, 1-11. https://doi.org/10.1038/s41598-020-61948-6

2) Bergmann, Melanie, et al. "High quantities of microplastic in Arctic deep-sea sediments from the HAUSGARTEN observatory." Environmental science & technology 51.19 (2017): 11000-11010. https://doi.org/10.1021/acs.est.7b03331

3) Peeken, Ilka, et al. "Arctic sea ice is an important temporal sink and means of transport for microplastic." Nature communications 9.1 (2018): 1-12. https://doi.org/10.1038/s41467-018-03825-5

4) Bergmann, Melanie, et al. "White and wonderful? Microplastics prevail in snow from the Alps to the Arctic." Science Advances 5.8 (2019): eaax1157.

5) Mountford, Alethea Sara, and MA Morales Maqueda. "Modelling the accumulation and transport of microplastics by sea ice." Journal of Geophysical Research: Oceans (2020): e2020JC016826.

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ЛЕДОВЫЕ УСЛОВИЯ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ (2004-2020)

Буканова Т.В., Крек Е.В., Стонт Ж.И.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

tatiana.bukanova@gmail.com

Ключевые слова: климатические изменения, Балтийское море, ледяные поля, площадь морского льда, температура воздуха, температура поверхности моря

Ледовый режим Балтийского моря определяется географическим положением и климатическими условиями отдельных его районов, интенсивностью теплообмена открытой части моря с заливами и Северным морем. Климатические изменения глобального масштаба привели к резкому изменению ледовых условий. За последние 20 лет снизилась частота суровых зим, которые приводили к наибольшему покрытию Балтийского моря льдом. Максимальная площадь ледяного покрова уменьшается со скоростью 3400 км^2 за 10 лет [1]. Лед появляется на Балтике каждый год, хотя интенсивность явления носит переменный характер. Продолжительность ледового сезона на севере составляет от 4 до 7 месяцев. Появление морского льда вдоль Польского и Калининградского побережий наблюдается только во время морозной зимы, тогда как открытое море обычно свободно ото льда [2, 3].

Работа выполнена на основе изучения рядов наблюдений гидрометеорологических характеристик (2004-2020 гг.) в юго-восточной части Балтийского моря: температуры воздуха (Та), температуры поверхности моря (ТПМ) и площади морского льда у побережья. Район исследования представляет собой акваторию площадью 18045 км^2, ограниченную с запада 19°в.д., с севера 56°с.ш., а с юга и востока берегом. Для оценки ледовых условий были использованы радиолокационные изображения (РЛИ) со спутников, оснащенных радаром с синтезированной апертурой (РСА), который чувствителен к шероховатости морской поверхности. Обнаруженные ледяные поля были оцифрованы в программном пакете ArcGIS 10.0. Всего за период исследования «холодных» сезонов (с 1 декабря по 31 марта) 2004-2020 гг. было проанализировано 840 РЛИ, на 165 из них был обнаружен лед. При анализе использовались данные о ветре (направление и скорость), температуре воздуха, получаемые с АГМС, установленной на морской платформе D6, расположенной в 22 км от берега.

За период исследования выявлены следующие особенности: 1) 4 года практически не наблюдались ледяные поля (2007-2008; 2008-2009; 2014-2015; 2018-2019). Сумма градусо-дней мороза (СГДМ) не превышала 60 °С; 2) 4 года ледяные поля были хорошо выражены, СГДМ от 250 до 295 °С. Средняя температура зимнего сезона отрицательная (от -0.1° в 2005-2006 гг. до - 1.4 °С в 2010-2011 гг.; сумма дней покрытия до 63 дней, площадь ледяного покрова более 2500 км^2. Максимальная площадь ледяного покрова наблюдалась в акватории в сезон 2010-2011 гг. (24 февраля 2011 г.) - 15725 км^2; 3) льдообразование в юго-восточной части Балтийского моря начинается преимущественно во второй половине января - начале февраля. Средняя продолжительность наблюдения морского льда - 22 дня за сезон. В отдельные годы льда не наблюдалось. Самый ледовитый месяц - февраль - средняя продолжительность наблюдения льда в феврале составляет 10 дней, далее идет январь - 7 дней. Средняя продолжительность наблюдения льда в марте составляет 4 дня, в декабре - меньше 1 дня; 4) вероятность наблюдения морского льда со спутника в 1 км зоне от побережья Куршской косы составляет для декабря - 1%, для января - 2.8%, для февраля - 7%, для марта - 1.3%. В 100-метровой зоне вероятность наблюдения льда в декабре составляет 2%, в январе - 8%, в феврале - 10%, в марте - 3%. Также в феврале наблюдается максимальное распространение льда по акватории исследований, в отдельные годы достигая почти 100%.

Выявленные пространственно-временные изменения ледового режима и их тенденции определяются последствиями климатических изменений в юго-восточной части Балтийского моря. За период исследования средняя годовая температура воздуха (Ta) составила 8.9±0.6 °C, что превысило среднегодовое значение середины XX века на 1.5 °C. Максимум среднегодовой Ta наблюдался в 2019 г. (9.9 °C), минимум - 7.2 °C в 2010 г. [4, 5]. Среднегодовая ТПМ равна 10.3±0.3 °C. Самые высокие среднегодовые значения ТПМ (10.6-10.8 °C) наблюдались в 2008 г. и 2014-2019 гг. Самые низкие среднегодовые ТПМ (9.8-9.9 °C) выявлены в 2009-2012 гг., тогда же наблюдаются минимальные значения среднегодовой температуры воздуха и максимальные площади распространения морского льда [4, 5]. В годовом ходе температуры воздуха, минимум сместился на февраль и составил -0.4 °C, что на 1.6 °C выше, чем в январе (-2.0 °C) прошлого столетия. Причина смещения минимума - изменения циркуляционных условий, приведших к усилению в феврале роли восточной составляющей переноса, вызывающей понижение температуры воздуха. Минимум в годовом ходе ТПМ приходится на февраль и март (2.6 °C и 2.7 °C соответственно) [6]. Именно февраль отмечен как самый ледовитый месяц с максимальной средней продолжительностью наблюдения льда 10 дней. В целом суммарное изменение температуры воздуха и поверхности воды за 15 лет (2005-2019 гг.), соответствующее линейному тренду, составляет +0.6 °C и +0.2 °C соответственно. В связи с устойчивым ростом температуры воздуха и воды закономерно сокращается площадь морского льда, наблюдаемого в районе исследования. Для максимальных площадей ледяного покрова выявлен отрицательный тренд - 112.5 км^2/год [4, 5].

Анализ выполнен при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 19-45-390012). Сбор данных выполнен в рамках государственного задания ИО РАН № 0128-2021-0012.

Список литературы

1) BACC II Author Team. Second assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin. Regional Climate Studies, 2015. Bolle H.-J., Menenti M., Rasool S. I. (eds), Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht. London. 501 p.

2) Dyrcz Cz. Zlodzenie morza Bałtyckiego w latach 2000–2018 / Ice conditions in the Baltic Sea in the years 2000–2018 // Nautologia. 2019. No. 156. P. 10–16.

3) Girjatowicz J.P. Ice Conditions on the Southern Baltic Sea Coast // J. Cold Reg. Eng. 2011. 25:1-15.

4) Стонт Ж.И., Буканова Т.В., Крек Е.В. Изменчивость климатических характеристик прибрежной части Юго-Восточной Балтики в начале XXI века // Вестник БФУ им. Канта. 2020. № 1. С. 81-94.

5) Крек Е.В., Стонт Ж.И., Буканова Т.В. Распространение морского льда в юго-восточной части Балтийского моря по спутниковым радиолокационным данным (2004–2019 гг.) // Океанологические исследования. 2020. Т. 48. № 2. С. 18-33.

6) Stont Z.I., Bukanova T.V. General features of air temperature over coastal waters of the southeastern Baltic Sea for 2004-2017 // Russian Journal of Earth Sciences, vol 19, no. 3 (current), 2019.

ЗАТОКИ ЧЕРНОМОРСКИХ ВОД В АКВАТОРИЮ АЗОВСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Василенко Н.В., Кубряков А.А., Алескерова А.А., Медведева А.В., Станичный С.В.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

nadinkot.nk@gmail.com

Ключевые слова: Азовское море, Черное море, Керченский пролив, водообмен, дистанционное зондирование, спутниковые снимки

Азовское море представляет собой мелководный водоем полузамкнутого типа, для которого характерна относительно низкая соленость, интенсивное перемешивание, высокая мутность вод и повышенное содержание в них хлорофилла-а [2]. На юге акватории осуществляется основной водообмен через Керченский пролив с Черным морем, который в значительной степени влияет на изменения оптических и термохалинных характеристик вод Азовского моря [1].

В настоящей работе затоки Азовоморских вод в Черное море исследуются по спутниковым измерениям и модельным данным. Существенные отличия в гидрооптических характеристиках вод Азовского и Черного моря позволяют идентифицировать затоки Черноморских вод в акваторию Азовского моря по данным дистанционного зондирования [3]. В настоящей работе использовались ежесуточные спутниковые данные среднего разрешения MODIS Aqua [5], содержащие информацию о яркости восходящего излучения, концентрации хлорофилла-а и температуре поверхностного слоя для выявления случаев распространения черноморских вод в Азовском море за период 2003-2020 гг. Модель NEMO имеет пространственное разрешение 1,16 км, и результатами ее вычисления является характеристика полей солености для Черного, Азовского и Мраморного морей за период 2008-2009 гг. [4]. Для выбранных случаев проводился анализ гидрометеорологических условий - скорость и направление ветра по данным NCEP с 6-часовой дискретностью [6].

Сложность идентификации Черноморских затоков в акватории Азовского моря связана с активным влиянием стока реки Кубань, чьи воды значительно отличаются по ряду характеристик от азовоморских. Поэтому выполнялось сопоставление данных о яркости восходящего излучения (на длине волны 551 нм) с данными о концентрации хлорофилла-а, так как содержание хлорофилла-а в черноморских водах значительно ниже. В случае поступления черноморских вод в акваторию Азовского моря, а не распространения кубанских вод, наблюдается одновременно как резкое снижение значений яркости восходящего излучения (разница от 0,5 и выше до 2,5 Вт/м2·стер·мкм), так и концентрации хлорофилла-а (контраст достигает 2-15 мг/м^3).

Случаи поступления черноморских вод в Азовском море фиксируются ежегодно за исследуемый период, но носят эпизодический характер. Так, в частности, по данным ИСЗ MODIS Aqua выявлялось в среднем около 3-5 явных случаев в год продолжительностью 1-3 суток, из которых более половины приходится на холодное время года. Так как данные MODIS Aqua имеют пробелы из-за дней с облачным покровом в исследуемом районе, дополнительно привлекалась численная гидродинамическая модель NEMO. По полученным данным модели NEMO выделяется более 20 случаев в год (25 и 22 для 2008 и 2009 гг. соответственно) с продолжительностью от 1-2 до 5-7 суток и равномерным распределением по сезонам. При сопоставлении выявленных случаев по спутниковым и модельным данным наблюдается 4 отчетливых совпадения в 2008 г. и 5 отчетливых совпадений в 2009 г. Несколько ситуаций поступления черноморских вод в Азовское море, полученных по результатам модели, по спутниковым данным распознаются неуверенно или совпадение вовсе отсутствует. Остальные случаи затоков по модели NEMO приходятся на дни с развитым облачным покровом над районом исследования.

Анализ спутниковых данных выявил, что в целом черноморские воды после транспорта через Керченский пролив могут быть обнаружены в центральной, в восточной и юго-восточной частях Азовского моря, причем наиболее часто осуществляется перенос вод Черного моря в восточную

часть акватории. При оценке проявлений затоков по оптическим спутниковым данным и данным модели NEMO в поверхностном слое моря максимальное пространственное распространение выявляется также в восточной и, несколько реже, в юго-восточной частях акватории. Распространение черноморских вод в центральную часть Азовского моря (по данным модели NEMO) связано с их первоначальным продвижением в восточную часть и, затем, последующим вовлечением циклоническую циркуляцию.

При сопоставлении случаев распространения черноморских вод (по спутниковым данным) с характеристиками ветрового поля над азовоморской акваторией наблюдается преобладание интенсивных (со скоростью от 6-8 м/с) и устойчивых южных и юго-западных ветров.

Протяженность уверенно определяемых по спутниковым и модельным данным затоков черноморских вод от Керченского пролива варьирует от первых десятков километров до ста и более километров (до 120 км). Случаи наиболее дальнего транспорта черноморских вод наблюдаются при двух синоптических ситуациях. В первой ситуации перенос вод реализуется под действием ветров высоких скоростей (от 6-8 м/с) в районе Керченского пролива (включая северную часть Черного моря) и над Азовском морем. Вторая характеризуется ветрами слабых скоростей (до 4-6 м/с) над исследуемым районом, но механизм переноса осуществляется за счет прохождения синоптических антициклонов над черноморским бассейном, которые вызывают динамический нагон вод через Керченский пролив в Азовское море.

Исследование изменчивости концентрации хлорофилла-а в Черном море выполнено при поддержке гранта РФФИ 20-35-70034. Обработка и анализ спутниковых данных выполнены при поддержке Госзадания 0555-2021-0006. Исследование термохалинных характеристик вод Азовского моря выполнено при поддержке гранта РФФИ 18-05-80025.

Список литературы

1) Алескерова А. А. и др. Распространение вод из Керченского пролива в Черное море //Морской гидрофизический журнал. – 2017. – №. 6 (198).

2) Ильин Ю. П. и др. Гидрометеорологические условия морей Украины //Том1. Азовское море. Севастополь. – 2009.

3) Ломакин П. Д. Статистическая связь между спутниковыми данными и элементами поля содержания общего взвешенного вещества в Керченском проливе //Системы контроля окружающей среды. – 2018. – №. 13. – С. 50-56.

4) Мизюк, А. И., & Коротаев, Г. К. (2020). Черноморские внутрипикноклинные линзы по результатам численного моделирования циркуляции бассейна. Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана, 56(1), 112-122.

5) Морской портал МГИ - http://dvs.net.ru/mp/data/main_ru.shtml#modis

6) Морской портал МГИ - http://dvs.net.ru/mp/data/main_ru.shtml#model

ИНФОРМАТИВНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ И АСТРОГЕОФИЗИЧЕКИХ ФАКТОРОВ НА ПРИМЕРЕ ОПИСАНИЯ ДОЛГОПЕРИОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ ЛЕДОВИТОСТИ ГРЕНЛАНДСКОГО МОРЯ

Вязигина Н.А., Тимохов Л.А., Егорова Е.С., Юлин А.В.

Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург

naty_ vyazik@mail.ru

Ключевые слова: Гренандское море, ледовитость, межгодовые колебания, гидрометеорологические параметры, астрогеофизическаие параметры, физико-статистические уравнения.

Северо-Европейский бассейн (СЕБ) представляет собой один из ключевых регионов, характеризующих взаимодействие Северного-Ледовитого океана с Атлантикой. Гренландское море, как часть СЕБ, является областью выноса льдов и опресненных вод из Арктического бассейна [1]. Исследование механизмов межгодовой изменчивости ледовитости данного района как одного из индикаторов изменений климата становится с каждым годом актуальнее.

В ходе работ были проанализированы многолетние колебания ледовитости Гренландского моря за сезоны за период 1950-2018 гг. Подтверждено наличие отрицательных линейных трендов для всех сезонов. Проведен спектральный анализ и определены основные периоды колебаний от 5 до 22 лет. Полицикличность изменчивости ледовитости для всех сезонов года подтверждена [2]. В качестве исходного ряда данных по среднемесячным значениям ледовитости Гренландского моря используется база данных ГНЦ ААНИИ (ЕСИМО). Под термином «ледовитость» понимается доля площади, занятая льдом любой сплоченности, по отношению к общей площади моря [3]. Исходные среднемесячные значения ледовитости осреднялись по сезонам года в соответствии со следующими градациями: зиме соответствуют месяцы с декабря по апрель, весне — с мая по июнь, лету — с июля по сентябрь; и наконец, осени — с октября по ноябрь. Значения исследуемых индексов также осреднялись по сезонам, полугодиям и за год [2].

При исследовании информативности различных гидрометеорологических и астрогеофизических параметров использовались крупномасштабные индексы. В блок индексов атмосферной циркуляции вошли первые три моды разложения приземного атмосферного давления от 60° с.ш. до полюса по эмпирическим ортогональным функциям: Арктическое колебание (Arctic Oscillation, AO), которое характеризует периоды повышения или понижения атмосферного давления над Арктикой; индекс Арктический диполь (Arctic Dipole, AD), показывающий меридиональный перенос воздушных масс; тихоокеанское-северо-американское колебание (Pacific North American Oscillation, PNA); а так же индекс Североатлантического колебания (North Atlantic Oscillation, NAO, Национальное управление океанических и атмосферных исследований NOAA).

В базу гидрометеорологических факторов также вошли Атлантическое мультидекадное колебание (Atlantic Multidecadel Oscillation, AMO) и приземная температура воздуха Гренландского моря Ta (NOAA). В блок астрогеофизических факторов вошли: параметры нутации оси Земли dEps и dPsi (координаты Небесного эфемеридного полюса относительно Условного земного полюса); долготная Y и широтная X координаты положения полюса Земли (короткопериодические члены нутации в долготе и наклоне); величина скорости вращения Земли, представленная величиной продолжительности дня lod (length of day); величина солнечной активности V (среднегодовое число Вольфа) по данным международной службы вращения Земли и отсчета IERS, также среднее за шесть месяцев расстояние от Солнца до Земли в летнее (апрель-сентябрь) Cs и зимнее (октябрь-март) Cw полугодия (расчитанные с помощью программы автопроцессор zet 9 lite). Предполагается, что эти параметры оказывают как тепловое влияние (изменение солнечной радиации вследствие колебаний чисел Вольфа и за счет конфигураций расстояния между Землей и Солнцем), так и не

прямое, через атмосферную циркуляцию [4, 5].
Проанализированы корреляционные связи ледовитости Гренландского моря с гидрометеорологическими и астрогеофизическими факторами. Подтверждена инерционность ледовитости, сохраняющаяся до 3-х лет включительно [2]. Наиболее тесная связь ледовитости с астрогеофизическими параметрами выявлена с долготной координатой положения полюса Земли, параметрами нутации оси Земли и расстоянием между Землей и Солнцем. При построении мультирегрессионых уравнений ледовитости для каждого сезона исследована информативность гидрометеорологических и астрогеофизических параметров. Получены оценки качества моделей: коэффициент корреляции (до 0,89); коэффициент детерминации (до 0,80) и обеспеченность модели (до 99%). Оценена информативность различных факторов и выявлен вклад в общую дисперсию: гидрометеорологические факторы — до 70%, астрогеофизические факторы — до 50%. Полученные статистические уравнения могут послужить базой для дальнейших исследований по оценке успешности моделей и, в перспективе, для разработки методов сверхдолгосрочного прогноза ледовитости Гренландского моря.

Список литературы

1) Никифоров Е. Г., Шпайхер А. О. Закономерности формирования крупномасштабных колебаний гидрологического режима Северного Ледовитого океана. Л.: Гидрометеоиздат, 1980. 269 с.
2) Миронов Е.У. Ледовые условия в Гренландском и Баренцевом морях и их долгосрочный прогноз [Текст] / СПб.: изд. ААНИИ, 2004. 319 с.
3) Электронный ресурс: Атлас ледяных образований. Под общей редакцией В.М. Смоляницкого. СПб.: ААНИИ, 2019. 232 с. http://wdc.aari.ru/vms/docs/atlas_ledyanih_obrazovanij(2019,AANII).pdf
4) Максимов И. В. Геофизические силы и воды океана. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 447 с
5) Федоров В. М. Солнечная радиация и климат Земли. М.: Физматлит, 2017. 232 с.

МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ В ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЯХ ЧЁРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Гиппиус Ф. Н.[1], **Мысленков С. А.**[1,2,3]

[1] *Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, г. Москва*

[2] *Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

[3] *ФГБУ «Гидрометцентр России», г. Москва*

fedor.gippius@gmail.com

Ключевые слова: Чёрное море, ветровые волны, численное моделирование, прибрежные акватории, модель SWAN, реанализ NCEP CFSR, многолетняя изменчивость.

Ветровое волнение оказывает существенное влияние на состояние прибрежных экосистем, поскольку оно регулирует переотложение наносов, трансформацию береговой линии, динамику вод и другие процессы. Учёт параметров ветрового волнения необходим для рационального природопользования, поскольку экстремальные волны могут причинить существенный урон нефтегазовым платформам, причалам и другим прибрежным и морским инженерным сооружениям, а также судам. С другой стороны, ветровое волнение можно рассматривать и как источник возобновляемой энергии.

Чёрное море имеет существенное значение для экономики окружающих его стран. На его берегах расположены несколько портов с существенным грузооборотом; несколько подводных газопроводов проходят по дну Чёрного моря; в акватории моря ведётся добыча углеводородов; наконец, на берегах моря располагаются курорты, пользующиеся популярностью у жителей причерноморских стран.

Цель настоящего исследования - дать характеристику многолетней изменчивости параметров ветрового волнения (значимой высоты волн, длины и периода волн), а также установить наличие или отсутствие значимых трендов для многолетних рядов этих параметров.

Параметры ветровых волн на акватории Чёрного моря были рассчитаны с применением численной спектральной волновой модели третьего поколения SWAN [1, 2]. В ней объединены наиболее полные параметризации процессов возникновения, диссипации и взаимодействия волн на «глубокой воде», а также характерные для мелководных акваторий процессы донного трения и обрушения волн. Несмотря на то что изначально модель создавалась для расчёта параметров волнения в мелководных прибрежных акваториях, практика показала её применимость и для открытых акваторий морей. В качестве атмосферного форсинга использовались данные о ветре из реанализов NCEP CFSR [3] и NCEP CFSv2 [4] за период с 1979 по 2016 гг. Для данного исследования была создана оригинальная неструктурная расчётная сетка, пространственное разрешение которой зависит от глубины моря. Расстояние между узлами сетки изменяется от 10 км в открытых частях моря до 25 м в прибрежных акваториях. Валидация результатов моделирования выполнена на основе данных инструментальных измерений, полученных с помощью волномерного буя [5] и спутниковой альтиметрии [6].

Для оценки многолетней изменчивости параметров ветрового волнения в прибрежных акваториях анализируются ряды данных для 12 точек, равномерно расположенных вдоль берегов всего Чёрного моря (Сочи, Геленджик, Керченский пролив, Кацивели, Каркинитские платформы, платформа «Глория», Варна, пролив Босфор, Зонгулдак, Синоп, Гиресун, Хопа); эти же материалы были ранее использованы для оценки статистических показателей ветровых волн [7, 8].

Один из основных результатов исследования - несмотря на существенную межгодовую изменчивость параметров волнения, в большинстве рассмотренных пунктов не наблюдается значимая тенденция к их росту или убыванию. Так, в случае значимой высоты волны размах годовых максимумов варьируется от 2,0 м (Хопа) до 4,5 м (Кацивели). В то же время, только в 2 пунктах

наблюдаются значимые тренды: в Галате отмечается убывание, а в Гиресуне - рост годовых максимумов высот волн.

Список литературы

1) Booij N., Ris R., Holthuijsen L. A third-generation wave model for coastal regions: 1. Model description and validation. // J Geophys Res Oceans № 104(C4). 1999. P. 7649–7666.

2) Ris R., Holthuijsen L., Booij N. A third-generation wave model for coastal regions: 2. Verification. // J Geophys Res Oceans № 104(C4). 1999. P. 7667–7681.

3) Saha S., Moorthi S., Pan H.-L., Wu X., Wang J., Nadiga S., Tripp P., Kistler R., Woollen J., Behringer D., Liu H., Stokes D., Grumbine R., Gayno G., Wang J., Hou Y.-T., Chuang H.- Y., Juang H.-M., Sela J., Iredell M., Treadon R., Kleist D., Delst P., Keyser D., Derber J., Ek M., Meng J., Wei H., Yang R., Lord S., Dool, H., Kumar, A., Wang, W., Long, C., Chelliah, M., Xue, Y., Huang, B., Schemm, J.-K., Ebisuzaki, W., Lin R., Xie P., Chen M., Zhou S., Higgins W., Zou C.-Z., Liu Q., Chen Y., Han Y., Cucurull L., Reynolds R., Rutledge G., Goldberg M. The NCEP Climate Forecast System Reanalysis // B Am Meteorol Soc № 8(91). 2010. P. 1015–1057.

4) Saha S., Moorthi S., Wu X., Wang J., Nadiga S., Tripp P., Behringer D., Hou Y.-T., Chuang H.-Y., Iredell M., Ek M., Meng J., Yang R., Mendez M.P., van den Dool H., Zhang Q., Wang W., Chen M., Becker E. The NCEP Climate Forecast System Version 2. // J. Climate № 6(27). 2014. P. 2185–2208.

5) Бухановский А. В., Дивинский Б. В., Косьян Р. Д., Лопатухин Л. И., Рожков В. А. Типизация ветрового волнения Черного моря по инструментальным данным // Океанология № 2 (40). 2000. С. 289–297

6) Steunou N., Desjonquères J.D., Picot N., Sengenes P., Noubel J., Poisson J.C. AltiKa Altimeter: Instrument Description and In Flight Performance // Marine Geodesy № S1(38). 2015. P. 22–42.

7) Gippius, F.N., Myslenkov, S.A., 2020. Black Sea wind wave climate with a focus on coastal regions. Ocean Eng. 218. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.108199

8) Гиппиус Ф. Н., Мысленков С. А. Особенности ветрового волнения в прибрежных акваториях Чёрного моря по результатам численного моделирования // Комплексные исследования Мирового океана (КИМО-V). Материалы V Всероссийской научной конференции молодых ученых. — Атлантическое отделение Института океанологии РАН Калининград, 2020. — С. 46–47.

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕНОСА ВОД ЧЕРЕЗ РАЗЛОМ ВИМА В СРЕДИННО-АТЛАНТИЧЕСКОМ ХРЕБТЕ

Гиппиус Ф.Н., Демидов А.Н., Иванов А.А.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва

fedor.gippius@gmail.com

Ключевые слова: разлом Вима, Антарктическая донная вода, перенос донных вод, реанализ Glorys12v1, 45 рейс НИС "Академик Николай Страхов", перенос водных масс

Вопрос о переносе Антарктических донных вод (ААДВ) в восточную часть Атлантики долгое время оставался не до конца выясненным. Если в западной части распространение ААДВ происходит практически беспрепятственно, то проникновение этих вод в восточную часть затруднено Срединно-Атлантическим хребтом и происходит только через трансформные разломы - разлом Вима, расположенный в районе 11 °с.ш., и разломы Романш и Чейн в районе экватора [1].

Прямые измерения скоростей серией измерителей течений в разломах Романш и Чейн выявили соизмеримый перенос ААДВ - 0.66 и 0.56 Св. Большинство предшествующих работ свидетельствует о переносах в разломе Вима 0.5-2 Св, что сопоставимо с этими величинами [2].

В основе настоящей работы лежат данные, полученные в 45 рейсе НИС «Академик Николай Страхов» в ноябре 2019 г. [3]. Измерения выполнялись измерителем течений Nortek Aquadopp 6000 и CTD-зондом SBE19plus.

Протяженность разлома Вима составляет около 320 км. Глубина центральной долины разлома достигает 5200 м, её ширина составляет 10-20 км. Южную стену разлома составляет монолитный хребет, средняя глубина залегания вершин которого составляет 2000-2500 м, тогда как северная стена залегает на 3000-3500 м. В ходе работ в 2019 г. в восточной части разлома Вима было выполнено 8 станций. В районе главной седловины разлома выполнялось определение суточной изменчивости параметров, для чего в слое ниже 3700 м последовательно выполнено 20 зондирований с интервалом около 50 мин.

Для сравнения с натурными данными о переносах вод, полученных в экспедиции 2019 г., были использованы ежемесячные модельные оценки интегральных переносов, рассчитанные на основе океанических реанализов, в т. ч. Glorys12v1, с 1993 по 2015-2018 гг. Размер поперечного сечения разлома определялся с использованием данных о рельефе GMRT с пространственным разрешением около 100 м [4].

В разломе Вима глубже 1200 м располагаются Северо-атлантические глубинные воды (САГВ), характеризующиеся локальным максимумом солености и содержания кислорода. В свою очередь, САГВ подразделяются на верхние, средние и нижние (ВСАГВ, ССАГВ и НСАГВ соответственно) [6]. ССАГВ и НСАГВ выделяются по локальным максимумам содержания кислорода и фреонов. Придонное положение занимает ААДВ с минимумом потенциальной температуры.

Для оценки переноса донных вод важно определение границы между водными массами. Традиционно верхней границей ААДВ считается изотерма 2 °C, но эта граница плохо соответствует гидрологической структуре, так как включает ядро и большую часть слоя НСАГВ с максимумами содержания кислорода и фреонов [5]. Слишком высокое положение границы приводит к завышению суммарного переноса ААДВ в 2-3 раза.

По нашим данным, исходя из содержания растворенного кислорода, верхней границей ААДВ правильнее считать изотерму 1.7 °C, примерно соответствующую глубине 4100 м, что близко к значениям из работы [5]. По измерениям скоростей течений в районе 4400 м, что приблизительно соответствует изотерме 1.5 °C, на ряде станций фиксируется локальный минимум значений зональной скорости течения, отделяющий самую холодную часть слоя ААДВ.

Температура тесно связана с величиной переноса - понижение температуры соответствует усилению потока. Тенденция роста температуры прослеживается на придонном горизонте реанализа

Glorys12v1 в 2012-2014 гг., а позднее произошло некоторое понижение.

Перенос ААДВ сильно зависит от метода определения их границы и может различаться в разы. Хотя разница положения границ по изотермам 1.7 и 2 °C составляет около 200 м, разница площадей изотерм в плоскости поперек канала составляет 38 %.

Как показано в работе [2], в районе главной седловины, помимо основной части разлома (т. н. Центрального канала) с глубинами до 4750 м, существует параллельный ему менее глубокий и менее широкий Южный канал с глубинами до 4500 м, отделенный медианным хребтом, где глубины находятся в диапазоне 3750-4000 м. Также в районе главной седловины существует проход в северной стене разлома (т. н. Северный канал) с переносом 0.05-0.2 Св. По оценкам [2], на Центральный канал приходится 70-74 % суммарного расхода, тогда как на Южный канал 10-22 %. По результатам измерений 2019 г. можно судить о том, что поток через Южный канал приблизительно вдвое меньше, чем через Ценральный канал. Таким образом, вклад потока через Южный канал оказывается более значимым по сравнению с предыдущими предположениями. По осредненным значениям реанализа Glorys12v1 в этом месте поток через северную стену направлен на юг, т. е. в противоположную сторону по сравнению с потоком из работ [2]. Кроме этого района, перенос ААДВ через северную стену возможен западнее главной седловины, где зафиксирована придонная потенциальная температура 1.59 °C, при этом перенос ААДВ направлен в южном направлении.

Окончательно за общую оценку переноса ААДВ (с границей по изотерме 1.7 °C) можно принять 0.9 Св, если прибавить к измеренным в 2019 г. значениям перенос около 0.1 Св через «северную стену» [2]. Важно отметить, что суточные изменения переносов по данным 20 последовательных зондирований составляют до 20 % от этого значения.

Авторы благодарны В. В. Машуре, А. С. Бичу и остальным участникам 45-го рейса НИС «Академик Николай Страхов» за помощь в получении данных.

Обработка и анализ данных осуществлены при поддержке проекта РНФ 19–17–00110.

Список литературы

1) Демидов А. Н., Морозов Е. Г., Нейман В. Г. Структура и изменчивость глубинных вод в разломе Романш // Доклады Академии Наук. – 2006. – Т. 410. – № 3. – С. 401–405.

2) Morozov E., Demidov A., Tarakanov R., Zenk W. Abyssal Channels in the Atlantic Ocean: Water Structure and Flows. Springer, 2010. P. 266.

3) Иванова Е. В., Сколотнев С. Г., Борисов Д. Г., и др. Комплексные исследования зон трансформных разломов Долдрамс и Вима в 45-м рейсе научно-исследовательского судна “Академик Николай Страхов” // Океанология. – 2020. – т. 60. – № 3. – С. 488–490.

4) Ryan W. B. F., Carbotte S. M., Coplan J. O. et al. Global Multi-Resolution Topography synthesis // Geochem. Geophys. Geosyst. – 2009. – № 10. – doi:10.1029/2008GC002332

5) Rhein M., Stramma L., Krahmann G. The spreading of Antarctic bottom water in the tropical Atlantic // Deep-Sea Res. Part I. – 1998. – V. 45. – P. 507–527.

6) Wüst G. / 1936. Deutsche Atlantische Expedition “Meteor” 1925–1927. 6 (1). Berlin. 411.

РЕГИСТРАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ВНУТРЕННИХ ВОЛН ЛИДАРНЫМ МЕТОДОМ ДЛЯ СЛУЧАЯ ДВУХСЛОЙНОЙ СТРАТИФИКАЦИИ ГИДРООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Глухов В.А., Гольдин Ю.А., Родионов М.А.

Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, г. Москва

vl.glukhov@inbox.ru

Ключевые слова: Морской поляризационный лидар, дистанционное зондирование, внутренние волны, гидрооптические характеристики

Применение лидаров для дистанционного зондирования толщи морской воды продемонстрировало свою эффективность в целом ряде случаев, в частности радиометрические лидары, регистрирующие временную зависимость мощности эхо-сигналов на несмещенной частоте зондирования, позволяют определять параметры стратификации первичных гидрооптических характеристик (ПГХ) [1,2]; обнаруживать и определять параметры светорассеивающих слоев [3,4], а также регистрировать и определять параметры внутренних волн [5].

Регистрация внутренних волн лидарным методом требует либо длительных измерений в заданной точке, для чего могут быть применены лидары, установленные на судах, либо охвата больших по площади акваторий, для чего применяются лидары, установленные на авианосителе - самолете, вертолете и беспилотном летательном аппарате.

Эксперименты с применением лидаров, проведенные в водах с наличием ярко выраженного слоя повышенной мутности на глубинах, доступных для лидарного зондирования, показали высокую эффективность при регистрации и определении параметров внутренних волн в шельфовой зоне побережья Северной Америки [5]. При отсутствии слоя повышенной мутности, проявляющегося в виде дополнительного ярко выраженного максимума на кривой затухания эхо-сигналов, обработка данных лидарного зондирования существенно усложняется. В случае двухслойной стратификации с более мутным верхним слоем на спаде эхо-сигналов отсутствуют дополнительные максимумы, а изменение прозрачности воды приводит к изменению характера затухания эхо-сигналов с глубиной зондирования. На спаде эхо-сигналов в этом случае образуется особая точка, положение которой связанно с границей между слоями. В области особой точки характер затухания эхо-сигналов меняется в соответствии с изменением показателя ослабления. Соответственно, при наличии нескольких слоев вод с разными показателями ослабления на глубинах, доступных для лидарного зондирования, на спаде эхо-сигналов образуется несколько таких особых точек, что позволяет определять положения границ слоев.

С помощью судового поляризационного лидара ПЛД-1 (совместная разработка Лаборатории оптики океана и атмосферы СПбФ ИО РАН и Лаборатории оптики океана ИО РАН) [6] в ходе экспедиции в прибрежных районах Черного моря в июне 2016 года был выполнен ряд совместных измерений лидаром ПЛД-1 и CTD-зондом SeaBird SBE-25 с прозрачномером. Синхронные измерения вертикальных профилей показателя ослабления света, а также гидрофизических характеристик, измеряемых зондом, и лидарное зондирование с борта судна через поверхность воды выполнено в разных точках полигона с различными параметрами вертикальной стратификации, имеющей ярко выраженный двухслойный характер с верхним более мутным слоем. Глубины залегания пикноклина менялись в пределах от 14 до 18 м. Глубина видимости диска Секки от 9 до 11 м. Полученные натурные данные позволили провести сравнение лидарных эхо-сигналов с результатами контактных измерений.

Обработка лидарных эхо-сигналов производилась двумя способами. Первый способ заключался в регистрации амплитуд эхо-сигналов на фиксированной глубине с последующим применением спектрального анализа с целью определения периодов колебаний, наблюдающихся в рядах значений амплитуд, а второй - в поиске и регистрации положения особой точки на спаде эхо-сигнала,

связанной с изменением показателя ослабления между верхним более мутным и нижним более прозрачным слоем. Первый способ отличается относительной простотой для автоматизации обработки и позволяет выявить факт прохождения и период внутренней волны. Второй способ требует значительно большего времени на обработку, но позволяет определить еще и амплитуду волны. Периоды внутренних волн, полученные двумя способами обработки, практически совпали. Периоды, определенные спектральным способом, составили 3-4 мин, периоды, определенные амплитудным способом 3-5 мин при амплитуде волн 2-3 м. Эти значения являются типичными для внутренних волн шельфовой зоны Черного моря [7].

В работе предложен новый метод амплитудной обработки лидарных эхо-сигналов и впервые методом лидарного зондирования зарегистрированы периодические изменения распределения показателя ослабления вблизи пикноклина в случае двухслойной стратификации гидрофизических характеристик морской воды, являющиеся следствием прохождения внутренней волны. Предложенные в работе методы обработки лидарных сигналов в таком случае позволили определить периоды и амплитуды внутренних волн. Применяемые методы обработки лидарных эхо-сигналов открывают большие возможности для дистанционной регистрации динамических процессов в толще морской воды, но при этом требуют апробации в случае более сложной стратификации гидрооптических характеристик.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0128-2021-0014.

Список литературы

1) Vasilkov A. P., Goldin Yu.A., Gureev B. A., Hoge F.E., Swift R.N., and Wright C.W., Airborne polarized lidar detection of scattering layers in the ocean // Appl. Opt. 2001. V.40. P. 4353-4364

2) Peituo Xu et al., Design and validation of a shipborne multiple-field-of-view lidar for upper ocean remote sensing // Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, V. 254, 2020, 107201, ISSN 0022-4073, https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2020.107201.

3) Churnside J.H., Donaghay P.L., Thin scattering layers observed by airborne lidar // ICES Journal of Marine Science, 2009, V. 66, P. 778-789

4) Goldin Y.A., Vasilev A.N., Lisovskiy A.S., Chernook V.I., Results of Barents Sea airborne lidar survey // Proc. SPIE, Vol. 6615, 66150E (Apr.13, 2007)

5) Churnside J.H., Ostrovsky L.A., Lidar observation of a strongly nonlinear internal wave in the gulf of Alaska // Intern. Journal of Remote Sensing, 2005, V. 26, №1, P.167-177

6) Глухов В.А., Гольдин Ю.А., Родионов М.А. Экспериментальная оценка возможностей лидара ПЛД-1 по регистрации гидрооптических неоднородностей в толще морской среды // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2017. Т. 10, № 2. С. 41—48

7) Серебряный А.Н., Химченко Е.Е. Исследования внутренних волн на кавказском и крымском шельфах Черного моря летом 2013 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 3. С. 88–100.

ВОДООБМЕН МЕЖДУ ЛАГУНАМИ ЭСТУАРНОГО ТИПА И ОКЕАНОМ НА ПРИМЕРЕ ПАТУСА И ТОДУС-УС-САНТУС

Гордей А.С.[1,2], **Осадчиев А.А.**[1,2]

[1] *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

[2] *Московский Физико-Технический Институт (НИУ), г. Москва*

aleksandra.gordey@phystech.edu

Ключевые слова: водообмен, эстуарные процессы, речной плюм

Данная работа посвящена оценке сезонного и синоптического влияния внешних условий на водообмен между лагуной эстуарного типа и океаном, основанной на методах математической статистики. Под сезонными масштабами здесь понимается период от 1 месяца, под синоптическими - до нескольких дней. Рассмотрены лагуны Патус и Тодус-ус-Сантус, представляющие различные типы лагун. Для соленой лагуны Тодус-ус-Сантус, занимающей площадь 1223 км^2 и являющейся второй по величине бухтой Бразилии, характерно сильное влияние приливов на водообмен [1]. Кроме того, как правило не наблюдается вытоков вод из Тодус-ус-Сантус в океан. Лагуна же Патус площадью 10360 км^2 - самая большая пресноводная лагуна в мире. В неё впадают крупные реки Камакуа и Гуаба с суммарным среднегодовым расходом 1800 м^3/с [2]. Выток пресных вод из неё формирует крупный плюм в прибрежной зоне Атлантического океана. Водообмен в Патусе определяется ветром и стоком в неё рек. При использовании данных солености заякоренных станций, расположенных в проливах между лагунами и океаном, реанализа ветра и осадков, а также данных расхода рек для обеих лагун исследовано влияние внешних факторов на гидрологический режим.

В работе обнаружены механизмы образования вытоков вод Патуса в море и затоков морских вод в нее и в Тодус-ус-Сантус. Установлено, что сезонные колебания солености в Патусе обусловлены колебаниями речного стока и практически не зависят от сезонных колебаний атмосферной циркуляции. Синоптические колебания водообмена между Патусом и Атлантическим океанам в масштабе года также зависят от синоптической изменчивости речного стока больше, чем от изменчивости ветровых условий. Обнаружено, что гидрологический режим кардинально различается в разные сезоны. По данным за 2019-2020 год в период низкого стока основное влияние на водообмен оказывает поступление пресных вод из рек в лагуну, а ветровые условия оказываются незначимыми. В сезон низкого стока происходит практически постоянный заток морских вод в лагуну, а эпизодические вытоки вод из лагуны в океан формируются в результате краткосрочного повышения речного стока в лагуну, вызываемого, по-видимому, дождевыми паводками. При этом региональная атмосферная циркуляция не оказывает значимого влияния на интенсивность водообмена. Выявлено, что в период высокого стока поступление речных вод в лагуну так же играет главную роль в формировании водообмена, однако атмосферная циркуляция приобретает большое значение. В сезон высокого стока происходит практически постоянный выток из лагуны в океан. Интенсивность вытоков зависит и от объема речного стока, поступающего в лагуну, и от скорости вдольлагунной компоненты ветра. Затоки морских вод в лагуну в период высокого стока происходят в результате сгона вод лагуны вдольлагунным ветром от пролива в сторону материка, что приводит к понижению уровня в лагуне в районе пролива.

В лагуне Тодус-ус-Сантус выражены лунный полусуточный прилив (37 см) и смешанный двухнедельный (26 см). При вычитании из ряда данных солености колебаний, обусловленных приливами, ключевым фактором синоптической изменчивости солености в проливе оказались атмосферные осадки. При их интенсивном выпадении увеличивается сток мелких рек в лагуну, и она распресняется, при этом амплитуда колебаний солености сохраняется.

Месячные, полугодовые и годовые приливы в лагуне слабы (менее 10 см). Таким образом, приливные явления не влияют на регистрируемую соленость на сезонных масштабах. Сезонный ход солености в проливе отражает смещение интенсивной зоны перемешивания лагунных и морских вод и определяется сезонным ходом атмосферной циркуляции. Для региона типичен восточный ветер над морем, который вызывает экмановский перенос океанских вод в лагуну через пролив. При этом с марта по июль интенсивность восточного ветра падает, это приводит к ослаблению экмановского переноса и смещению границы водообмена в проливе ближе к морю, а также распреснению лагуны. Таким образом, ключевое влияние на сезонные колебания солености оказывает атмосферная циркуляция. При этом наблюдается и сезонное влияние осадков: в сезон паводков (март-май) заметно смещение зоны интенсивного перемешивания лагунных и морских вод смещается в проливе ближе к открытому океану.

Работа выполнена при поддержке гранта Министерства Науки и Высшего Образования РФ № 0149-2019-0003.

Список литературы

1) Mauro C., Lessa G.C. Oceanographic characteristics of baia de Todos os Santos, Brazil // Revista Brasileira de Geofi'sica. 2007. 25(4). P. 363-387.

2) Tavora J. et al. The influence of river discharge and wind on Patos Lagoon, Brazil, Suspended Particulate Matter // International Journal of Remote Sensing. 2019. P. 1-18.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СОЛИТОНОВ И БИЗЕРОВ В СТРАТИФИЦИРОВАННОМ ОКЕАНЕ

Диденкулова Е.Г.[1,2], **Диденкулов О.И.**[2]

[1]*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Н. Новгород*

[2]*Институт прикладной физики Российской Академии Наук, г. Н. Новгород*

eshurgalina@mail.ru

Ключевые слова: бризеры, солитоны, стратифицированный океан, внутренние волны, модифицированное уравнение Кортевега – де Вриза

Уединенные волны (солитоны) являются неотъемлемой частью динамики волн в стратифицированных морях и океанах. Эти волны зачастую наблюдаются на записях внутренних волн, и активно исследуются в теории и океанологической практике. Их взаимодействие (особенно множественное) может приводить к образованию импульсов сложной формы, а также импульсов с амплитудами, значительно превышающими амплитуды окружающих волн (так называемые «волны-убийцы»). Системы, содержащие большое число солитонов, взаимодействующих друг с другом, получили название солитонный газ или солитонная турбулентность [1-3].

На многих записях внутренних волн присутствуют локализованные осциллирующие пакеты, которые можно отождествить с нелинейными волновыми группами (бризерами), однако их динамика на сегодняшний день изучена крайне скудно как в теории, так и в океанологии. Данная работа посвящена исследованию особенностей взаимодействия бризеров друг с другом и бризеров с солитонами.

В рамках модифицированного уравнения Кортевега-де Вриза, описывающего длинные внутренние волны в бассейне с симметричной стратификацией по плотности, проанализированы особенности распространения одиночного бризера в двух предельных случаях: когда бризер имеет N-форму и может интерпретироваться как два идентичных солитона с разной полярностью, и когда бризер имеет большое число осцилляций и может быть представлен солитоном огибающей нелинейного уравнения Шредингера. Для двух предельных случаев рассмотрена эволюция экстремумов волновых полей. Инварианты и моменты найдены аналитически. Построены формы импульсов в момент максимального взаимодействия когерентных структур. Проанализированы условия смены знака групповой и фазовой скоростей бризеров с различными параметрами. Эти результаты опубликованы в статье [4].

Проанализированы режимы парных взаимодействий бризера с солитоном как элементарных процессов, играющих ключевую роль в статистике разреженного солитонно-бризерного газа. Важнейшим параметром, определяющим солитонно-бризерные взаимодействия, является относительная фаза волн. Были проведены две серии численных экспериментов для различных значений относительных фаз взаимодействующих когерентных структур. Построены зависимости амплитуд результирующих импульсов в момент взаимодействия и высших моментов волновых полей от фаз волн. Данные результаты опубликованы в работе [5].

Проведена серия из 150 численных экспериментов по взаимодействию двух бризеров в рамках модифицированного уравнения Кортевега - де Вриза. В каждом эксперименте один бризер имел N-образную форму, а другой имел несколько осцилляций. В каждом эксперименте менялась фаза первого бризера. Рассматриваемая серия экспериментов охватывает все возможные начальные формы первого бризера. Хотя это не дает всех возможных вариантов взаимодействия, эти эксперименты показывают типичную картину взаимодействия бризеров с заданными параметрами, которая может претерпевать небольшие количественные изменения, но не качественные. В результате расчетов проанализированы случаи «оптимального» и «неоптимального» взаимодействия бризеров. Показано, что в результате взаимодействия амплитуда результирующего импульса может достигать двукратного усиления начальных амплитуд бризеров. Аналогичные процессы

рассмотрены в рамках уравнения Гарднера, содержащего как квадратичную, так и кубическую нелинейности. Это уравнение описывает длинные внутренние волны в океане с произвольной стратификацией, а не только симметричной. Показано, что в рамках этих двух моделей внутренних волн бризеры взаимодействуют схожим образом и принципиальных отличий в процессе их столкновения не наблюдается.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 19-35-60022 и 19-05-00161, а также гранта Фонда развития теоретической физики и математики «БАЗИС» (проект № 20-1-3-3-1).

Список литературы

1) Agafontsev D.S., Zakharov V.E. Integrable turbulence and formation of rogue waves // Nonlinearity 28. 2015. P. 2791.
2) Shurgalina E.G., Pelinovsky E.N. Nonlinear dynamics of a soliton gas: Modified Korteweg-de Vries equation framework // Phys. Lett. A № 24(380). P. 2049-2053.
3) Pelinovsky E., Shurgalina E. KDV soliton gas: interactions and turbulence, Book: Challenges in Complexity: Dynamics, Patterns, Cognition (editors: I. Aronson, A. Pikovsky, N. Rulkov, L. Tsimring), Series: Nonlinear Systems and Complexity, Springer. V. 20. 2017. P. 295-306.
4) Didenkulova E., Pelinovsky E. Breather's Properties within the Framework of the Modified Korteweg–de Vries Equation // Symmetry 12. 2020. P. 638.
5) Didenkulova E., Pelinovsky E. Soliton-breather interaction: the modified Korteweg - de Vries equation framework // Symmetry 12(9).2020. P. 1445.
6) Didenkulova, E.; Pelinovsky, E. Interaction Features of Internal Wave Breathers in a Stratified Ocean // Fluids 5. 2020. P. 205.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ЧЕРНОГО МОРЯ В ЛЕТНИЙ И ОСЕННИЙ СЕЗОНЫ 2016 Г. НА ОСНОВЕ УСВОЕНИЯ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ СЪЕМОК В ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ.

Евстигнеева Н.А, Демышев С.Г.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

naevstigneeva@yandex.ru

Ключевые слова: Черное море, численное моделирование, ассимиляция данных наблюдений, мезомасштабные и субмезомасштабные вихри.

Данная работа посвящена анализу результатов численного моделирования циркуляции Черного моря на основе ассимиляции в гидродинамической модели данных измерений температуры и солености, а также определению закономерностей формирования особенностей циркуляции в летний и осенний сезоны (на примере гидрологических съемок в 2016 г.).

В качестве инструмента исследования выбрана z-координатная трехмерная нелинейная модель Черного моря, которая была разработана в Морском гидрофизическом институте [1]. Использовалась процедура ассимиляции данных наблюдений с учетом неоднородности и неизотропности ошибок оценок полей температуры и солености, основанная на модифицированном фильтре Калмана [2].

Численные расчеты с пространственным разрешением ∼1,6 км по горизонтали и 27 горизонтов по вертикали проведены для всего Черного моря, но более подробно анализировалась область, расположенная между меридианами 31 и 37° в.д. и параллелями 43 и 45.5° с.ш., в которой были получены гидрологические данные. Рассматривалось два периода времени - с 28 июня по 18 июля 2016 г. и с 29 сентября по 20 октября 2016 г. (87й и 89й рейсы НИС «Профессор Водяницкий»). На поверхности моря задавались поля тангенциального напряжения трения ветра, потоки тепла, коротковолновой радиации, осадков и испарения, полученные по данным греческого центра атмосферных прогнозов SKIRON (1/10°). Краевые условия на поверхности, на дне и на твердых боковых стенках более подробно описаны в [1].

В начальном поле течений для летнего периода были отмечены следующие элементы циркуляции: антициклонический вихрь у юго-восточных берегов Крыма, два циклонических и три антициклонических вихря в западной части области (пролеживались до глубины 100 м, с радиусами около 30 км), циклонические вихри вдоль западного берега Крыма (прослеживались до глубины 30 м, с радиусами около 15 км). Максимальная скорость до 50 см/с (в верхнем слое) достигалась в центральной части, вдоль западного берега Крыма наблюдалось течение с максимальной скоростью до 30 см/с, направленное на север. В восточной части области сформировались две динамические зоны: прибрежная зона с антициклонической завихренностью течений и область циклонической завихренности в глубоководной части моря. В течение рассматриваемого летнего периода наблюдался интенсивный поток струи Основного черноморского течения (ОЧТ) вдоль Крымского побережья, максимальная скорость которого составляла 55 см/с на верхнем горизонте (1, 13 и 17 июля). Крупные вихри различного знака вращения с радиусом около 30 км в западной части области и циклонический вихрь с радиусом около 40 км в восточной глубоководной части области сохранялись в течение всего расчета. Антициклонический вихрь вблизи г. Ялта формировался квазипериодически (время жизни 5-6 дней) и перемещался по направлению движения ОЧТ. Возможный механизм формирования этого вихря - сдвиговая неустойчивость (течение на шельфе направлено на северо-восток, а в глубоководной части моря - на юго-запад). С 11 по 18 июля в восточной части области наблюдались антициклонический и циклонический вихри с радиусами около 20 км (пролеживались до глубины 30 м). Также отчетливо видны антициклонические вихри

вдоль Крымского побережья. На северо-западном шельфе и около побережья Крыма в течение всего расчета генерировались вихри малых масштабов различного знака вращения в верхнем слое. Скорости не превышали 20 см/с, время жизни 2-3 дней. Возможный механизм формирования - набегание течения на неровности береговой линии и рельефа дна.

В начальном поле течений для осеннего периода были отмечены следующие элементы циркуляции: два антициклонических вихря вблизи г. Севастополь и два антициклонических вихря в западной части области (пролеживались до глубины 100 м, с радиусами около 30 км, с максимальной скоростью в верхнем слое до 46 см/с), антициклонический вихрь с радиусом около 20 км в верхнем слое воды у юго-восточных берегов Крыма, в восточной части области антициклонический вихрь с радиусом около 40 км и два циклонических вихря с радиусами около 35 км в центральной части области (пролеживались до глубины 100 м). В течение всего расчета наблюдался интенсивный поток струи ОЧТ вдоль Крымского побережья, максимальная скорость которого достигала 65 см/с на верхнем горизонте. Также вдоль побережья генерировались квазипериодически (время жизни 3-4 дня) антициклонические вихри, которые перемещались по направлению движения ОЧТ (возможный механизм формирования - сдвиговая неустойчивость). Так как с 16 по 19 октября ветровое воздействие было более интенсивное (скорость ветра превышала 15 м/с), мезо- и субмезомасштабные вихревые образования в этот в период были выражены слабее.

Из анализа полей течений, рассчитанных для двух сезонов, показано, что особенности динамики вод определялись, в основном, интенсивным потоком ОЧТ на запад и юго-запад, неравномерным ветром, влиянием на ОЧТ очертаний береговой линии и неоднородностей рельефа. Описанные модельные поля течений не противоречат результатам обработки съемок гидрологами [3], согласно которым ОЧТ представляло собой меандрирующий поток, при этом формирование вихрей и меандров наиболее интенсивно происходило в западной части съемки.

На основе сравнения результатов численных экспериментов без усвоения и с усвоением данных измерений температуры и солености показано, что учет данных наблюдений позволил более точно реконструировать мезомасштабные особенности циркуляции. В частности, в поле течений, получены некоторые качественные и количественные различия (усиление течений, смена направления течений, вихревые образования были выражены отчетливее).

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0555-2021-0003 (шифр «Оперативная океанология»).

Список литературы

1) Демышев С.Г. Численная модель оперативного прогноза течений в Черном море // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2012. Т. 48. № 1. С. 37–149.

2) Кныш В.В., Моисеенко В. А., Саркисян А. С., Тимченко И. Е. Комплексное использование измерений на гидрофизических полигонах океана в четырехмерном анализе // Доклады АН СССР. – 1980. 252. Т.4 С. 832–836.

3) Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А., Алексеев Д.В., Федирко А.В. и др. Гидрологические исследования в северной части Черного моря в 2016 г. (87, 89 и 91-й рейсы НИС «Профессор Водяницкий») // Морской гидрофизический журнал. – 2018. Т. 34, № 3. С. 247 – 253.

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ВОЗРАСТНОГО СОСТАВА ЛЬДОВ ГРЕНЛАНДСКОГО МОРЯ

Егорова Е.С.

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург

egorova@aari.ru

Ключевые слова: Гренландское море, ледяной покров, старые льды, возрастной состав льдов, зимний период.

Изучение возрастной структуры (толщины) ледяного покрова на акватории арктических морей является важной исследовательской задачей, позволяющей оценить происходящие климатические изменения в составе льдов Северного Ледовитого океана.

В настоящей работе представлены результаты анализа возрастного состава ледяного покрова Гренландского моря, выполненного с использованием цифрового архива комплексных ледовых карт Мирового центра данных по морскому льду [1] за период 1997-2020 гг. Посредством ГИС-технологий с декадной дискретностью были определены относительные доли льдов разного возраста (в % от площади моря), объединённые стандартными градациями: начальные виды льдов толщиной до 10 см; серые (10-15 см) и серо-белые (15-30 см) молодые льды; тонкие (30-70 см), средние (70-120 см) и толстые (более 120 см) однолетние льды, а также старые льды толщиной более 250 см. Полученные данные позволили произвести оценку возрастных характеристик льдов в зимний сезон, от начала формирования ледяного покрова в октябре до его завершения в мае.

Подробный анализ изменений возрастной структуры льдов Гренландского моря проводится впервые. Данная работа продолжает цикл исследований ледяного покрова акваторий арктических морей по возрастным категориям [2, 3], а её результаты дополняют сведения о ледовом режиме Гренландского моря в зимнее время [4].

Известно, что постоянное присутствие на акватории старых льдов, выносимых из Арктического бассейна Северного Ледовитого океана через пролив Фрама, является одной из ключевых особенностей ледяного покрова Гренландского моря [4]. По результатам расчётов за период 1997-2020 гг. средняя относительная доля (абсолютная площадь) старых льдов от общей площади моря в зимние месяцы составляет 14,6% (149,8 тыс. км^2) при среднеквадратическом отклонении (СКО) в 0,6% (6,2 тыс. км^2). Наблюдаются два зимних максимума площади распространения старых льдов: в декабре (15,6%; 160,1 тыс. км^2) и в апреле (14,9%; 152,9 тыс. км^2). Их наличие практически соответствует двум пикам сезонного ледообмена через пролив Фрама (вычисленного по модели изобарического дрейфа в среднем за период 1997-2018 гг. [5]) в декабре и марте, который и определяет количество старых льдов на исследуемой акватории. Отмечается преобладание старых льдов в возрастном составе ледяного покрова Гренландского моря на протяжении всего зимнего сезона.

Говоря о возрастной структуре сезонных льдов, то за период 1997-2020 гг. были выявлены следующие хронологические особенности их соотношения в течение зимних месяцев.

Начало устойчивого ледообразования обычно наблюдается в октябре. В этом месяце в сезонном ледяном покрове Гренландского моря преобладают начальные виды льдов (2,9%; 29,5 тыс. км^2), а также молодые серые (2,1%; 21,4 тыс. км^2) и серо-белые (10,1%; 103,6 тыс. км^2) льды. В ноябре наибольшие относительные доли ледяного покрова Гренландского моря приходятся на молодые серо-белые (9,7%; 99,2 тыс. км^2) и однолетние тонкие (7,4%; 75,8 тыс. км^2) льды. В декабре льды этих возрастных градаций продолжают доминировать, однако их количество снижается (8,5%; 87,3 тыс. км^2 и 6,8%; 69,7 тыс. км^2 соответственно). В январе, наряду с серо-белыми льдами, преобладающее положение занимают уже однолетние льды средней толщины долей 7,9% и 9,9% (площадью 81,2 тыс. км^2 и 101,5 тыс. км^2) соответственно. В феврале наблюдается такая же

ситуация с той лишь разницей, что относительная доля (площадь) однолетнего среднего льда начинает уменьшаться (8,5%; 87,4 тыс. км^2 от общей площади моря).

В период с марта по май доля (площадь) однолетних толстых льдов в общей площади моря значительно возрастает (6,0%; 61,0 тыс. км^2 в марте, 7,3%; 74,6 тыс. км^2 в апреле и 6,5%; 66,2 тыс. км^2 в мае), однако всё равно не превышает количество однолетнего среднего (7,4%; 76,0 тыс. км^2 в марте, 7,3%; 76,7 тыс. км^2 в апреле и 7,5%; 77,2 тыс. км^2 в мае). В апреле отмечается практически равное соотношение однолетнего среднего и однолетнего толстого льдов на акватории Гренландского моря.

Согласно полученным результатам, сезонная возрастная структура ледяного покрова Гренландского моря в холодный период в целом соответствует возрастному составу льдов арктических морей России, представленному в работе [6]. Основной же особенностью возрастного состава ледяного покрова Гренландского моря является наличие на его акватории старых льдов, выносимых из Арктического бассейна через пролив Фрама.

Продолжением данной работы послужит сравнение возрастного состава дрейфующих и припайных льдов Гренландского моря для зимних месяцев, а также выявление межгодовых изменений возрастной структуры ледяного покрова на его акватории.

Работа выполнена в рамках НИТР Росгидромета, тема 5.1.2.

Список литературы

1) Архив Мирового центра данных по морскому льду. [Электронный ресурс]. URL: http://wdc.aari.ru/datasets/d0004/bar/ (Дата обращения: 15.11.2020).

2) Карклин В.П., Хотченков С.В., Юлин А.В., Смоляницкий В.М. Формирование возрастного состава льда в юго-западной части Карского моря в осенне-зимний период // Проблемы Арктики и Антарктики. 2017. Т. 113. № 3. С. 16–26.

3) Хотченков С.В. Формирование возрастного состава ледяного покрова в море Лаптевых // Проблемы Арктики и Антарктики. 2017. Т.114. № 4. С. 5–15.

4) Миронов Е. У. Ледовые условия в Гренландском и Баренцевом морях и их долгосрочный прогноз. СПб.: ААНИИ, 2004. 319 с.

5) Егорова Е.С., Виноградняя Е.С. Оценка дрейфа льда через пролив Фрама по результатам различных моделей // Комплексные исследования Мирового океана. Материалы V Всероссийской научной конференции молодых ученых, г. Калининград, 18–22 мая 2020 гг.

6) Егоров А.Г. Изменение возрастного состава и толщины зимнего ледяного покрова арктических морей России в начале XXI в. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2020. Т. 66. № 2. С. 124–143.

СРАВНЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ОПУСКАНИЯ ВОД ПО ГЛАДКОМУ И ШЕРОХОВАТОМУ НАКЛОННОМУ ДНУ ПРИДОННОМ ЭКМАНОВСКОМ СЛОЕ, И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ПРИДОННОГО ЭКМАНОВСКОГО СЛОЯ С ПОМОЩЬЮ ДАТЧИКА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ (ЛАБОРАТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ)

Елкин Д.Н., Зацепин А.Г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

dmelkin@mail.ru

Ключевые слова: Даунвеллинговые прибрежные течения, лабораторное моделирование, вращающаяся платформа, наклонное дно, шероховатость дна, стратификация вод, экмановский придонный слой, конвективная неустойчивость, перемешивание

На вращающейся вокруг своей оси Земле, морские вдольбереговые прибрежные течения, достигающее дна моря, формируют придонный экмановский слой (ПЭС), в котором перенос воды происходит перпендикулярно направлению течения и влево от него (в Северном полушарии). В случае - даунвеллингового вдольберегового течения [1], в ПЭС происходит перенос воды от берега и ее опускание по склону дна. При наличии устойчивой стратификации, достигая определенной глубины, менее плотная вода в ПЭС останавливается и конвективным образом перемешивается с вышележащими водами. Ранее процесс опускания вод в ПЭС при наличии даунвеллингового вдольберегового течения исследовался в условиях гладкого дна [2]. Вместе с тем, морское дно обычно бывает шероховатым.

Цель данной работы - изучение динамики даунвеллингового вдольберегового течения и связанного с ним ПЭС на шероховатом наклонном дне при наличии и в отсутствии плотностной стратификации.

Эксперименты проводились в цилиндрическом бассейне, и расположенном на вращающейся платформе. В центре бассейна установлен усеченный конус с нижнем основанием на дне. Боковая поверхность конуса покрыта ковриком вышитым биссером - мелкими шариками, создающими шероховатость наклонного дна. В центре верхнего основания усеченного конуса сделано отверстие, соединенное шлангом с сосудом Мариотта. На боковой поверхности сделана узкая шель, параллельна основаниям цилиндра и конуса - кольцевой источник, через который из сосуда Мариотта подается вода в бассейн. Перед началом опыта бассейн заполнялся водой (пресной или соленой) плотностью r_0 до уровня кольцевого источника. Сосуд Мариотта заполнялся пресной водой плотностью r_1, подкрашенной красителем. Поступающая в бассейн вода образовывала вокруг источника вдольбереговое антициклоническое течение. Из-за трения течения о дно возникал ПЭС, в котором происходило опускание воды. Вид прибрежного течения и ПЭС снимался сверху и сбоку видеокамерами. Для измерения профилей солености воды в бассейне, используется одноэлектродный датчик электропроводности, расположенный на координатном устройстве, перемещающем датчик вниз и вверх в автоматическом режиме. Для определения скорости течения на поверхность воды помещались бумажные пелетки. Опыты проводились при различных значениях скорости вращения платформы, расхода источника и размера шероховатости дна. Эксперименты проводились с пресной водой в бассейне, и соленой водой в бассейне при различных значениях солености.

В случае ($r_1 \approx r_0$) подкрашенная вода, поступавшая из источника на поверхность конуса, изначально образовывала антициклоническое осесимметричное баротропное прибрежное течение, расширявшееся радиально. Однако через некоторое время ширина слоя подкрашенной воды и связанного с ним прибрежного течения практически переставала расти, несмотря на продолжавшийся приток воды из источника. Стабилизация положения фронта подкрашенной воды была обу-

словлена формированием в вязком ПЭС потока с расходом $Q_e \approx Q$, распространяющегося вниз по склону и выходящего со временем далеко за пределы фронтальной зоны баротропного слоя подкрашенной воды. При этом прибрежное течение также достигает стационарного состояния и его стрежень (максимум азимутальной скорости) располагается на внешней границе баротропного слоя подкрашенной воды. Было установлено, что с ростом размера шероховатости скорость опускания воды в ПЭС убывает, скорость течения на поверхности убывает, ширина течения убывает, а толщина придонного погранслоя - возрастает.

В случае небольшого различия плотности вод ($r_1 < r_0$), наклонный фронт течения достигал поверхности конуса и формировался ПЭС с опусканием менее плотной воды вниз по склону. Со временем, ПЭС испытывал конвективную неустойчивость: в нем формировались валиковые структуры, вытянутые в азимутальном направлении. Затем они распадались на трехмерные вихревые структуры, в которых подкрашенная вода ПЭС медленно поднималась вверх, вплоть до свободной поверхности жидкости.

Шероховатость дна значительно интенсифицировала процесс конвекции по сравнению с гладким дном. Интенсификация конвекции происходила, главным образом, за счет увеличения толщины придонного экмановского слоя, которое, в свою очередь приводило к росту числа Релея - критерия развития конвекции. Поскольку эта толщина входит в число Релея в кубической степени, ее увеличение на 25 процентов вызывает его почти двукратное увеличение.

Во время некоторых опытов производились зондирования водной среды микродатчиком электропроводности. Датчик равномерно опускался вниз, а затем поднимался вверх и на каждой глубине показывал значение электропроводности. Используя зависимость солености от электропроводности можно рассчитать соленость на глубине, и построить зависимость солености от глубины. Видно, что в придонном слое соленость уменьшается квазилинейно по направлению ко дну. Используя зависимость, можно рассчитать толщину ПЭС. Значения толщин ПЭС хорошо корреспондируются с ранее выполненными расчетами толщины ПЭС для шероховатого дна [3].

При большом различии плотности вод ($r_1 \ll r_0$), наклонный фронт течения не достигал поверхности конуса, и опускания более легкой воды в ПЭС, как на гладком, так и на шероховатом дне не происходило. Из-за этого при работающем источнике масса воды, заключенная внутри области прибрежного течения, росла непрерывно, и положение его фронта не стабилизировалось: происходило его радиальное распространение.

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы 0149-2020-0004 и при финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-05-00496.

Список литературы

1) Журбас В.М., Ох И.С., Парк Т. Роль бета-эффекта в угасании вдольбереговой бароклинной струи, связанной с преходящим прибрежным ап- и даунвеллингом: численные эксперименты // Океанология. 2006. Т. 46. № 2. С. 189-196.

2) Елкин Д.Н., Зацепин А.Г., Подымов, О.И., Островский А.Г. Опускание вод в экмановском слое, образованном прибрежным даунвеллинговым течением над наклонным дном // Океанология. 2017. Т. 57. № 4. с. 531-537.

3) Елкин Д.Н., Зацепин А.Г., Салаватова Л.И. Лабораторное исследование влияния шероховатости и рельефа дна на вдольбереговое даунвеллинговое течение и связанный с ним придонный экмановский слой // Процессы в геосредах 2019. № 4 (22). с. 471-479

ВЛИЯНИЕ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО ТЕЧЕНИЯ НА ВОДООБМЕН В БЕРИНГОВОМ ПРОЛИВЕ ПО СПУТНИКОВЫМ АЛЬТИМЕТРИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Жук В.Р., Кубряков А.А.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

zhuk.vlad1slav@ya.ru

Ключевые слова: Берингов пролив, спутниковая альтиметрия, водообмен, Восточно-Сибирское течение, сезонная и межгодовая изменчивость, Чукотское море, тихоокеанские воды.

Чукотское море является воротами между Тихим и Северным Ледовитым океанами. Поступление соленых вод Тихого океана значительно влияют на халинную структуру Арктики и является важнейшим источником питательных веществ в регионе [1,2]. В настоящее время, предположения о механизмах влияния ветра и Арктической циркуляции на изменчивость потоков через Берингов пролив разнятся [3]. Современные альтиметрические данные предоставляют регулярную информацию о полях уровня и геострофических течениях в океане. Однако эти данные до настоящего времени практически не использовались для исследования динамики Берингова пролива и предпроливных зон со стороны Арктики.

На основе измерений спутниковых альтиметров за 1993-2016 гг. исследована сезонная и межгодовая изменчивость водообмена в Беринговом проливе и его связь с Арктической циркуляцией. Данные об уровне морской поверхности и геострофических скоростях были получены на портале Copernicus Marine Environment Monitoring Service (продукт SEALEVEL_GLO_PHY-_L4_REP_OBS формация о скорости ветра на высоте 10 м была получена по данным реанализа Merra на портале https://earthdata.nasa.gov/. В работе также использовались ежемесячные карты температуры поверхности океана, полученные по измерениям сканера MODIS-Aqua (Level 3) из архива (http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/).

Проведенный анализ показал, что интенсификация северных течений в проливе наблюдается с апреля по август, когда их средняя скорость составляет около 25 см/с. В сентябре - ноябре наблюдается резкое ослабление скорости, а в некоторые годы - смена течения на южное со среднемесячными скоростями до 10 см/с. На межгодовых масштабах наблюдается два выраженных минимума интенсивности северных течений в 2002-2003 и 2012-2013гг. Эти минимумы связаны с усилением Восточно-Сибирского течения, которое в некоторые годы распространяется далеко на восток и проникает в Берингов пролив. В западной части пролива возникает южное течение, которое частично блокирует поступление тихоокеанских вод в Арктику. Двунаправленная структура течений наблюдается по спутниковым измерениям температуры, которые фиксируют проникновение холодных Арктических вод в пролив в осенний период. Исследование взаимосвязи водообмена с полем ветра, показало, что причиной усиления Восточно-Сибирского течения является интенсификация северо-западных ветров к северу от Новосибирских островов, которое по-видимому приводит к усилению восточного переноса вод из моря Лаптевых. Таким образом, эти результаты демонстрируют, что именно Арктическая циркуляция, а точнее динамика Восточно-Сибирского течения, в первую очередь контролирует водообмен Арктики с Тихим океаном, периодически приводя к значительному снижению транспорта тихоокеанских вод через пролив.

Работа выполнена в рамках гос. задания №0555-2021-0006 «Разработка перспективных методов, программно-информационных и технических средств исследований гидрофизических, биогеохимических, оптических характеристик морской среды, в том числе методами дистанционного зондирования».

Список литературы

1) Басюк Е. О., Хен Г. В., Ванин Н. С. Изменчивость океанологических условий Берингова моря в 2002–2006 гг. // Известия ТИНРО. 2007. Т. 151. С. 290-311.

2) Woodgate R.A., Aagaard. K., Weingartner T. Monthly temperature, salinity, and transport variability of the Bering Strait through flow // Geophysical Research Letters. 2005. Vol. 32. Issue 4.

3) Nguyen A. T., Woodgate R. A., Heimbach P. Elucidating large-scale atmospheric controls on Bering Strait throughflow variability using a data-constrained ocean model and its adjoint // Journal of Geophysical Research: Oceans. 2020. Vol. 125. Issue 9.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЧИВОСТИ РАСХОДА АТЛАНТИЧЕСКИХ ВОД ВДОЛЬ СКЛОНА ЕВРАЗИЙСКОГО БАССЕЙНА ПО МНОГОЛЕТНИМ ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Журбас Н.В., Кузьмина Н.П.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

nvzhurbas@gmail.com

Ключевые слова: программа NABOS, анализ CTD-данных, расход геострофического течения, Евразийский бассейн (Арктика)

Геострофическое течение атлантических вод (АВ) в Евразийском бассейне является предметом исследования множества работ (например, [1, 2] и др.); также оценивался и его расход в разных районах бассейна [3]. Как правило, оценки расхода течения выполняются на основании прямых измерений скоростей течения. Но для решения ряда фундаментальных задач могут быть полезны значения расходов, рассчитанные на основании динамического метода. Так как поле скоростей в океане может характеризоваться более высокой изменчивостью, чем поля температуры, солености и плотности, полученные динамическим методом оценки могут быть более точными и близкими к реальным оценкам расходов среднего бароклинного течения.

На основе большого объема CTD-данных программы NABOS (Nansen and Amundsen Basins Observing System, [4]) за период 2002–2015 гг и разреза «Polarstern-96» получены оценки термохалинной изменчивости и расходов АВ, переносимой течением вдоль континентального склона Евразийского бассейна Арктики. Для оценок использовались 39 разрезов в различных регионах, включая и разрезы через желоб Святой Анны. Методы оценивания и таблицы с оценками гидрологических параметров изложены в [5, 6]. Учитывая, что разрезы выполнялись в одних и тех же районах в разные годы в летне-осенние сезоны, анализ CTD-данных позволил изучить не только межгодовую изменчивость термохалинной структуры водных масс и геострофического расхода АВ, но и оценивать изменчивость расхода АВ вдоль склона Евразийского бассейна. Важно отметить, что оценки расхода АВ в диапазоне 31–159 °в.д. характеризовались высокой изменчивостью. Это связано со следующими причинами: а) отклонением некоторых разрезов от нормали к течению; б) различием в горизонтальных масштабах разрезов; в) погрешностями при выборе отсчетной поверхности при использовании динамического метода; г) влиянием на расходы течения синоптических квазигеострофических вихрей. Все эти причины вносят «шум» в полученные оценки расходов. Для того, чтобы найти значимые оценки изменчивости геострофического расхода АВ вдоль склона бассейна на основе ограниченного статистического материала, было сделано следующее. Расходы, оцененные на разрезах 31°E, 60°E, 90°E, 92° E в разные годы, использовались для расчета среднего расхода в области 31°E – 92 °E (область I; количество значений, по которым определялся средний расход, N = 6). Аналогично оценивался средний расход для области 94°E–107°E (область II; N = 9). Остальные средние оценки геострофического расхода относились к 126°E (III; N = 9), 142°E (IV; N = 10) и 159°E (V; N = 2). Далее определялись доверительные интервалы с вероятностью 95% (типичный доверительный интервал) и 80% (приемлемый доверительный интервал для работы с ограниченным статистическим материалом).

Полученные оценки средних расходов V_{mean} позволяют заключить, что расход АВ увеличивается от области I ($V_I = 0.5$ Sv) к области II ($V_{II} = 1.09$ Sv), потом спадает к области III ($V_{III} = 0.39$ Sv) и далее уменьшается к области IV ($V_{IV} = 0.28$ Sv) с последующим резким уменьшением к области V ($V_V = 0.03$ Sv).

Рассчитанные с вероятностью 80% доверительные интервалы перекрываются только для областей III и IV: (0.25; 0.53) и (0.18; 0.38) соответственно. В связи с этим можно считать, что представленное выше описание изменения расходов V_{mean} является достоверным с вероятностью

80% за исключением изменения расхода от области III к области IV. Рассчитанные оценки средних расходов и доверительные интервалы позволяют также высказать мнение о том, что увеличение расхода в 2006 году следует связывать с климатическим воздействием, а не с «шумом» в данных. Действительно, расходы в областях II, III и IV в 2006 году превышали соответствующие верхние пределы доверительных интервалов, рассчитанных с вероятностью 95%. Отсюда следует, что такое событие – сильное увеличение расхода в 2006 году – является достаточно редким событием. Более того, значительное увеличение расходов одновременно на трех разрезах вряд ли можно объяснить случайным «шумом» в данных, в частности влиянием на расходы синоптических вихрей.

Приводится сравнение средних оценок геострофического расхода АВ с локальными оценками, полученными в других работах. Представлена дискуссия по вопросам о влиянии баротропной добавки на перенос АВ и о причинах изменения расхода от области II к области III.

Исследование выполнено в рамках государственного задания (тема №0149-2019-0003, Кузьмина Н.П.), за счет гранта Российского научного фонда (проект 17-77-10080, Журбас Н.В.).

Список литературы

1) Pnyushkov A.V., Polyakov I.V., Ivanov V.V. et al. Structure and variability of the boundary current in the Eurasian Basin of the Arctic Ocean // Deep-Sea Research I. № 101. 2015. P. 80–97. https://doi.org/10.1016/j.dsr.2015.03.001.

2) Rudels B., Korhonen M., Schauer U. et al. Circulation and transformation of Atlantic water in the Eurasian Basin and the contribution of the Fram Strait inflow branch to the Arctic Ocean heat budget // Progress in Oceanography. № 132. 2015. P. 128–152. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2014.04.003.

3) Beszczynska-Möller A., Fahrbach E., Schauer U., Hansen E. Variability in Atlantic water temperature and transport at the entrance to the Arctic Ocean, 1997–2010 // ICES Journal of Marine Science. № 69(5). 2012. P. 852–863. https://doi.org/10.1093/icesjms/fss056.

4) Polyakov I., Timokhov L., Dmitrenko I., Ivanov V., Simmons H., Beszczynska-Möller A., Dickson R., Fahrbach E., Fortier L., Gascard J.-C., Hölemann J., Holliday N.P., Hansen E., Mauritzen C., Piechura J., Pickart R., Schauer U., Walczowski W, Steele M. Observational program tracks Arctic Ocean transition to a warmer state // Eos Trans. AGU. № 88(40). 2007. P. 398–399. https://doi.org/10.1029/2007EO400002.

5) Журбас Н.В. Оценка расхода и термохалинных характеристик атлантических вод в Евразийском бассейне // Метеорология и Гидрология. № 9. 2019. С. 38–51.

6) Zhurbas N., Kuzmina N. Variability of the thermohaline structure and transport of Atlantic water in the Arctic Ocean based on NABOS (Nansen and Amundsen Basins Observing System) hydrography data // Ocean Sci. № 16. 2020, P. 405–421. https://doi.org/10.5194/os-16-405-2020.

ОПТИЧЕСКИЕ И МИКРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРОПОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ НАД МОРЯМИ РОССИЙСКОГО СЕКТОРА АРКТИКИ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ С БОРТА САМОЛЕТА-ЛАБОРАТОРИИ ТУ-134 "ОПТИК"

Зенкова П. Н., Чернов Д. Г., Аршинов М. Ю.

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск

polinazenkova1303@gmail.com

Ключевые слова: аэрозоль, оптические характеристики, микрофизические характеристики, вертикальный профиль, самолет-лаборатория, морская атмосфера

Наиболее типичным аэрозольным замутнением атмосферы высоких широт являются арктические дымки, которые обусловлены переносом аэрозоля с континентальных районов Евразии и Северной Америки [1,2]. Важной составляющей изучения трехмерного распределения арктического аэрозоля и адекватного восстановления его пространственно-временной изменчивости являются наблюдения, выполняемые на борту самолета - лаборатории. С 4 по 17 сентября 2020г. на самолете-лаборатории Ту-134 «Оптик» проводились исследования состава аэрозоля в тропосфере Российского сектора Арктики. Впервые в нашей практике были проведены измерения вдоль побережья по маршруту: Новосибирск - Архангельск - Нарьян-Мар - Сабетта - Тикси - Анадырь - Якутск - Томск, а также над морями Северного ледовитого океана (СЛО): Баренцевым, Карским, Лаптевых, Восточно-Сибирским и Чукотским, а также над Анадырским заливом Берингова моря. Комплекс для измерения оптических и микрофизических характеристик аэрозоля состоял из проточного нефелометра типа ФАН, оптического измерителя массовой концентрации поглощающего вещества (аэтолометра), автоматической диффузионной батареи (АДБ) и спектрометра Grimm [3].

В работе анализируются вертикальные профили распределения массовой концентрации аэрозоля M_A и поглощающего вещества M_{BC}, счетные концентрации аэрозоля N_A над акваториями СЛО, на основе которых проведена оценка оптических характеристик (спектральный ход коэффициент рассеяния и поглощения аэрозоля, альбедо однократного рассеяния).

Наибольшее содержание аэрозоля наблюдалось в Баренцевом и Карском морях, где до 5 км регистрировались максимальные M_A. Высокие значения M_{BC} отмечены в Баренцевом море (0.38±0.86 мкг/м^3), а также в Чукотском море (0.24±0.11 мкг/м^3), минимальные - в Анадырском заливе Берингова моря.

Отчетливо прослеживается тенденция снижения средних значений M_A при движении с запада на восток, и их рост при перелетах в обратном направлении. В Чукотском море для поглощающего вещества, также как и для аэрозоля, наблюдался инверсный характер вертикального профиля, начиная с приземных значений и до 6-7 км. Разброс значений массовой концентрации аэрозоля M_A в полетах, включающих морские участки, меньше, чем в полетах только над сушей.

Для оценки и последующей апробации радиационных расчетов взяты средние значения вертикального профиля аэрозольного коэффициента рассеяния на длине волны 0.52 мкм под углом 45°. На основе измерений счетных концентраций аэрозоля микроструктура сухих частиц аппроксимируются в виде суперпозицией двух логнормальных распределений субмикронной и крупнодисперсной фракции. На первом этапе расчетов рассматривались не поглощающие частицы с показателем преломления $n = 1,5$. Параметры фракций (модальный радиус, полуширина распределения и амплитуда) для указанного набора высот подбиралась таким образом, чтобы рассчитанный по теории Ми коэффициент направленного рассеяния μ(0,52 мкм, 45°) сухой субмикронной фракции совпадал со средним значением для данной высоты. Далее комплексный показатель преломления моделировался с учетом поглощающего вещества. Опираясь на результаты работ [4,5], поглощающее вещество представлено в субмикронной фракции логнормальным распределением. Учет

изменения радиуса частицы от относительной влажности проводился по формуле Хенеля [6]. Комплексный показатель преломления при изменении относительной влажности воздуха определялся как функция радиуса по правилу смеси в предположении, что объем частиц при увлажнении увеличивается только за счет конденсации паров воды. На этой основе осуществляется моделирование всего комплекса оптических характеристик с переменными значениями комплексного показателя преломления для частиц разных размеров.

Разработка модели оптических характеристик с учетом поглощающих и гигроскопических свойств аэрозоля осуществлялась в рамках государственного задания ИОА СО РАН, а оценка спектрального хода коэффициентов рассеяния и поглощения, альбедо однократного рассеяния по данным измерений в летной экспедиции в Арктических районах выполнена при финансовой поддержке РНФ (соглашение № 19-77-20092).

Список литературы

1) Виноградова А.А., Шевченко В.П. Роль атмосферных аэрозолей в загрязнении Северного Ледовитого океана и его морей // Оптика атмосф. и океана. 2005. Т. 18, № 5–6. С. 387–394.

2) Виноградова А.А., Смирнов Н.С., Коротков В.Н., Романовская А.А. Лесные пожары в Сибири и на Дальнем Востоке: эмиссии и атмосферный перенос черного углерода в Арктику // Оптика атмосф. и океана. 2015. Т. 28, № 6. С. 512–520

3) Панченко М. В., Кабанов М. В., Пхалагов Ю. А., Белан Б. Д., Козлов В. С., Сакерин С. М., Кабанов Д. М., Ужегов В. Н., Щелканов Н. Н., Полькин В. В., Терпугова С. А., Толмачев Г. Н., Яушева Е. П., Аршинов М. Ю., Симоненков Д. В., Шмаргунов В. П., Чернов Д. Г., Турчинович Ю. С., Полькин Вас.. В., Журавлева Т. Б., Насртдинов И. М., Зенкова П. Н. Комплексные исследования тропосферного аэрозоля в ИОА СО РАН (этапы развития). // Оптика атмосферы и океана. 2019. Т. 32. № 09. С. 703-716. DOI: 10.15372/AOO20190904

4) Panchenko, M. V., Kozlov, V. S., Polkin, V. V., Polkin, Vas. V., Terpugova, S. A., Uzhegov, V. N., Chernov, D. G., Shmargunov, V. P., Yausheva, E. P., Zenkova, P. N. Aerosol characteristics in the near-ground layer of the atmosphere of the city of Tomsk in different types of aerosol weather. // Atmosphere. 2020, 11(1), P. 20–39. https://doi.org/10.3390/atmos11010020

5) Schulz, H., Zanatta, M., Bozem, H., Leaitch, W. R., Herber, A. B., Burkart, J., Willis, M. D., Kunkel, D., Hoor, P. M., Abbatt, J. P. D., and Gerdes, R.: High Arctic aircraft measurements characterising black carbon vertical variability in spring and summer, Atmos. Chem. Phys., 19, 2361–2384, https://doi.org/10.5194/acp-19-2361-2019, 2019.

6) Hanel G. The properties of atmospheric aerosol particles as function of relative humidity at the thermodynamic equilibrium with surrounding moist air // Adv. in Geophys. 1976. V. 19. P. 73-188.

ГРИБОВИДНЫЕ СТРУКТУРЫ ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЫ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

Иванов К.Д., Травкин В.С.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

kirch2000@gmail.com

Ключевые слова: спутниковые данные, грибовидные течения, Лофотенская котловина, Норвежское море, GLORYS12V1

Лофотенская котловина находится в центральной части Норвежского моря. С западной и восточной части котловину огибают две основные ветви Норвежского течения, несущие в Арктический бассейн теплые и соленые атлантические воды - Норвежское фронтальное и Норвежское склоновое течения. С юга и востока котловина граничит с плато Воринг и континентальным склоном Скандинавии, а с северо-запада с хребтом Мона. Все это позволяет считать Лофотенскую котловину обособленным образованием, которому присущи специфические свойства крупномасштабной циркуляции вод [1].

Объектом исследования являются грибовидные течения (или вихревые диполи). Это одна из самых часто встречающихся форм когерентных движений вод в океане [2, 3]. Перенос воды внутри данной структуры осуществляется в направлении струйной части структуры, при этом окружающие воды вовлекаются внутрь вихрей диполя. Грибовидные течения обладают свойством создавать сложные мультипольные структуры, состоящие из упаковок и разветвления первоначальных вихрей во вторичные диполи. Это свойство делает данные течения эффективным механизмом перемешивания вод в океане [4].

Целью работы является обнаружение грибовидных течений в Лофотенской котловине Норвежского моря с последующим выявлением их основных свойств, поиск наиболее интересных мезомасштабных взаимодействий в период с 2008 по 2018 гг., таких как: слияние и разъединение отдельных вихрей, эволюция и изменчивость дипольных и трипольных структур.

В работе используются ежедневные данные температуры, солености, u и v компонентов скоростей реанализа GLORYS12V1 [5] за период 2008-2018 гг. Пространственная дискретность составляет $1/12^\circ$ (около 8 км), по вертикали массив содержит 50 горизонтов. Данный реанализ основан на системе прогнозирования CMEMS (Copernicus Marine Environment Monitoring Service), также компонентом модели является платформа NEMO.

Установлена сильно выраженная временная изменчивость вихревых структур в районе Лофотенской котловины.

Так, например, в конце января 2010 года происходит обновление Лофотенского вихря, являющегося мезомасштабным антициклоном. Интересно то, что на периферии скорости достигают 50 см/с, тогда как в центре вихря они близки к нулю. В западной части исследуемой области происходит формирование другой мезомаштабной структуры, которая в дальнейшем формирует единую трипольную структуру.

В начале февраля 2010 года Лофотенский вихрь растягивается в меридиональном направлении, что сопровождается формированием меандров на его западной периферии. Орбитальные скорости Лофотенского вихря в данный момент достигают значений 40-50 см/с.

18 февраля 2010 года в районе 69.8° с.ш., 4° в.д. в непосредственной близости от Лофотенского вихря наблюдается мезомасштабный антициклонический вихрь.

3 марта 2010 года наблюдаемая трипольная структура разрушена.

Таким образом, можно говорить о том, что эволюция рассматриваемой структуры происходила на протяжении полутора-двух месяцев (с 22 января по 3 марта 2010 года).

Отдельно хотелось бы отметить, что данный сценарий развития Лофотенского вихря не является закономерностью. Об этом свидетельствует анализ более длинного ряда наблюдений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 18-17-00027).

Список литературы

1) Алексеев В. А., Иванов В. В., Репина И. А., Лаврова О. Ю., Статичный С. В., Конвективные структуры в Лофотенской котловине по данным спутников и буёв Арго, Исследование Земли из космоса, № 1–2., 2016, с. 90–104

2) Федоров К.Н., Гинзбург А.И. Приповерхностный слой океана. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 303 с.

3) Федоров К.Н., Гинзбург А.И. Грибовидные течения (вихревые диполи) – одна из наиболее распространенных форм когерентных движений в океане // Когерентные структуры и самоорганизация океанских движений. М.: Наука, 1992. С. 12–20.

4) Гинзбург И. А., Крек Е. В., Костяной А. Г., Соловьев Д. М. Эволюция мезомасштабного антициклонического вихря и вихревых диполей/мультиполей на его основе в юго-восточной Балтике (спутниковая информация: май-июль 2015 г.), Океанологические исследования, № 1., Том 45. 2017. с. 10–22.

5) Сайт европейской программы Copernicus https://resources.marine.copernicus.eu/?option=com_csw&task=results?option=com_csw&view=details&product_id=GLOBAL_REANALYSIS_PHY_001_030

ЗАЛИВ ЧЕРНЫШЕВА АРАЛЬСКОГО МОРЯ КАК КРУПНЕЙШЕЕ ГЕЛИОТЕРМАЛЬНОЕ ОЗЕРО

Ижицкий А.С.[1], **Кириллин Г.Б.**[2], **Гончаренко И.В.**[1], **Курбаниязов А.К.**[3], **Завьялов П.О.**[1]

[1]*Институт Океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, г. Москва, Россия*

[2]*Leibniz-Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries, Berlin, Germany*

[3]*Международный казахско-турецкий университет им. Ясави, г. Туркестан, Казахстан*

izh@ocean.ru

Ключевые слова: Аральское море, меромиктический водоем, перемешивание, гелиотермальное озеро, залив Чернышева, тепловой баланс

Высыхание Аральского моря, бессточного озера в аридной зоне, расположенного на границе между Казахстаном и Узбекистаном, демонстрирует, насколько глубоко антропогенные и климатические изменения в цикле регионального водного баланса могут менять режим вертикального перемешивания озер. С 1961 г. забор пресной воды из впадающих в Аральское море рек привел к быстрому уменьшению его объема [1]. Потеряв около 90% площади своей поверхности, некогда солоноватое димиктическое озеро разделилось на несколько обособленных водоемов со значительно различающимися гидрологическими и биогеохимическими условиями [2]. Минерализация вод самого крупного остаточного бассейна - Большого (Южного) Арала - повысилась с 10 г/кг до более 200 г/кг, что сопровождалось формированием вертикальной халинной стратификации, не наблюдавшейся в полностью перемешиваемом Аральском море до начала высыхания [3,4]. Развитие устойчивой халинной стратификации с бескислородными условиями в придонном слое наблюдалось на поздних этапах высыхания и в северной части Большого Арала, бывшем заливе Чернышева [2], характеризуясь уникальной слоистой структурой. Так, в октябре 2014 г. на глубине 6.3 м был впервые зафиксирован резкий промежуточный максимум температуры со значениями 24.4 °C, при этом значения температуры верхнего перемешанного и придонного слоя достигали 11.2 °C и 15 °C соответственно. Наблюдавшиеся особенности осенней вертикальной стратификации и наличие более теплого (относительно поверхности) придонного слоя могли говорить о меромиктическом характере условий перемешивания в водоеме. Кроме того, недостаточно ясной оставалась природа происхождения резкого промежуточного максимума температур. Формирование целостной картины режима вертикального перемешивания в заливе Чернышева на межгодовом и сезонном масштабах требовало проведения дополнительных наблюдений и анализа, что и явилось основной целью исследования.

В работе рассмотрены результаты специализированных натурных наблюдений, проведенных в двух экспедициях на Аральском море в октябре 2015 г. и июне 2016 г., а именно: данные автономных измерений температуры и кислорода, вертикального CTD-зондирования, лабораторных анализов проб воды. Исследование сезонного цикла параметров теплового баланса проводилось с помощью разработанной одномерной численной модели вертикального перемешивания. В качестве начальных условий в модель задавались основанные на натурных данных вертикальные профили температуры и коэффициента турбулентного обмена. Компоненты радиационного баланса и внешних атмосферных условий для модельных сценариев были рассчитаны по данным метеорологического реанализа ERA-Interim.

Согласно полученным результатам, вертикальная структура вод залива имела ярко выраженную трехслойную структуру: верхний перемешанный слой, слой с резким скачком солености на глубине от 4 до 6 м и придонный квазиоднородный слой (миксолимнион, хемоклин и монимолимнион соответственно). Условия освещенности сильно различались по вертикали: верхний прозрачный слой имел резкую нижнюю границу с максимумом мутности на хемоклине. Ниже хемоклина мутность воды уменьшалась, но оставалась вдвое выше, чем в миксолимнионе. Водная толща под

резким пиком мутности в хемоклине оставалась полностью непроницаемой для солнечного излучения. Значения прозрачности по белому диску (Секки) составили 6.5 м, что соответствовало глубине пика мутности. Вертикальное профилирование в период осеннего выхолаживания (октябрь 2015 г.) и в период летнего нагрева (июнь 2016 г.) позволило оценить диапазон сезонных колебаний температуры и содержания кислорода. Наиболее яркая особенность теплового режима - формирование промежуточного максимума температуры в октябре. Трехслойная вертикальная структура, по-видимому, образовалась в результате слияния водных масс с разными физическими свойствами: приток гипергалинных вод из восточного бассейна Большого Арала в нижний слой и наличие менее соленых вод из западного бассейна и Малого Аральского моря в верхних слоях. Присутствие резкого вертикального градиента прозрачности преобразует хемоклин в «ловушку» для нисходящей коротковолновой радиации и способствует накоплению в нем тепла в период летнего прогрева. Согласно данным заякоренных автономных измерителей температуры и кислорода, положение хемоклина не менялось со временем, осеннее выхолаживание затрагивало только верхний перемешанный слой без обмена с монимолимнионом. Анаэробные условия в монимолимнионе наряду со значениями температуры 15.2 °C оставались неизменными под хемоклином в течение зимы.

Таким образом, бывший залив Аральского моря - залив Чернышева - превратился в меромиктический гелиотермальный водоем с экстремальными температурным, световым и химическим режимами. Среди менее чем 30 гелиотермальных водоемов в мире [5] залив Чернышева с площадью $\sim$ 80-90 км^2 является крупнейшим гелиотермальным озером. Гелиотермальный режим водоема обеспечивает поддержание в монимолимнионе высоких значений температуры (около 15-16 °C) в течение продолжительной холодной зимы, что создает благоприятные условия для развития процессов анаэробного разложения органики. Так, общее содержание метана в бассейне увеличилось с приблизительно $3 \cdot 10^5$ кг в 2015 г. до приблизительно $5 \cdot 10^5$ кг в 2016 г. [6].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и DFG в рамках научного проекта №20-55-12007

Список литературы

1) Завьялов П. О. и др. Большое Аральское море в начале XXI века: физика, биология, химия. М.: Наука. 2012. 229 с.

2) Izhitskiy A. S. et al. Present state of the Aral Sea: diverging physical and biological characteristics of the residual basins // Scientific reports T. 6(1). 2016. C. 1-9

3) Izhitskiy A. S. et al. On thermohaline structure and circulation of the Western Large Aral Sea from 2009 to 2011: Observations and modeling // Journal of Marine Systems T. 129. 2014. C. 234-247

4) Ижицкий А. С. и др. Гидрофизическое состояние Большого Аральского моря осенью 2013 г.: термическая структура, течения, внутренние волны // Океанология Т. 54(4). 2014. С. 451-451

5) Turner J. V. et al. Cyclic heliothermal behaviour of the shallow, hypersaline Lake Hayward, Western Australia // Journal of Hydrology T. 560. 2018. C. 495-511

6) Izhitskaya E. S. et al. Dissolved methane in the residual basins of the Aral Sea // Environmental Research Letters T. 14(6). 2019. C. 065005

ПОВТОРЯЕМОСТЬ АПВЕЛЛИНГОВ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКЕ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА

Капустина М.В., Зимин А.В.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия

kapustina.mariya@ya.ru

Ключевые слова: Балтийское море, температура поверхности моря, апвеллинг.

Прибрежный апвеллинг в Балтийском море является типичным явлением [6]. Он возникает либо при ветре, направленном приблизительно параллельно берегу, находящемуся слева (классический, или экмановский, апвеллинг), либо при ветре, направленном с суши на море (сгонно-нагонный апвеллинг). При этом происходит сгон поверхностных вод и подъём на их место более холодных глубинных вод. Апвеллинг может привести к поднятию в поверхностный слой вод, насыщенных биогенными элементами.

Большое количество работ посвящено описанию аномалий температуры поверхности моря (ТПМ), в т.ч. апвеллингов, по данным дистанционного зондирования [1, 4]. Однако эти методы также имеют ограничения, основной из которых является облачность. Кроме того, определение апвеллинговых зон по спутниковым снимкам применимо только к тем апвеллингам, в результате которых термоклин достигает поверхности в области апвеллинга - к полным апвеллингам. Целью данной работы является проверка метода автоматической идентификации апвеллингов в юго-восточной части Балтийского моря по данным реанализа в 2010-2019 гг. и статистическая оценка их пространственно-временных масштабов.

Расчет повторяемости термических аномалий производился по данным реанализа CMEMS Baltic Sea Physical Reanalysis product [3] - ежесуточные данные о температуре воды на глубине 1.5 м на регулярной сетке с размером ячейки примерно 4×4 км. Валидация данных реанализа производилась на основе сопоставления с термокосой (гирляндой термодатчиков), установленной на морской ледостойкой стационарной платформе Д-6 в прибрежной зоне море (более подробно описание данных представлено в [2, 5]). Коэффициент корреляции составил 0.96.

Для каждого года зоны пониженной температуры определялись в период с мая по октябрь, т.е. в теплое время года, когда наблюдалась термическая стратификация, для зоны, ограниченной координатами 18.90-21.20 в.д., 54.30-56.00 с.ш. Среднесуточная температура воды рассчитывалась в квадрате в глубоководном районе в северо-западной части участка данных. Длина края квадрата составляет около 50 км, расстояние от берега - 70 км и более, координаты 18.90-19.68 в.д., 55.558-56.00 с.ш. Полоса воды у берега, в которой отмечалось значение температуры меньше средней температуры воды на пороговое значение, отмечалась как зона апвеллинга. Пороговым значением было выбрано значение 1°C, в соответствии с оценками разницы температуры воды между зоной апвеллинга и окружающими водами, представленными в [1, 6].

Площадь апвеллингов рассчитывалась для двух районов, разделенных мысом Таран: (1) часть побережья Литвы, побережье Куршской косы совместно с северным побережьем Калининградской области и (2) часть побережья Польши, западное побережье Калининградского полуострова совместно с побережьем Балтийской косы.

Для верификации алгоритма проводился визуальный анализ ТПМ 2014 г. по данным спектрорадиометра MODIS (Terra/Aqua). Было показано, что апвеллинги с помощью алгоритма выявляются несколько чаще, что, вероятно, связано с частой облачностью в этом районе, при этом даты выявленных визуально прибрежных апвеллингов совпадают с выявленными алгоритмом.

Проведенный анализ 122 эпизодов прибрежных апвеллингов в Юго-Восточной Балтике за 2010-2019 гг. показал, что их наибольшая повторяемость наблюдается в октябре и мае, продолжительность апвеллинга варьирует от одного до 61 дня (наблюдался вдоль Куршской косы в мае-июне 2019 г.). Частота прибрежного апвеллинга в юго-восточной части Балтийского моря невелика - в

среднем около 7±2% (8±2%) дней в теплый период года отмечены отрицательными аномалиями температуры в прибрежной зоне шириной около 8 км (4 км). Наиболее часто апвеллинги наблюдаются у побережья Польши (до 19% дней за исследуемый период), Литвы (до 10%) и вдоль Куршской косы (до 9%). Максимальная повторяемость апвеллингов в этих районах отмечается в отдельные годы (2013-2016). Реже зоны подъема вод отмечаются в районе северного и западного побережья Калининградской области (около 6%). Для северного побережья отмечено отсутствие апвеллингов в отдельные годы (2012, 2013, 2017 гг.).

Средняя ширина апвеллинга вдоль Куршской косы составила около 30-40 км; на северном побережье апвеллинг имел меньший масштаб - около 10 км в ширину; на западном побережье апвеллинг преимущественно располагался вдоль берега, занимая до 20 км в сторону моря. В районе Балтийской косы ширина апвеллинга в среднем составила около 30 км.

Проведенный анализ повторяемости прибрежных апвеллингов, в целом, показал хорошую сходимость полученных результатов полученным ранее оценкам повторяемости апвеллингов в Юго-Восточной Балтике, составляющим в среднем 5-10%. Кроме того, схожие результаты были получены в [Есюкова и др., 2017], где по результатам анализа ТПМ вдоль створов в прибрежной зоне Юго-Восточной Балтики (с учетом района Хельской косы) с мая по октябрь 2000-2014 гг. в были выявлены 135 событий апвеллинга. Настоящее исследование требует включение в анализ метеорологических данных, которые помогут уточнить генезис выявленных эпизодов понижения температуры в прибрежной зоне.

Авторы выражают благодарность ООО «Лукойл-КМН» (г. Калининград) за помощь в организации получения данных.

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

Список литературы

1) Есюкова, Е.Е., Чубаренко И.П., Стонт Ж.И. Апвеллинг или дифференциальное выхолаживание? Анализ спутниковых ТПМ-изображений юго-восточной части Балтийского моря // Водные ресурсы. – 2017. – Т. 44. – №. 1. – С. 28-37.

2) Мысленков С. А., Кречик В. А., Бондарь А. В. Суточная и сезонная изменчивость температуры воды в прибрежной зоне Балтийского моря по данным термокосы на платформе Д-6 // Экологические системы и приборы. – 2017. – №. 5. – С. 25-33.

3) Axell, L.; Huess, V. Product User Manual, Tech. rep., Copernicus Marine Environment Monitoring Service. 2020 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://resources.marine.copernicus.eu/documents/PUM/CMEMS-BAL-PUM-003-011.pdf

4) Dabuleviciene T., Kozlov I.E., Vaiciute D., Dailidiene I. Remote sensing of coastal upwelling in the south-eastern Baltic Sea: Statistical properties and implications for the coastal environment // Remote Sensing. – 2018. – Т. 10. – №. 11. – 1752.

5) Krechik V., Myslenkov S., Kapustina M. New possibilities in the study of coastal upwellings in the Southeastern Baltic Sea with using thermistor chain // Geography, Environment, Sustainability. – 2019. – Т. 12. – №. 2. – С. 44-61.

6) Lehmann A., Myrberg K. Upwelling in the Baltic Sea—a review // Journal of Marine Systems. – 2008. – Т. 74. – S3-S12.

МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СТРУКТУРЫ И ХАРАКТЕРИСТИК ВОД ПРОЛИВА БРАНСФИЛД ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ ААНИИ

Кашин С.В.[1], Антипов Н.Н.[1], Чистяков И.А.[1], Федотова А.А.[2]

[1] ФГБУ «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт», г.Санкт-Петербург

[2] Московский Государственный университет имени М.В. Ломоносова, г.Москва

smith51@yandex.ru

Ключевые слова: Южный океан, пролив Брансфилд, вода пролива Брансфилд, циркумполярная глубинная вода, Антарктическое циркумполярное течение

Район северной оконечности Антарктического полуострова и Южных Шетландских островов отличается сложным характером распределения океанологических характеристик, определяемым взаимодействием водных масс различного происхождения. Здесь встречаются воды моря Беллинсгаузена и моря Уэдделла, весьма отличные друг от друга по своим свойствам. Значительное влияние оказывают водные массы, переносимые Антарктическим циркумполярным течением (АЦТ). В западной части Тихоокеанского сектора Южного океана АЦТ вплотную приближается к шельфу и поставляет тёплые и солёные циркумполярные глубинные воды (ЦГВ) непосредственно на шельф. Для пролива Брансфилд характерна следующая схема распределения водных масс: вдоль восточного берега Южных Шетландских островов с юга на север проходит поток тёплых вод из моря Беллинсгаузена (с возможным ограниченным поступлением ЦГВ непосредственно из АЦТ), вдоль побережья Антарктического полуострова с севера на юг распространяются трансформированные воды моря Уэдделла [1,2]. В проливе Брансфилд глубоководные котловины заполнены водной массой с температурой ниже 0 °C (в придонном слое ниже -1.7 °C) и солёностью 34.4 - 34.6, названной водой пролива Брансфилд (ВПБ). Предполагается, что нижний слой этой водной массы представляет собой смесь ЦГВ из АЦТ, глубинной воды моря Уэдделла и шельфовых вод с северо-запада моря Уэдделла, а в верхнем слое преобладают воды из моря Уэдделла [3].

Район пролива Брансфилд посещается научно-экспедиционными судами ААНИИ «Академик Федоров» и «Академик Трёшников» в ходе обеспечения станции Беллинсгаузен в период сезонных работ Российской антарктической экспедиции (РАЭ). С 2016 года выполняется океанологический разрез поперёк юго-западной котловины пролива от острова Кинг-Джордж до острова Жуэнвиль. Разрез состоит из 11 станций и имеет длину 119.4 км. Работы выполняются с помощью судового зондирующего комплекса SBE-911plus, обеспечивающего регистрацию давления, температуры, электропроводности и содержания растворённого кислорода.

В данный момент имеются данные по четырём реализациям разреза (в апреле 2016, 2017 и 2018 гг., а также в марте 2020 г.), что позволяет сделать приблизительную оценку межгодовой изменчивости характеристик водных масс в проливе Брансфилд.

Наибольший интерес представляет ВПБ, заполняющая глубоководную часть пролива. На разрезе 2016 года данная водная масса обладала характеристиками, близкими к воде моря Уэдделла - температура в придонном горизонте опускалась до -1.74 °C при солёности 34.59. Верхняя граница ВПБ, за которую условно принята изотерма -1.05 °C, располагалась в интервале глубин 560-670 м. Разрез 2017 года продемонстрировал незначительное изменение характеристик ВПБ ($T_{мин}$ -1.74 °C, солёность 34.60), при этом было отмечено некоторое заглубление изотермы -1.05 °C, располагавшейся в 2017 году в интервале глубин 610-730 м, однако нельзя было сделать выводы о том, что это межгодовая изменчивость в виду малой величины ряда. Значимое повышение температуры воды впервые было отмечено на разрезе 2018 года, когда минимальная температура на придонном горизонте составила от -1.67 до -1.44 °C при солёности 34.55. Глубина верхней границы составила в среднем 800 м [4].

Характеристики ВПБ, полученные на разрезе в 2020 году, вновь продемонстрировали наличие тренда на относительное потепление водной массы. Температура в придонном горизонте не опускалась ниже -1.57 °C, при этом солёность в целом оставалась прежней, составляя в среднем 34.55. Верхняя граница слоя залегала на глубинах 700-800 метров, что сопоставимо с данными 2018 года. В то же время, глубина залегания холодного (T<-1.60 °C) придонного слоя за 5 лет увеличилась - с 1000 м в 2016 году до 1400 м в 2018 году, а в 2020 году этот слой полностью исчез даже в самой глубокой части разреза [5].

Резюмируя результаты 5 лет наблюдений, нужно отметить основные моменты: минимальная температура ВПБ в придонном слое выросла в среднем на 0.2 °C, солёность незначительно снизилась - на 0.02, при этом значительно уменьшилась мощность слоя ВПБ, что выразилось в упомянутом выше заглублении верхней границы слоя на 200-300 м и исчезновении холодного придонного слоя.

В целом, прошедший 5-летний период наблюдений на этом разрезе показал очевидную тенденцию к потеплению вод глубинных слоёв пролива. Это может быть вызвано как усилением притока тёплых вод из моря Беллинсгаузена, так и ослаблением поступления холодных вод из моря Уэдделла. Возможно и изменение характеристик глубинных вод, поступающих из моря Уэдделла.

Выявленная существенная межгодовая изменчивость структуры и характеристик вод в области взаимодействия вод АЦТ и пролива Брансфилд делает перспективным как повторение наблюдений на рассмотренном разрезе, так и их расширение. Мониторинг изменения свойств водных масс в котловинах пролива Брансфилд может быть использован для выявления климатических изменений в состоянии вод Южного океана. Работы в проливе Брансфилд будут продолжены в ходе 66-й сезонной РАЭ в марте-апреле 2021 года.

Список литературы

1) Sangrà P., et al. The Bransfield current system. // Deep-Sea Res. I. Vol. 58, Issue 4. 2011. P. 390-402
2) Smith D. A, et al. Hydrography and circulation of the West Antarctic Peninsula Continental Shelf // Deep Sea Res. I. Vol. 46, Issue 6. 1999. P. 925-949
3) Hofmann E. E., et al. Water Mass Distribution and Circulation West of the Antarctic Peninsula and Including Bransfield Strait // Foundations for Ecological Research West of the Antarctic Peninsula. Antarct. Res. Ser. Vol. 70. 1996. P. 61-80
4) Кашин С.В., Молчанов М.С., Чистяков И.А Океанографические работы в период 63-й сезонной РАЭ // Морские исследования и образование (MARESEDU-2018) Труды VIIМеждународной научно-практической конференции. Сборник. Москва, 2019. С. 109-116
5) Кашин С.В., Антипов Н.Н., Молчанов М.С. Океанографические работы в Тихоокеанском секторе Антарктики в 65-й сезонной РАЭ // Морские исследования и образование (MARESEDU-2020) Труды IX Международной научно-практической конференции. Сборник. Москва, 2019. С. 196-199

ИЗМЕРЕНИЯ ДОПЛЕРОВСКИХ СПЕКТРОВ ОТРАЖЕННОГО МИКРОВОЛНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ МАЛЫХ УГЛАХ ПАДЕНИЯ НА РЕКЕ

Ковалдов Д.А., Рябкова М.С., Караев В.Ю., Титченко Ю.А., Мешков Е.М., Зуйкова Э.М.

Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород, Россия

d.kovaldov@ipfran.ru

Ключевые слова: скорость и направление течения, ширина и смещение доплеровского спектра, метод Кирхгофа, развивающееся ветровое волнение, малые углы падения, коэффициенты асимметрии и эксцесса.

В настоящее время задача измерения и мониторинга глобального поля морских течений становится актуальной и привлекает внимание ученых во всем мире. Разработан целый ряд проектов космических радаров, которые могут быть использованы для измерения течений [1, 2]. Для измерения скорости течения предлагается использовать спектральные характеристики отраженного радиолокационного сигнала. Доплеровский спектр содержит информацию о характеристиках поверхности, связанной с ее движением, и необходимо научиться ее извлекать. При малых углах падения рассеяние происходит на участках волнового профиля крупномасштабного волнения, которые ориентированы перпендикулярно падающему излучению. На течении происходит трансформация спектра волнения, что приводит к изменению статистических характеристик рассеивающей поверхности и влияет на спектральные характеристики отраженного радиолокационного сигнала. В проекте SKIM (Sea surface KInematics Multiscale monitoring) [2] предлагается измерять течения при малых углах падения по доплеровскому сдвигу отраженного радиолокационного сигнала. Однако экспериментальные подтверждения эффективности такого подхода отсутствовали до недавнего времени. Проведение измерений в морских условиях является достаточно сложной технической задачей, поэтому для оценки потенциала области малых углов падения для измерения скорости течения был проведен цикл измерений в речных условиях. В речных условиях направление течения и его скорость могут быть легко измерены. Для полноценного исследования необходимо выполнить сравнение экспериментальных данных с моделью доплеровского спектра (ДС). Для получения количественных оценок необходимо для волнения, сформировавшегося на реке, вычислить статистические моменты второго порядка, которые используются в модели доплеровского спектра отраженного сигнала. Несколько выездных экспериментов были проведены летом-осенью 2019 года на Молитовском мосту через реку Ока в Нижнем Новгород. В работе [3] теоретически рассмотрена задача о влиянии речного течения на доплеровский спектр отраженного сигнала, в работе [4] приведены результаты экспериментов и сравнение с теоретическими расчетами. Однако выездные эксперименты не позволяют получить большой объем экспериментальных измерений при различных метеорологических условиях, так, в экспериментах 2019 года удалось исследовать только случай распространения волнения в направлении течении (ветер по течению) и отражения СВЧ излучения от переднего склона волны, поэтому было принято решение провести долгосрочные измерения. Для проведения измерений использовался когерентный доплеровский радиолокатор с длинной волны 9.7 мм, с симметричной диаграммой направленности антенны ($6\times6^\circ$), который был установлен на метромосту через р. Оку в черте Нижнего Новгорода. В данной работе экспериментальная установка была доработана и дополнена поворотным механизмом, позволяющим изменять угол падения излучения, а также поворачивать локатор в азимутальном направлении, и камерой. Поворотный механизм, камера и радиолокатор управлялись дистанционно. Эксперименты были проведены осенью 2020 года. Внесённые изменения позволили увеличить частоту экспериментальных измерений и повторяемость условий эксперимента, в которых меняется лишь направление и интенсивность ветра, что позволяет нам исследовать влияние параметров внешних условий на доплеровский спектр радиолокационного СВЧ-сигнала.

Так, удалось провести измерения для редкого встречающегося случая распространения волнения против течения (ветер против течения). Кроме того, был исследован случай отражения СВЧ излучения от заднего склона волны. Полученные результаты позволяют нам изучить спектральные и энергетические характеристики отражённого радиолокационного сигнала при различных углах падения в условиях речного течения. В работе [5] было показано, что асимметрия и эксцесс доплеровского спектра наряду с шириной и смещением являются информативными параметрами, например, позволяют определить границу применимости метода Кирхгоффа для конкретного эксперимента. Было рассмотрено три варианта измерений доплеровского спектра отраженного электромагнитного сигнала на реке при малых углах падения: 1. ветер сонаправлен с течением, СВЧ сигнал отражается от переднего склона волны; 2. ветер противонаправлен течению, электромагнитный сигнал отражается от переднего склона волны; 3. ветер противонаправлен течению, электромагнитный сигнал отражается от заднего склона волны. Смещение ДС больше в первом случае за счет дополнительного сдвига, связанного с течением, ширина ДС в третьем случае более чем в два раза превышает ширину ДС в первом случае, эксцесс существенно отличается для всех трех случаев и чувствителен как к изменению направления зондирования, так и к направлению ветра.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 20-05-00462-а).

Список литературы

1) Gommenginger C., Chapron B., Hogg A., Buckingham C., Fox-Kemper B., Eriksson L. & the international SEASTAR team. SEASTAR: A Mission to Study Ocean Submesoscale Dynamics and Small-Scale Atmosphere-Ocean Processes in Coastal, Shelf and Polar Seas // Frontiers in Marine Science. 2019. V. 6. Art. 457. DOI: 10.3389/fmars.2019.00457.

2) Ardhuin F., Brandt P., Gaultier L., Donlon C., Battaglia A., Boy F. & the international SKIM team. SKIM, a Candidate Satellite Mission Exploring Global Ocean Currents and Waves // Frontiers in Marine Science. 2019. V. 6. Art. 209. DOI: 10.3389/fmars.2019.00209.

3) Рябкова М.С., Караев В.Ю., Панфилова М.А., Титченко Ю.А., Мешков Е.М., Зуйкова Э.М. Доплеровский спектр радиолокационного СВЧ-сигнала обратного рассеяиния: эксперимент на реке. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 5. С. 213–227.

4) Рябкова М.С., Караев В.Ю., Панфилова М.А., Титченко Ю.А., Мешков Е.М., Зуйкова Э.М. К вопросу о влиянии речного течения на доплеровский спектр отраженного радиолокационного сигнала при малых углах падения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. в печати

5) Рябкова М.С., Караев В.Ю., Панфилова М.А., Титченко Ю.А., Мешков Е.М., Зуйкова Э.М. Доплеровский спектр радиолокационного СВЧ-сигнала обратного рассеяиния: эксперимент на реке. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 5. С. 213–227.

КИНЕМАТИКА ВНУТРЕННИХ ВОЛН В АРКТИКЕ ПО ДАННЫМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ СПУТНИКОВЫХ РСА НАБЛЮДЕНИЙ

Козлов И.Е., Кудрявцев В.Н.

ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН», г. Севастополь

igor.eko@gmail.com

Ключевые слова: короткопериодные внутренние волны, спутниковая радиолокация морской поверхности, фазовая скорость внутренних волн, Арктика, Sentinel-1

Короткопериодные внутренние волны (КВВ) являются важным элементом динамической структуры океана и влияют на его «среднее» состояние путем вертикального перемешивания, горизонтального и вертикального переноса импульса и энергии. Актуальность исследования поля КВВ в арктическом бассейне обусловлена влиянием первых на вертикальное перемешивание [1, 2], характеристики морского льда и образование полыней [3].

Основным инструментом исследования характеристик КВВ из космоса являются спутниковые радиолокаторы с синтезированной апертурой (РСА), данные которых позволяют определять различные пространственные характеристики КВВ и районы их генерации (например, [4,5]). Одной из важнейших динамических характеристик КВВ является фазовая скорость их распространения. По спутниковым измерениям оценить фазовую скорость КВВ можно косвенно или напрямую. В первом случае оценка возможна на основе РСА измерений с низкой повторяемостью съемок над одним и тем же районом (>12 часов), когда на одном снимке отображаются последовательные пакеты КВВ. Измеряя расстояние между положением лидирующих волн в соседних пакетах и предполагая их приливную генерацию в одном и том же месте с частотой доминирующей приливной компоненты (для Арктики это лунный полусуточный прилив M_2 с периодом 12,4 часа) находится значение фазовой скорости [4]. В случае, если реальная частота генерации наблюдаемых волн будет иной, метод будет давать ошибочные значения. Альтернативным (прямым) способом определения фазовой скорости КВВ является ее оценка по пространственному сдвигу проявлений КВВ в паре последовательных изображений, выполненных с небольшой задержкой по времени (<1-2 часов). Ранее эта методика нередко использовалась для определения значений фазовой скорости КВВ в низких широтах, где помимо РСА данных для этих целей могут быть использованы данные видимого диапазона [4]. Для полярных районов Мирового океана ранее такие оценки не выполнялись из-за низкой повторяемости наблюдений исторических РСА миссий и интенсивной облачности, ограничивающей применение данных оптического диапазона.

Запуск в 2014-2016 годах двух новых полярно-орбитальных спутников Sentinel-1A и 1B, частота измерений которых в Арктике достигает 2-4 раз в сутки с разницей по времени между ближайшими съемками в 40-50 мин. [6], открыл новые возможности для определения фазовой скорости внутренних волн и анализа их эволюции на акватории Северного Ледовитого океана. В настоящей работе на основе анализа последовательных изображений Sentinel-1A и 1B приводятся примеры определения фазовой скорости КВВ в различных районах Арктики и обсуждаются перспективы использования этой информации для определения характеристик вертикальной стратификации верхнего слоя океана. Анализ парных РСА изображений за летне-осенний сезон 2018 года в районе северной части Гренландского моря, пролива Фрама и к северу от архипелага Шпицберген позволил определить значения фазовой скорости для более 200 пакетов внутренних волн. Полученные значения фазовой скорости находятся в диапазоне 0,1-1,1 м/с, при этом максимальные значения зарегистрированы над северным шельфом Гренландского моря (1,1 м/с) и над Плато Ермак (0,85 м/с). Над глубоководной частью пролива Фрама и на шельфе в окрестности архипелага Шпицберген средние значения фазовой скорости находятся в диапазоне 0,2-0,5 м/с. Полученные значения фазовой скорости внутренних волн хорошо согласуются с пространственным распределением значений скорости баротропных приливных течений в районе исследований, что

является косвенным подтверждением приливного характера генерации наблюдаемых внутренних волн.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ № 18-77-00082 и государственного задания 0555-2019-0001.

Список литературы

1) Rippeth, T. P., Vlasenko, V., Stashchuk, N., Scannell, B. D., Green, J. A. M., Lincoln, B. J., & Bacon, S. (2017). Tidal conversion and mixing poleward of the critical latitude (an Arctic case study). Geophysical Research Letters, Vol. 44, P. 12,349– 12,357. https://doi.org/10.1002/2017GL075310.

2) Fer I., Koenig Z., Kozlov I.E., Ostrowski M., Rippeth T.P., & Padman, L., et al. (2020). Tidally forced lee waves drive turbulent mixing along the Arctic Ocean margins. Geophysical Research Letters, Vol. 47, e2020GL088083. https://doi.org/10.1029/2020GL088083.

3) Carr M., Sutherland P., Haase A., Evers K.-U., Fer I., Jensen A., et al. (2019). Laboratory experiments on internal solitary waves in ice-covered waters. Geophysical Research Letters, Vol. 46, P. 12230– 12238. https://doi.org/10.1029/2019GL084710.

4) Kozlov I., V. Kudryavtsev, E. Zubkova, O. Atadzhanova, A. Zimin, D. Romanenkov, A. Myasoedov, B. Chapron. (2015). SAR observations of internal waves in the Russian Arctic seas. Int. Geosci. Remote Sens. Symp., IEEE International, 2015, p. 947-949, doi:10.1109/IGARSS.2015.7325923.

5) Liu B., Yang H., Zhao Z., Li X. (2014). Internal solitary wave propagation observed by tandem satellites, Geophysical Research Letters, Vol. 41, P. 2077– 2085, https://doi.org/10.1002/2014GL059281.

6) Kozlov I.E., Plotnikov E.V., and Manucharyan G.E. (2020). Brief Communication: Mesoscale and submesoscale dynamics in the marginal ice zone from sequential synthetic aperture radar observations. The Cryosphere, Vol. 14, P. 2941–2947, https://doi.org/10.5194/tc-14-2941-2020.

ДИНАМИКА ВИХРЕЙ ПРИКРОМОЧНОЙ ЗОНЫ В АРКТИКЕ ПО ДАННЫМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ СПУТНИКОВЫХ РСА НАБЛЮДЕНИЙ

Козлов И.Е., Плотников Е.В.

ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН», г. Севастополь

igor.eko@gmail.com

Ключевые слова: океанские вихри, орбитальная скорость вихрей, спутниковые радиолокационные изображения, пролив Фрама, прикромочная ледовая зона, Северный Ледовитый океан, Арктика

В настоящей работе продемонстрированы новые возможности по использованию квазисинхронных измерений спутниковых радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) Sentinel-1 A/B для определения горизонтальной скорости течений и орбитальной скорости вращения вихрей на акватории Северного Ледовитого океана. Новизна работы обусловлена запуском в 2014-2016 годах полярно-орбитальных спутников Sentinel-1A и 1B, частота измерений которых в Арктике достигает 2-4 раз в сутки с разницей по времени между ближайшими съемками в 40-50 мин. [1, 2]. Исторические РСА миссии, например, ERS-1, -2, Envisat ASAR, Radarsat-1, -2 не обладали такой возможностью, позволяя определять только пространственные характеристики вихревых структур в Арктике [3,4,5].

На основе использования метода максимальной кросс-корреляции для пары изображений Sentinel-1 в прикромочной ледовой зоне пролива Фрама рассчитано поле горизонтальной скорости течений, в котором отчетливо идентифицируются вихревые образования различного размера и знака вращения. Общая геометрия полученного поля течений хорошо соответствует наблюдаемым в изображениях РСА структурам. Средние значения орбитальной скорости вихрей составили 0,4-0,5 м/с, что соответствует результатам натурных измерений, выполненных в этом районе ранее [6]. Представленная в работе методология анализа спутниковых РСА данных может служить основой для исследования динамических процессов верхнего слоя Северного Ледовитого океана как в субмезомасштабном интервале пространственно-временной изменчивости, так и на больших масштабах.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ № 18-77-00082, а также в рамках государственного задания 0555-2021-0003.

Список литературы

1) Kozlov I.E., Plotnikov E.V. (2020). Dynamics of eddies in the Arctic Ocean from quasi-synchronous Sentinel-1 SAR observations. Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2020. V. 17. № 3. p. 178–186. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-3-178-186.

2) Kozlov I.E., Plotnikov E.V., and Manucharyan G.E. (2020). Brief Communication: Mesoscale and submesoscale dynamics in the marginal ice zone from sequential synthetic aperture radar observations, The Cryosphere, 14, 2941–2947, https://doi.org/10.5194/tc-14-2941-2020.

3) Bashmachnikov I.L., Kozlov I.E., Petrenko L.A., Glock N.I., & Wekerle C. (2020). Eddies in the North Greenland Sea and Fram Strait from satellite altimetry, SAR and high-resolution model data. Journal of Geophysical Research: Oceans, 125, e2019JC015832. https://doi.org/10.1029/2019JC015832

4) Kozlov I.E., Larisa A. Petrenko, Evgeny V. Plotnikov. (2019), Statistical and dynamical properties of ocean eddies in Fram Strait from spaceborne SAR observations, Proc. SPIE 11150, Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions 2019, 111500S; doi: 10.1117/12.2533317.

5) Kozlov I.E., Artamonova A.V., Manucharyan G.E., Kubryakov A.A. (2019), Eddies in the Western Arctic Ocean from spaceborne SAR observations over open ocean and marginal ice zones, Journal of Geophysical Research: Oceans, 124 (9), 6601-6616. https://doi.org/10.1002/2019JC015113

6) Johannessen, O. M., Johannessen, J. A., Svendsen, E., Shuchman, R. A., Campbell, W. J., & Josberger, E. (1987). Ice-edge eddies in the Fram Strait marginal ice zone. Science, 236(4800), 427–429. https://doi.org/10.1126/science.236.4800.427

ФРОНТАЛЬНАЯ И ВИХРЕВАЯ ДИНАМИКА КАРСКОГО МОРЯ В ТЕПЛЫЙ СЕЗОН 2018 ГОДА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Коник А.А.[1,2], **Козлов И.Е.**[2,3]

[1]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН*

[2]*Санкт-Петербургский государственный университет*

[3]*Морской гидрофизический институт РАН*

konikrshu@gmail.com

Ключевые слова: температура морской поверхности, фронтальные зоны, океанские вихри, радиолокатор с синтезированной апертурой, Карское море, Северный Ледовитый океан

В настоящее время благодаря современным спутниковым измерениям температуры поверхности моря, а также общему тренду уменьшения концентрации ледового покрова в Арктике открываются возможности исследования районов с наличием поверхностных термических фронтальных зон [1]. В то же время, современные радиолокационные системы позволяют отслеживать поверхностные проявления вихревых структур, возникающих в результате общей динамики поверхностных течений [2]. Актуальным инструментом для исследования разномасштабных процессов и явлений поверхностного слоя океана на фоне климатических изменений Арктического региона все чаще становятся именно спутниковые наблюдения.

Карское море характеризуется наличием множества поверхностных фронтов, которые формируют внутрисезонную Стоковую фронтальную зону (СФЗ), выделяющуюся как в поле температуры, так и в поле солености. За счет перемешивания речного стока и Карской водной массы на границах фронтальной зоны в результате обострения горизонтальных градиентов гидрологических характеристик и турбулентного перемешивания в пограничном слое формируются меандры и вихревые структуры различных масштабов [3].

В настоящей работе приводятся результаты сравнительного анализа пространственно-временной изменчивости поверхностных проявлений вихревых структур и положений фронтов на акватории Карского моря в теплый сезон 2018 года.

Для регистрации проявлений вихревых структур в Карском море за август и сентябрь 2018 года выполнен анализ 214 спутниковых радиолокационных изображений (РЛИ) Sentinel-1A и -1B, полученных в С-диапазоне на ВВ-поляризации и режимах съемки EW и IW с пространственным разрешением около 40 и 90 м. Для оценки фронтальной динамики использовались среднемесячные и 8-ми дневные данные о температуре поверхности Карского моря (ТПМ) уровня обработки L3 (http://oceancolor.gsfc.nasa.gov), полученные с помощью спутникового радиометра Suomi NPP VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) с пространственным разрешением 4 км. Анализ спутниковых РЛИ и выделение вихревых структур проводились в среде MathWorks © Matlab согласно методике, описанной в работе [3]. Для идентификации СФЗ применялся метод композитных карт с изолиниями температуры и градиентами [4], а оценка количественных характеристик проводилась методом кластерного анализа [5].

В ходе работы для акватории Карского моря рассмотрены особенности пространственного распределения вихрей в августе и сентябре 2018 года и их возможная связь с положением СФЗ. Август характеризуется большей репрезентативностью по сравнению с сентябрем в отношении более полного покрытия спутниковой съемкой региона исследования. Всего в ходе исследования зафиксировано 833 вихря, из которых 593 - в августе, 241 вихрь - в сентябре. Средний диаметр вихрей в августе составил 3,5 км, а в сентябре - 3,2 км. Чаще всего вихри встречались в центральной и северной части Карского моря в районах с неоднородной донной топографией (Новоземельская впадина, Центральная Карская возвышенность). Динамика синоптической изменчивости СФЗ по данным кластерного анализа характеризуется устойчивым положением в западной и центральной

частях Карского моря. По данным спутниковых наблюдений в августе количество вихревых структур на границах фронтальных зон было значительно выше нежели в сентябре. Кроме этого, по данным кластерного анализа площадь СФЗ в августе, когда горизонтальный градиент температуры был минимальным, была почти в два раза больше по сравнению с сентябрем, когда наблюдался максимальный горизонтальный градиент ТПМ. Показано, что наблюдаемые колебания площади СФЗ существенно зависят от летне-осеннего половодья рек Оби и Енисея [6]. Результаты работы позволяют предположить, что генерация большего количества вихрей в районе СФЗ в августе по сравнению с сентябрем обусловлена большей площадью поверхностного опреснённого слоя и менее выраженной вертикальной устойчивостью вод Карского моря, благоприятных для генерации вихрей.

В рамках работы предпринята попытка определения положения СФЗ напрямую на основе анализа РСА изображений. Полученные результаты будут представлены в докладе.

Обработка и анализ спутниковых РСА-данных выполнены в рамках гранта РФФИ № 18-35-20078 мол_а_вед. Обработка данных по температуре морской поверхности с целью выделения положения фронтальных зон проведена в рамках гранта РФФИ № 20-35-90053.

Список литературы

1) Serreze M.C., Meier W.N., The Arctic's sea ice cover: trends, variability, predictability, and comparisons to the Antarctic // Annals of the New York Academy of Sciences. 2018. 18 p.

2) Manucharyan G.E., Timmermans M.L. Generation and separation of mesoscale eddies from surface ocean fronts // J. Physical Oceanography. 2014. V. 43. No. 12. P. 2545–2562.

3) Kozlov I.E., Artamonova A.V., Manucharyan G.E., Kubryakov A.A. Eddies in the Western Arctic Ocean from spaceborne SAR observations over open ocean and marginal ice zones // J. Geophysical Research: Oceans. 2019. V. 124. No. 9. P. 6601–6616.

4) Коник А.А., Зимин А.В., Атаджанова О.А. Количественные оценки изменчивости характеристик температуры поверхности моря в районе фронтальных зон Карского моря // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2019. Т. 12. № 1. С. 54-61.

5) Вайновский П.А., Малинин В.Н. II. Методы обработки и анализа океанологической информации. Многомерный анализ. Учебное пособие. СПб., изд. РГГМИ 1992. 96 с.

6) Магрицкий Д.В., Чалов С.Р., Агафонова С.А., Кузнецов М.А., Банщикова Л.С. Гидрологический режим нижней Оби в современных гидроклиматических условиях и под влиянием крупномасштабной водохозяйственной деятельности // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2019. № 1. С. 106-119.

МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОЛЯРНОЙ ФРОНТАЛЬНОЙ ЗОНЫ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ

Коник А.А.[1,2], **Зимин А.В.**[1,2]

[1]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

[2]*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург*

konikrshu@gmail.com

Ключевые слова: температура морской поверхности, уровень моря, фронтальные зоны, кластерный анализ, Баренцево море, Северный Ледовитый океан

На фоне глобальных климатических изменений изменение положения и характеристик фронтальных зон арктических морей носит все более отчетливый характер [1]. Одним из индикаторов этих изменений является Полярная фронтальная зона (ПФЗ) в Баренцевом море, которая является областью взаимодействия между теплыми атлантическими и холодными арктическими водами. Она проявляется как в данных динамической топографии, так и в температуре поверхности моря [2]. Однако, отсутствие единого подхода в рамках которого могут быть объединены различные виды данных [3, 4] для изучения особенностей динамики и изменчивости характеристик поверхностных проявлений ПФЗ значительно усложняет ее комплексное исследование. Одним из решений данной проблемы является использование кластерного анализа [6].

В настоящей работе рассматривается динамика изменчивости и количественные оценки ПФЗ Баренцева моря с 2001 по 2011 гг. Для оценки фронтальной динамики использовались среднемесячные о температуре поверхности Баренцева моря (ТПМ) спутникового радиометра MODIS AQUA (http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/) разрешением 4 км и среднемесячные осредненные поля температуры GHRSST OSTIA разрешением 0.05° по широте и долготе. Для определения характеристик уровня внутри фронтальной зоны использовались среднемесячные данные абсолютной динамической топографии (АДТ) разрешением 0.25° по широте и долготе международной исследовательской программы Copernicus (https://www.copernicus.eu/en). Для идентификации основного фронта ПФЗ применялся метод композитных карт с изолиниями температуры и градиентами [5], а оценка положения и характеристик (положение, занимаемая площадь, средний и максимальный градиент) фронтальной зоны выполнялась методом кластерного анализа [6].

В ходе работы для акватории Баренцева моря удалось выявить и оценить количественные характеристики ПФЗ в течение десяти лет с апреля по октябрь. С ноября по март из-за значительной облачности над акваторией Баренцева моря и малых температурных контрастов ПФЗ не проявляется. Показано, что западная часть ПФЗ имеет устойчивое положение в районе о. Медвежий в течение всего периода исследования. Положение восточной части ПФЗ характеризуется двумя типами - северным (отмечается в 2007, 2009 и 2011 гг.) и южным (отмечается в 2001-2006, 2008, 2010), что, вероятно, связано с воздействием поля приводного ветра в различные годы. Полученные карты положения ПФЗ показывают наличие сходства с особенностями рельефа в центральной части моря [7] в независимости от сезонов года. Максимальные характеристики градиента ТПМ отмечаются в августе-октябре, а градиента АДТ в апреле-июне и в среднем за десятилетие составляют 0.05°С/км и 0.01м/0.25°. Средняя максимальная площадь ПФЗ отмечается в 2007 году и составляет 330 тыс.км^2, а минимальная в 2003 - 240 тыс.км^2. Установлено, что положение ПФЗ имеет сезонный ход, характеризующийся минимумами весной и максимумами в летне-осенний период. Полученные результаты дают возможность наблюдать наличие связи между оценками площади ПФЗ и периодами минимальной и максимальной площади арктического ледового покрова. Полученные оценки градиентов характеристик согласуются с результатами прошлых исследований [2,3].

Обработка данных по температуре морской поверхности с целью выделения положения фронтальных зон проведена в рамках гранта РФФИ № 20-35-90053.

Список литературы

1) Oziel L., Sirven J., Gascard J.C. The Barents Sea frontal zones and water masses variability (1980–2011) // Ocean Science. 2016. Vol. 12. No. 1. P. 169-184.

2) Башмачников И.Л. Сезонная и межгодовая изменчивость положения динамических и термических фронтов Баренцева, Норвежского и Гренландского морей // Материалы научной конференции «Моря России: наука, безопасность, ресурсы». Севастополь, 3-7 октября 2017 года. Севастополь: Морской гидрофизический институт РАН, 2017. С. 29.

3) Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А., Федирко А.В. Сезонная изменчивость температурных фронтов на поверхности Баренцева моря // Метеорология и гидрология. 2019. № 1. С. 78-90.

4) Atadzhanova O.A., Zimin A.V. Analysis of the characteristics of the submesoscale eddy manifestations in the Barents, the Kara and the White Seas using satellite data // Fundamentalnaya i Prikladnaya Gidrofizika. 2019. Vol. 12. No. 3. P. 36-45.

5) Коник А.А., Зимин А.В., Атаджанова О.А. Количественные оценки изменчивости характеристик температуры поверхности моря в районе фронтальных зон Карского моря // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2019. Т. 12. № 1. С. 54-61.

6) Вайновский П.А., Малинин В.Н. II. Методы обработки и анализа океанологической информации. Многомерный анализ. Учебное пособие. СПб., изд. РГГМИ 1992. 96 с.

7) Зубов Н.Н. Гидрологические работы Морского Научного института в юго-западной части Баренцева моря летом 1928 г на э/с «Персей» // Труды ГОИН. 1932. Т. 2. № 4. 83 с.

НАБЛЮДЕНИЕ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН НА КРУТОМ ШЕЛЬФЕ

Химченко Е.Е.[1], **Серебряный А.Н.**[1,2], **Конюхова А.А.**[3]

[1] *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия*

[2] *АО "Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева", г. Москва, Россия*

[3] *Московский физико-технический институт (НИУ), г. Долгопрудный, Россия*

konyuhova.aa@phystech.edu

Ключевые слова: короткопериодные внутренние волны, субмезомасштабный вихрь, шельф, Черное море.

В шельфовой зоне океанов и морей внутренние волны являются одним из значимых факторов пространственно-временной изменчивости морской среды. Основным источником генерации внутренних волн служат приливообразующие силы. В отличие от океана и открытых морей, в практически замкнутом Черном море, приливы малы и не оказывают влияния на формирование поля внутренних волн. Однако, внутренние волны здесь существуют, выполняя важную роль вертикального перемешивания водной толщи. Наблюдения за внутренними волнами в Черном море охватывают период нескольких десятилетий [1]. Изначально исследования проводились контактными методами, в настоящее время все чаще используются методы дистанционного зондирования [2].

Анализируются данные по наблюдению за полем короткопериодных внутренних волн на северо-восточном шельфе Черного моря (акватория близ м. Красный маяк, Абхазия) в весенне-летний и осенний сезоны 2018-2020 гг. Работы проводились со стационарного морского павильона Института экологии АНА (г. Сухум, Абхазия). В отличие от предшествующих наблюдений, в последние годы для регистрации внутренних волн применялись автономные измерители на основе распределенных датчиков температуры (РДТ) [3]. Использование нескольких таких антенн, разнесенных по пространству, позволяет определить направление распространения цугов внутренних волн.

В месте проведения работ шельф узкий и крутой, с резким свалом глубин, средний уклон дна составляет около 23°. Наличие крутого шельфа в прибрежной зоне способствует развитию особенностей в гидродинамике наблюдаемых прибрежных процессов, в частности, внутренних волн.

Представлено обобщение материала, полученного во время натурных экспериментов в последние несколько лет на абхазском шельфе, а также приведены отдельные примеры цугов наиболее интенсивных внутренних волн. Были выявлены короткопериодные внутренние волны регулярно подходящие к берегу с юго-востока со стороны м. Кодор. Кроме того зарегистрированы волны распространяющиеся от берега, что было показано в работе [4]. Отраженные от берега короткие внутренние волны, вероятно, являются главной отличительной чертой внутриволнового поля узкого шельфа по сравнению с внутренними волнами обычного или широкого шельфа. В эксперименте 2019 г появление короткопериодных внутренних волн наблюдалось в моменты подхода в прибрежную зону гребней инерционных внутренних волн. Длиннопериодные инерционные колебания служат значимым источником подпитки внутриволнового поля в Черном море. Амплитуды наблюдаемых короткопериодных волн составляли порядка 0,5-4 м, период варьировался от 4 до 10 мин, длины - от 30 до 100 м. За все время наблюдений идентифицированы короткопериодные внутренние волны преимущественно 1 моды, однако, встречались и внутренние волны 2-ой моды. Во время осенних работ в 2020 г было отмечено прохождение прибрежного субмезомасштабного антициклонического вихря, что было зарегистрировано по данным дистанционного зондирования и прямых контактных измерений. Комплексный анализ совместных наблюдений позволил выявить, что субмезомасштабный вихрь, проходящий вблизи шельфовой зоны, послужил источником генерации интенсивных внутренних волн.

Работа выполнена в рамках темы госзадания Минобрнауки № 0149-2019-0011, обработка и анализ данных выполнены при поддержке гранта РФФИ № 19-05-00715, а также гранта Президента РФ МК-5064.2021.1.5.

Список литературы

1) Серебряный А.Н., Иванов В.А. Исследования внутренних волн в Черном море с океанографической платформы МГИ //Фундаментальная и прикладная гидрофизика. – 2013. – Т. 6. – №. 3. – С. 34-45.

2) Lavrova O., Mityagina M. Satellite Survey of Internal Waves in the Black and Caspian Seas // Remote Sensing. – 2017. – V. 9. – № 9. – P. 892.

3) Денисов Д.М., Серебряный А.Н. Автономный измеритель внутренних волн на основе распределенного датчика температуры // Приборы и техника эксперимента. – 2019. – №2. – С. 159–160.

4) Serebryany A., Khimchenko, E., Popov, O., Denisov, D., Kenigsberger, G. Internal Waves Study on a Narrow Steep Shelf of the Black Sea Using the Spatial Antenna of Line Temperature Sensors //Journal of Marine Science and Engineering. – 2020. – V. 8. – №. 11. – P. 833.

ПРИЛИВНЫЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ АЗОВСКОГО МОРЯ

Корженовская А.И.[1], **Медведев И.П.**[2], **Архипкин В.С.**[1]

[1] *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г.Москва*

[2] *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

a79198153474@yandex.ru

Ключевые слова: приливы, гармонический анализ, гармоники, спектральный анализ, радиационные приливы.

Азовское море - это самое изолированное море Мирового океана. Оно соединяется с Черным морем через Керченский пролив ширина которого 5-15 км. Азовское море - очень мелководное, его максимальная глубина составляет 13.5 м. Основными видами мезомасштабных колебаний уровня здесь являются штормовые нагоны и сейши. Известно, что в Азовском море также наблюдаются приливные колебания уровня [1, 2], но они практически не исследованы. В рамках настоящей работы впервые подробно изучаются особенности приливных колебаний уровня Азовского моря.

В работе использовались длительные ежечасные данные наблюдений на 14 прибрежных гидрометеорологических пунктах Азовского моря, которые были взяты с сайта Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом Океане (ЕСИМО). Для обработки данных и получения необходимых результатов использовались гармонический и спектральный анализы.

Для оценки амплитуд и фаз основных приливных гармоник был использован гармонический анализ приливов для отдельных годовых серий уровня моря с последующим векторным осреднением за весь период наблюдений. Максимальных амплитуд среди гравитационных гармоник достигают K_1 до 2 см и M_2 до 1 см. На фоне слабых гравитационных приливов важную роль в мезомасштабной изменчивости уровня моря играют радиационные приливы. Они обусловлены не гравитационными силами, а радиационным воздействием Солнца. Соответственно, периоды радиационных гармоник связаны не с лунной, а с солнечной цикличностью. В отличие от обычных приливов, которые формируются непосредственно под влиянием гравитационных сил, радиационные приливы имеют более сложный механизм генерации. Они образуются под влиянием различных периодических факторов, связанных с излучением Солнца. Главным фактором, вызывающим появление радиационных приливов в Азовском море, видимо, являются бризовые ветра. Амплитуда суточной радиационной гармоники S_1 в восточной части моря достигает 5 см.

В суточном приливном диапазоне спектральный анализ с высоким разрешением позволил выявить ряд интересных особенностей. Использование длительных рядов наблюдений дали возможность расщепить соседние гармоники P_1-S_1-K_1. Показано, что на большинстве станций в Азовском море амплитуда радиационной гармоники S_1 заметно превосходит амплитуды гравитационных гармоник O_1, P_1 и K_1. На некоторых спектрах отсутствует гармоника O_1, а амплитуды гармоник K_1 и P_1 примерно одинаковые, хотя в разложении приливного потенциала амплитуды этих гармоник соотносятся примерно как 3:1. Видимо, суточные приливные колебания уровня Азовского моря имеют преимущественно не гравитационное, а радиационное происхождение, т.е. связаны с радиационным воздействием Солнца на поверхность моря, в частности, с бризовыми ветрами.

Анализ спектров колебаний уровня моря, построенных по зимним и летним рядам наблюдений, позволил выделить существенную сезонную изменчивость радиационных приливов и относительно слабую сезонную изменчивость гравитационных приливов. Спектральные пики, соответствующие суточным приливам, хорошо выражены летом, а зимой значительно ослабевают или почти полностью исчезают. Это подтверждает предположение, что суточные приливы в Азовском море являются радиационными.

Оценки амплитуд приливных гармоник на отдельных станциях сравнивались с результатами численных моделей приливов Черного и Средиземного морей [3, 4].В целом результаты анали-

за береговых наблюдений хорошо соотносятся с результатами представленных моделей. Разница в определении амплитуды полусуточных приливов составляет 15-20%. Исключение составляют результаты для акватории Таганрогского залива, где амплитуда M2, рассчитанная по данным наблюдений и по модели, может отличаться в два раза. Это может быть связано с грубым пространственным разрешением Азовского моря в представленных моделях.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0149-2019-0005) и при финансовой поддержке РНФ (грант № 20-77-00099).

Список литературы

1) Герман В.Х., Левиков С.П. Вероятностный анализ и моделирование колебаний уровня моря. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 231 с.
2) Endrös A. Die Seiches des Schwarzen und Asowschen Meeres und die dortigen Hubhöhen der Gezeiten // Ann. Hydrogr. Marit. Meteorol. 1932. V. 60. P. 442–453.
3) Ferrarin C. et al. Tidal dynamics in the inter-connected Mediterranean, Marmara, Black and Azov seas // Progress in Oceanography. 2018. V. 161. P. 102–115.
4) Medvedev I.P. Tides in the Black Sea: Observations and Numerical Modelling // Pure and Applied Geophysics. 2018. V. 175. No. 6. P. 1951–1969.

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА МОРЯ ЛАПТЕВЫХ В ПОСЛЕДНЕЕ ДЕСЯТИЛЕТИЕ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Крайнева М.В.

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск

Krayneva-m@yandex.ru

Ключевые слова: Арктика, численное моделирование, море Лаптевых, климатическая изменчивость

В последние годы все чаще отмечаются аномальные явления, связанные с повышением температуры атмосферы в полярных районах северного полушария. Согласно работе [1] значение осредненной по пространству аномалии среднегодовой температуры воздуха Северной полярной области (СПО) в 2019 году составило 2,8 °C, и этот год стал вторым теплым годом по рангу теплых лет за период с 1936 г. Аномалия среднегодовой температуры воздуха в широтной зоне 70-85° с.ш. оказалась равной 3,4 °C, а в зоне 60-70° с.ш. - 2,4 °C. Эти значения стали также вторыми самыми высокими за историю наблюдений. Одни из самых крупных аномалий наблюдались на территории восточно-сибирского района (район моря Лаптевых). Значения осредненных по территории районов аномалий среднегодовой температуры воздуха здесь составили 3,6 °C. Это соответствует первому значению по рангу теплых лет за период с 1936 г. Еще более аномальным для арктических морей стал 2020 год, море Лаптевых оставалось полностью свободным ото льда вплоть до второй половины октября, впервые за историю наблюдений [2].

Для исследования изменчивости гидрологических характеристик Северного Ледовитого океана и его шельфовых морей используется региональная численную модель SibCIOM (Siberian Coupled Ice-Ocean Model), которая состоит из крупномасштабной модели океана ИВМиМГ СО РАН [3,4] и ледовой модели CICE3 [5]. С использованием данных реанализа атмосферы NCEP/NCAR (https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html) и численной модели проанализирован сезонный ход гидрологических и ледовых характеристик в море Лаптевых. Анализ результатов численного моделирования показал, что с начала 2000 г в регионе отмечается повышение температуры вод в летний период. Летнее распределение 2020 года характеризовалось наиболее высокой температурой за весь период моделирования с 1948г. Численная модель показывает раннее исчезновение и позднее формирование ледового покрова. По результатам численного моделирования наибольшие аномалии температуры в 2020г сформировались на внешнем шельфе. Сформированное в условии отсутствия льда поле течений, определяемое динамическим состоянием атмосферы, способствовало переносу тепла в глубоководную часть моря и длительному сохранению аномально высокой температуры, препятствующей формированию ледового покрова. Впервые среднемесячная за октябрь температура поверхности моря севернее Новосибирских островов была положительной (около 1.5° C).

Так же в ходе работы были проанализированны данные наблюдений поверхностной температуры NOAA (https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.noaa.oisst.v2.highres.html). Был применен метод идентификации морских волн тепла, представленный в работе [6]. Метод основан на выделении положительных аномалий температуры акватории, существующих от 5 дней и дольше, над климатическим среднемесячным распределением и пороговым значением. Климатическое среднемесячное распределение вычисляется на основе выбранного базового периода (в настоящем исследовании выбранного с 1979г по 2005 г.). Пороговое значение представляется в виде ежемесячного распределения температуры океана, определяемое как 90 процентиль на основе базового периода.

Анализ полученных волн тепла показывает длительные аномалии (2-3 месяца) на протяжении 2019-2020 гг. на территории моря Лаптевых. Основная часть моря Лаптевых изолирована

от траектории прохождения атлантических и тихоокеанских вод, которые считаются основными источниками тепла для Северного Ледовитого океана. Единственными источниками тепла для шельфовых вод моря Лаптевых являются солнце и речная вода. Тем не менее волны тепла существуют даже в зимний период. Территориально волны тепла так же отслеживаются по всей акватории, не только в шельфовой зоне, но и в глубоководной части моря. Осенью 2020 года волна тепла длинной примерно 2 месяца отмечена в точке с координатами 120,375° E и 78,625° N, с превышением пороговых значений в среднем на 3,5 градуса С.

РНФ 20-11-20112

Список литературы

1) Обзор гидрометеорологических процессов в Северном Ледовитом океане 2019 // СПб: АНИИ, 2020. С. 94.

2) Maslanik, J. and J. Stroeve. Near-Real-Time DMSP SSMIS Daily Polar Gridded Sea Ice Concentrations, Version 1. // Boulder, Colorado USA. NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center. 1999

3) Голубева Е.Н.Численное моделирование динамики Атлантических вод в Арктическом бассейне с использованием схемы QUICKEST. // Вычислительные технологии, 2008. т.13, №5, стр. 11-24.

4) Golubeva E. N., Platov G. A. On improving the simulation of Atlantic Water circulation in the Arctic Ocean // J. Geophys. Res. 112. 2007. C04S05

5) Hunke E. C., Dukowicz J. K. An elastic-viscous-plastic model for ice dynamics // J. Phys. Oceanography. V. 27. 1997. P. 1849–1867.

6) Hobday, A.J. et al. A hierarchical approach to defining marine heatwaves // Progress in Oceanography, 141. 2016 pp. 227-238.

КРУПНЫЕ СИНОПТИЧЕСКИЕ ВИХРИ В ВОСТОЧНОЙ АРКТИКЕ ПО СПУТНИКОВЫМ АЛЬТИМЕТРИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Кубряков А.А., Козлов И.Е.

Морской гидрофизический институт РАН

arskubr@ya.ru

Ключевые слова: синоптические вихри, Арктика, спутниковая альтиметрия

В настоящей работе на основе спутниковых данных за 1993-2019 гг исследуются характеристки синоптических вихрей Восточной Арктики в области (0- 90° з.д, 65-80° с.ш.) [1]. На основе метода автоматической идентификации [2] определены характерные места образования, траектории, скорости, размеры вихрей, их сезонная и межгодовая изменчивость. Анализ спутниковых оптических и альтиметрических данных показывает, что в Северном Ледовитом океане присутствует достаточно много крупных синоптических вихрей с радиусами 30-60 км. Оптические наблюдения показывают, что такие вихри значительно влияют на перенос хлорофилла от континентального шельфа в центральную часть Арктики.

На основе проведенного анализа выделены 4 основных места образования вихрей в Восточной Арктике.

Квазистационарный вихрь наблюдается практически весь теплый период в проливе Амундсена (регион 1), как по оптическим, так и по альтиметрическим измерениям. Образование этого вихря связано вероятно с динамикой пролива, определяющуюся, в первую очередь, ветром. При северных ветрах холодные Арктические воды затекают вдоль берега в восточную часть пролива, выталкивая легкие воды в западной части пролива. Образующиеся градиенты плотности и сдвиг течений вызывают возникновение антициклонического вихря.

Второй регион - это залив Маккензи, где образование вихрей существенно связано с бароклинной неустойчивостью плюма реки Маккензи. Вихри в этом районе двигаются на северо-запад под влиянием преобладающей антициклонической циркуляции. Наибольшее количество вихрей наблюдаются в годы с интенсивным речным стоком и восточными ветрами, которые вызывают апвеллинг и натекание вод плюма на более плотные воды центральной Арктики. Этот процесс увеличивает потенциальную энергию вод и вызывает генерацию антициклонов.

Большое количество крупных вихрей наблюдается на западной периферии круговорота Бофорта (район 3). При этом антициклоны образуются обычно слева от крупномасштабных антициклонических течений, а циклоны - справа, в центральной части круговорота. Межгодовая изменчивость количества этих вихрей коррелирует с интенсивностью и солесодержанием антициклона Бофорта. Такие особенности свидетельствуют о том, что образования этих вихрей тесно связано с горизонтальным сдвигом на периферии крупномасштабных антициклонических течений.

Незначительное количество крупных вихрей отмечается в Чукотском море вблизи Берингова пролива, а также в районе Восточно-Сибирского течения у побережья Чукотки (регион 4). В этом мелководном районе отмечается гораздо большее количество малых субмезомасштабных вихрей, как по оптическим, так и по радиолокационным данным [3].

Работа выполнена при поддержке Госзадания 0555-2021-0006 и гранта РФФИ 19-05-00479

Список литературы

1) Kubryakov A. A., Kozlov I. E. and Manucharyan G. E. Large mesoscale eddies in the Western Arctic Ocean from satellite altimetry measurements //Journal of Geophysical Research: Oceans. – 2021 (in press)

2) Кубряков А. А., Станичный С. В. Синоптические вихри в Черном море по данным спутниковой альтиметрии //Океанология. – 2015. – Т. 55. – №. 1. – С. 65-65.

3) Kozlov I. E. et al. Eddies in the Western Arctic Ocean from spaceborne SAR observations over open ocean and marginal ice zones //Journal of Geophysical Research: Oceans. – 2019. – Т. 124. – №. 9. – С. 6601-6616.

ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННОГО ПРОГРЕВА И ОХЛАЖДЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Гоголев Д.Г. [1], **Буканова Т.В.** [2], **Кудрявцева Е.А.** [2]

[1] *Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, г. Калининград*

[2] *Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, г. Москва*

kudryavtzeva@rambler.ru

Ключевые слова: температура поверхности моря, Балтийское море, спутниковые данные микроволнового диапазона

В поверхностном слое моря происходит целый ряд важнейших физических и биогеохимических процессов, связанных с взаимодействием океана и атмосферы, биологической продуктивностью, антропогенной деятельностью и др. Температура поверхности моря определяет условия обитания морских гидробионтов, производства первичной продукции, местоположение фронтальных зон, указывающих локализацию зон биопродуктивности и загрязнения вод [1, 2, 3, 4]. Дистанционные методы регистрации температуры поверхности моря и многолетние массивы спутниковых данных позволяют выполнять исследования как пространственного распределения температуры, так и ее изменения во времени. Цель данной работы - анализ особенностей сезонной изменчивости температуры поверхности Балтийского моря по спутниковым данным.

В качестве исходных данных для исследования использовались значения температуры поверхности моря (ТПМ), полученные с радиометров микроволнового диапазона: AMSR-E (спутник Aqua), AMSR-2 (спутник GCOM-W1) и WindSat (спутник Coriolis) за период 2003-2020 гг. из архива центра обработки данных спутниковых микроволновых радиометров Remote Sensing Systems (http://remss.com/measurements/sea-surface-temperature). Временное разрешение 1 день, пространственное разрешение 9 км.

В ходе исследования было рассчитано среднее многолетнее значение температуры поверхности моря в квадратах регулярной сетки (9х9 км) и построены картосхемы и графики распределения среднемноголетней ТПМ. Для выявления интенсивности изменчивости ТПМ в различных районах моря в течение года, был выполнен расчет разностей ТПМ и построены картосхемы разностей ТПМ (ΔТПМ).

Показана существенная асимметрия в процессах прогрева и охлаждения поверхностного слоя моря. В первой половине мая происходит резкий переход от структуры температуры поверхностного слоя моря характерной для холодного периода года, к структуре теплого периода года, проявляющейся в кратковременном появлении ячеистой структуры изолиний скорости прогрева поверхностного слоя моря, вытянутых в субмеридиональном направлении. Скорость роста ТПМ в этот период составляет от 2,5 до 3,5 °С за неделю в зависимости от района моря. Аналогичного периода перехода от «теплой» к «холодной» структуре температуры поверхностного слоя моря не зафиксировано. В начале августа сразу после максимальных значений ТПМ наблюдается переход от «теплого» периода к достаточно резкому похолоданию, когда температура падает со скоростью 0,6-1,3 °С в неделю. Таким образом, период осеннего выхолаживания протекает более плавно, чем весенний прогрев.

Исследование выполнено в рамках госзадания ИО РАН (тема № 0128-2021-0012).

Список литературы

1) Гидрометеорология и гидрохимия морей. Том 3. Балтийское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. СПб.: Гидрометеоиздат, 1994.

2) Кудрявцева Е.А., Александров С.В. Гидролого-гидрохимические основы первичной продуктивности и районирование российского сектора Гданьского бассейна Балтийского моря // Океанология. 2019. Т. 59. №1. С. 56-71.

3) Федоров К.Н., Гинзбург А.И. Приповерхностный слой океана. Л.: Гидрометеоиздат, 1988.

4) Kudryavtseva E., Aleksandrov S., Bukanova T., Dmitrieva O., Rusanov I. Relationship between seasonal variations of primary production, abiotic factors and phytoplankton composition in the coastal zone of the south-eastern part of the Baltic Sea // Regional studies in Marine Science. 2019. 32,100862.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ПОЛЯРНОЙ ДЕПРЕССИИ

Кузнецова А.М., Досаев А.С., Русаков Н.С., Поплавский Е.И., Троицкая Ю.И.

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия

umnyaginaam@yandex.ru

Ключевые слова: численное моделирование, атмосферная модель, WRF, арктические моря, полярная депрессия

Самыми опасными морскими погодными явлениями считаются тропические циклоны, которые возникают и развиваются над океанами главным образом в тропической зоне, в них скорость ветра может превышать 70 м/с. Они могут оказывать значительное влияние на погоду умеренных и субтропических зон вследствие внетропического проникновения тропических циклонов. Интенсивные, быстро развивающиеся атмосферные вихри, сходные с тропическими циклонами по механизмам формирования и некоторым морфологическим признакам, называемые полярными ураганами (депрессиями), наблюдаются в высоких широтах. Произошедшее в последнее десятилетие сокращение ледяного покрова в Арктике привело к тому, что полярные ураганы возникают вдоль всего Северного морского пути. Скорости ветра в них достигают 35-40 м/с, представляя угрозу для судоходства и нефтедобычи на арктическом шельфе.

За последние 20 лет был достигнут заметный прогресс в предсказании траекторий штормов, в то же время качество прогноза их интенсивности по-прежнему низкое. Это связано с тем, что интенсивность (максимальная скорость ветра и минимальное давление) определяется взаимодействием атмосферы и океана, которое при высоких скоростях ветра имеет значительную неопределенность в особенности для самых мелкомасштабных процессов: брызг, обрушений волн и пузырьков пены [1].

С целью развития методов моделирования таких экстремальных явлений и последующего учета взаимодействия «океан-атмосфера» было проведено численное моделирование развития полярной депрессии в рамках модели WRF ARW (WRF) [2]. Была выбрана акватория Баренцева моря, где наблюдается большое количество полярных ураганов. Среди идентифицированных полярных ураганов [3] был выбран ураган, имевший место 05.02.2009, наблюдавшийся в координатах 69° с.ш., 40° в.д. Для расчета погодной обстановки в исследуемой области Баренцева моря в присутствии полярного урагана были рассмотрены несколько подходов. Во-первых, был проведен расчет моделью WRF с заданием граничных условий из реанализа CFSR. Конфигурация модели состояла в использовании, во-первых, хорошо показавшей себя методики вихреразрешающего моделирования планетарного пограничного слоя. Во-вторых, был подготовлен и проведен расчет при помощи надстройки WRF для полярной области, Polar WRF, также с заданием граничных условий из реанализа CFSR.

Polar WRF представляет собой оптимизированную для условий Арктики надстройку модели WRF, которая была выпущена Группой полярной метеорологии Центра полярных исследований и исследований климата им. Берда в Университете штата Огайо [4, 5]. Модель Polar WRF включает в себя модернизированные физические схемы и пересмотренные параметризации землепользования, специально для наземной и океанической Арктики [4].

Однако несмотря на то, что стандартная версия модели WRF ARW часто применялась для исследования полярных областей [6], интерес составляло сравнение с конфигурацией WRF, включающей вихреразрешающее моделирование. Применение модели к условиям открытого моря особенно интересно, поскольку модификации Polar WRF относятся главным образом к обработке фракционного морского льда и его частоты в пределах сетки, поэтому эта модель может превзойти стандартную конфигурацию WRF именно в зоне морского льда.

Конфигурация WRF была реализована для трех вложенных доменов. WRF был настроен с использованием схемы университета Йонсей для планетарного пограничного слоя в первом и втором

доменах и с вихреразрешающим моделированием LES в третьем домене. WRF Polar был настроен с использованием схемы MYNN 2.5 для планетарного пограничного слоя во всех доменах. Для WRF Polar были использованы дополнительные поля данных в файлах системы препроцессинга данных WPS met_em, взятые из реанализа ASR: толщина морского льда, альбедо морского льда, глубина моря на морском льду. Расчет был выполнен для периода 4.02.2009 - 8.02.2009.

Проведено сравнение результатов расчета распределения ветра во втором домене и в третьем с использованием WRF Polar и WRF LES. Проведенные тестовые расчеты показали, что WRF Polar не показал преимуществ над WRF LES. Результаты расчета с WRF LES обеспечивают более высокие значения скорости ветра. Планируется дальнейшее сравнение WRF Polar и WRF ARW.

Работа поддержана грантом РФФИ № 18-05-60299.

Список литературы

1) Troitskaya Y., Kandaurov A., Ermakova O., Kozlov D., Sergeev D., Zilitinkevich S. Bag-breakup fragmentation as the dominant mechanism of sea-spray production in high winds // Scientific reports. 2017. 7(1). pp. 1-4

2) Skamarock W. C., Klemp J. B., Dudhia J., Gill D. O., Barker D. M., Duda M. G., Huang X.-Y., Wang W., Powers J. G. A Description of the Advanced Research WRF Version 3 // NCAR TECHNICAL NOTE №NCAR/TN–475+STR. 2008. 113 pp.

3) Noer G., Lien T. Dates and Positions of Polar lows over the Nordic Seas between 2000 and 2010 // Norwegian Meteorological Institute Rep. 2010.

4) Hines K.M., Bromwich D.H., Barlage M., Slater A.G. Arctic land simulations with Polar WRF // InPreprints, 10th Conf. Polar Meteorology and Oceanography 2009. pp. 17-21

5) Hines K.M., Bromwich D.H., Bai L.S., Barlage M., Slater A.G. Development and testing of Polar WRF. Part III: Arctic land // Journal of Climate. 2011. 24(1). pp. 26-48

6) Mäkiranta E., Vihma T., Sjöblom A., Tastula E.M. Observations and modelling of the atmospheric boundary layer over sea-ice in a Svalbard Fjord // Boundary-Layer Meteorology. 2011. 140(1). pp. 105-23

АНАЛИЗ МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ С 1979 ПО 2018 ГОД

Кукушкин В.М., Маркина М.Ю., Гулев С.К.

Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН

vovakuk@sail.msk.ru

Ключевые слова: взаимодействие океана и атмосферы, трансформация, потоки тепла и влаги

Формирование поверхностных вод в океане происходит под влиянием процессов тепло- и влагообмена с атмосферой. В частности, интенсивность данных процессов важна для определения глубины перемешанного слоя[1], которая в свою очередь влияет на обмен массой, импульсом, энергией и теплом между атмосферой и океаном, и таким образом играет важную роль для погоды и климата.

Одним из важнейших факторов, определяющих глубину перемешанного слоя, является поток плотности[2] на поверхности океана (величина, обратная потоку плавучести), величина которого определяется интенсивностью потоков тепла между океаном и атмосферой, разностью между осадками и испарением, соленостью и температурой воды, а также пресным стоком. Основная цель работы - определить долгопериодную изменчивость характеристик взаимодействия океана и атмосферы в Северной Атлантике.

В качестве основного источника данных о потоках между океаном и атмосферой используется реанализ CFSR (1979-2011 гг.) и его второе поколение CFSv2 (с 2011 г. по настоящее время). Для расчета характеристик трансформации используются данные о потоках тепла и пресной воды на границе океан-атмосфера и данные о температуре и солености на поверхности океана в период с 1979 по 2018 год. На основе этих данных рассчитывается поток плотности, который характеризует изменение плотности поверхностных вод. На основе потока плотности рассчитывается величина трансформации, которая получается путем интегрирования вдоль изопикны величины потока плотности по пространству и времени. Величина трансформации показывает, как изменяется плотность вод определенной плотности. Таким образом можно анализировать динамику отдельных водных масс.

В данной работе проводится анализ межгодовой изменчивости величин потока плотности для акватории Северной Атлантики за период с 1979 по 2018. Выявлены акватории с характерными максимумами и минимумами потока плотности, которые приурочены к субполярным и экваториальным водам соответственно. В работе проводится анализ межгодовой изменчивости трансформации поверхностных вод в различных плотностных диапазонах и обсуждаются факторы, определяющие данную изменчивость. Анализ трансформации отдельных водных масс на TS-плоскости показал, что наибольшие значения соответствуют образованию субтропических модальных вод в областях западных пограничных течений в зимний период.

Список литературы

1) Walin G. S. On the relation between sea-surface heat flow and thermal circulation in the ocean //Tellus. – 1982. – Т. 34. – №. 2. – С. 187-195.

2) Speer K., Tziperman E. Rates of water mass formation in the North Atlantic Ocean //Journal of Physical Oceanography. – 1992. – Т. 22. – №. 1. – С. 93-104.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

Куликов М.Е.[1], **Архипкин В.С.**[2], **Медведев И.П.**[1]

[1] *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

[2] *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

meksonesk@gmail.com

Ключевые слова: море Лаптевых, штормовые нагоны, приливы, модель ADCIRC, реанализ NCEP/CFSR.

Важное научно-практическое значение имеет изучение колебаний уровня на побережье и островах моря Лаптевых. В данной работе рассматриваются приливные, а также метеорологические колебания уровня моря в синоптическом масштабе времени. Величина отдельных штормовых нагонов, а также сизигийных приливов может превышать 2 метра в отдельных заливах моря Лаптевых. Учет возможных величин уровня моря важен при проектировании строительства на шельфе и на берегу моря, а также для морской навигации, которая в последние годы усиливается в связи с экономическим освоением арктических акваторий. Моделирование колебаний уровня в море Лаптевых ранее проводилось либо на грубой сетке, либо отдельно моделировались приливные гармоники. Пространственный охват арктических акваторий, где моделировался уровень моря с хорошим разрешением ограничивается лишь западной частью Арктики (Белое и Баренцево моря) [1]. Для морей восточного сектора Арктики имеются лишь описания отдельных нагонов и приводятся их экстремальные значения, согласно эпизодическим наблюдениям за уровнем моря. Нехватка данных не позволяет получить комплексные физико-статистические характеристики колебания уровня в море Лаптевых и его заливов, учитывая их локальные особенности. Данная работа призвана заполнить этот пробел и получить обширные статистические данные по штормовым нагонам и приливам в море Лаптевых.

В настоящем исследовании рассмотрены результаты численного моделирования колебаний уровня моря с помощью гидродинамической модели ADCIRC [2]. В данной работе использовалась двумерная версия этой модели. На жидкой внешней границе (тип "ocean" в модели) задаются гармонические постоянные прилива по данным модели FES релиза 2014 года. Включены основные суточные и полусуточные приливные гармоники: M2, S2, O1, K1, N2, K2, Q1, P1 [3]. Расчетная сетка ограничивает полигон с севера условной границей распространения многолетних льдов (по 81° с. ш.), а с юга береговой линией моря Лаптевых. Нерегулярная триангуляционная сетка для моря Лаптевых состоит из почти 7000 узлов с шагом от 0.2 до 20 км. В узлах сетки в качестве входных данных включены значения полей атмосферного давления, ветра и концентрации льда реанализа NCEP/CFSR за период с 1980 по 1991 гг. (12 лет) с разрешением по пространству в 0.3° и с шагом по времени в 1 час.

В настоящей работе проводилась количественная оценка штормовых нагонов, в которые были включены все экстремальные колебания уровня моря (включая и сгоны), вызванные метеорологическими причинами с периодами более суток и величиной более 50 см. Результаты численного моделирования, с привлечением гидрометеорологических полей, формирующих штормовые нагоны (ветер, давление, лед), за продолжительный период времени, позволили оценить распределение величин остаточного уровня моря, выделить из него количество штормовых нагонов и далее, при помощи аппарата статистики, рассчитать основные периоды повторяемости для суточных экстремумов непериодических колебаний уровня моря. В результате было найдено, что максимальные величины нагонов приходятся на Оленекский и Буор-Хая (в том числе с бухтой Тикси) заливы (центральная часть побережья моря Лаптевых), тогда как максимальные сгоны приходятся на Хатангский и Янский заливы (западная и восточная части моря, соответственно). Согласно 100-летнему периоду повторяемости максимальный размах колебаний уровня моря может достигать до 7 метров (за весь прогнозируемый период). Учет приливов дал возможность провести стати-

стический анализ и для суммарного уровня моря, а также оценить долю приливных колебаний в общей дисперсии уровня моря с расчетами амплитуд для основных приливных волн и основных негармонических характеристик прилива. Так, в целом по морю, доля приливных колебаний в общую дисперсию уровня составляет около 30%. Однако, в некоторых частях моря (например в бухте Нордвик Хатангского залива) приливы могут достигать и до 90%, а в районе Тикси лишь 5-10%.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0128-2021-0004) и при поддержке грантов РФФИ № 18-05-60250 и № 20-35-90096.

Список литературы

1) Кораблина А.Д., Кондрин А.Т., Архипкин В.С. Моделирование нагонов в Белом и Баренцевом морях за период 1979-2015 гг. // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2017. №. 364. С. 144-158.

2) Luettich R.A., Westerink J.J. Formulation and numerical implementation of the 2D/3D ADCIRC finite element model version 44. XX. R. Luettich. 2004. P. 74.

3) Carrere L. et al. FES 2014, a new tidal model on the global ocean with enhanced accuracy in shallow seas and in the Arctic region // EGU general assembly conference abstracts. 2015. Vol. 17.

АНАЛИЗ ПРИЛИВНЫХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ РОССИИ

Куликов М.Е., Медведев И.П.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

meksonesk@gmail.com

Ключевые слова: Колебания уровня моря, приливы, сезонная изменчивость.

В данном исследовании рассматриваются колебания уровня моря, вызванные приливообразующими силами Луны и Солнца [1]. Основное внимание уделяется сезонной изменчивости характеристик приливов в морях российской Арктики. Использованные в настоящем исследовании данные представляют собой массив ежечасных наблюдений за уровнем моря на 6 станциях в Белом, Лаптевых и Чукотском морях, а также на ряде станций Карского моря. Также используются данные с придонного волнографа, измерявшего уровень на шельфе моря Лаптевых в период с 2018 по 2020 годы. Временное покрытие для беломорских станций включает относительно непрерывные ряды с 2004 по 2015 годы. Для станций восточного сектора Арктики имеется максимальный ряд с 1981 по 2005 годы для станции Тикси. Многолетние данные за указанный период для Лаптевых Чукотского и Карского морей используется впервые в данной работе.

Для анализа сезонной изменчивости прилива были выбраны 6 основных приливных гармоник — суточные O1 и K1, полусуточные N2, M2 и S2, а также мелководная M4, характерная для Белого моря. Производился расчет средних амплитуд и фаз этих гармоник за каждый месяц, чтобы получить сезонный ход приливов в виде отклонения среднемесячных значений гармонических постоянных от среднемноголетних. Для этой цели использовался метод гармонического анализа приливов с помощью метода наименьших квадратов [2]. Была исследована сезонная изменчивость характера прилива, его величины и некоторых особенностей, в частности явления манихи, выраженного в запаздывании времени наступления полной воды прилива. Производилось также сравнение натурных данных с данными численного моделирования (модель AOTIM-5).

На основании результатов исследования можно сделать вывод, что классический гармонический анализ, который обычно применяется для предвычисления приливов, в условиях Арктики не дает точную оценку приливных колебаний уровня из-за сезонной изменчивости приливных характеристик в отдельных акваториях [3]. Интерпретация сезонной изменчивости приливных характеристик с использованием новых подходов в обработке многолетних рядов при помощи гармонического анализа, представленная в настоящем исследовании, позволит уточнить карты распространения приливных волн (котидальные карты) важные для судоходства и прибрежного строительства в Арктике.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0128-2021-0004) и при поддержке грантов РФФИ № 18-05-60250 и № 20-35-90096.

Список литературы

1) Советская Арктика. Моря и острова Северного Ледовитого океана / под ред. И.П. Герасимова, – М.: Наука, 1970. – 525 с. Войнов, Г.Н. Приливные явления и методология их исследований в шельфовой зоне Арктических морей: диссертация докт. геогр. наук: канд. ист. наук: 25.00.28 / Войнов Геннадий Николаевич. – Санкт-Петербург, 2002. – 350 с.

2) Pawlowicz, R. Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE / R. Pawlowicz, B. Beardsley, S. Lentz // Computers & Geosciences. – 2002. – V. 28. – № 8. – P. 929-937.

3) Войнов, Г.Н. Приливные явления и методология их исследований в шельфовой зоне Арктических морей: диссертация докт. геогр. наук: канд. ист. наук: 25.00.28 / Войнов Геннадий Николаевич. – Санкт-Петербург, 2002. – 350 с.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ СРЕДНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВДОЛЬСКЛОНОВЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ПЛОТНОСТНЫХ ТЕЧЕНИЙ КОНВЕКТИВНОЙ ПРИРОДЫ

Куприянова А.Е.[1,2], **Гриценко В.А.**[2]

[1] *Балтийский федеральный университет им. И.Канта, Калининград*

[2] *Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, Москва*

united_jemelt8@mail.ru

Ключевые слова: прибрежные воды, склон дна, выхолаживание с поверхности, плавучесть, импульсное вдольсклоновое течение, численная модель, трассер, плавучесть, лабораторный эксперимент.

Общие черты процесса сезонного выхолаживания прибрежных вод с поверхности вполне известны [2,5]. Интегральные характеристики итогов сезонной конвекции отображены в различного рода атласах и массивах данных. Однако из-за сложности выполнения подробных инструментальных измерений и физической содержательности процесса выхолаживания поверхностных вод тонкоструктурные особенности процесса проникновения «потока холода» с поверхности в глубину вод изучены недостаточно.

Цель работы заключалась в исследовании при помощи лабораторных и численных экспериментов эволюции вдольсклонового импульсного плотностного течения, возникновение которого возможно в условиях сезонного выхолаживания прибрежных вод с поверхности.

Лабораторные эксперименты были выполнены в гидролотке лаборатории физики моря (г. Калининград) Института океанологии им. П.П.Ширшова РАН [1,4]. Рабочее пространство лотка составляло 80 x 60 x 12.5 см. Импульсное вдольсклоновое течение создавалось путем периодического (через $\sim$9 сек) формирования в приповерхностном слое пресной воды, полностью заполнявшей рабочее пространство лотка, малого объема ($\sim$3 мл, далее, пятно) соленой воды с добавочной плотностью в 0.0001 г/см^3. Малая величина отрицательной плавучести определяла малые скорости погружения более тяжелых (соленых) вод пятен, что позволило выполнять регистрацию течений при помощи обычных цифровых фотоаппаратов (Nikon, Sony, 20 Мп). Наклон дна в лотке был равен $\sim 27^0$.

В процессе лабораторных экспериментов удалось отчетливо зарегистрировать фазы: достижения дна сформированными на поверхности пятнами соленой воды; их движения по склону дна с изменением своей толщины за счет потери массы при вязком прилипании к склону дна и вовлечении окружающей пресной воды; монотонного сокращения расстояния между пятнами; активного взаимодействия пятен между собой и их слияния в новое, объединенное пятно, далее распространяющееся по склону дна, как единый объект.

Обратим внимание, что во всех лабораторных экспериментах следующее по времени своего создания пятно (второе) всегда догоняло предыдущее (первое). На качественном уровне данная особенность вдольсклонового плотностного течения вполне понятна. Первое пятно постепенно тормозится из-за потери массы и скорости, происходящей за счет вязкого прилипания к склону дна, вовлечения в себя окружающей пресной и неподвижной воды, и, соответственно, роста лобового сопротивления на фронте двигающегося пятна. Второе пятно, двигаясь уже по следу, оставленному на дне первым пятном, несколько медленнее теряет запас отрицательной плавучести, чем первое, и во всех экспериментах всегда догоняет первое пятно. Отсутствие количественных измерений в лотке не позволяет сделать более содержательные выводы и сделало естественным обращение к численному моделированию рассматриваемого класса течений.

Численные эксперименты были выполнены на нелинейной двумерной модели динамики неоднородной по плотности жидкости в вертикальной плоскости, подробно описанной ранее в работе [1]. Малые скорости погружения пятен соленой воды позволили ограничиться молекулярными механизмами переноса. Модельные уравнения для завихренности, плотности (соли) и функции

тока были дополнены уравнениями переноса двух пассивных трассеров нейтральной плавучести, использованных для идентификации соленых вод пятен. Конечно-разностные уравнения получены по схеме с направленными разностями. Расчет функции тока по завихренности выполнен по итерационной схеме. Все модельные поля задавались на сетке размерностью 1201 x 201.

В расчетах на модели удалось получить все ранее обнаруженные в лабораторных течениях детали их поведения: вертикальное погружение, контакт и движение по склону дна, взаимодействие пятен между собой и итоговое объединение в единое новое пятно [1,4]. Распределения значений модельных полей для различных фаз импульсного вдольсклонового течения позволили детализировать процесс взаимодействия пятен между собой. Построение графиков плотности и значений трассеров пятен, осредненные по вертикали в пределах двигающего слоя воды, продемонстрировали интегральный взгляд на изменчивость средних показателей исследуемого течения. В частности, было получено еще одно подтверждение несовпадения в пространстве плотностного и динамического фронтов [3].

В итоге, результаты выполненных лабораторных и численных экспериментов позволили выделить основные фазы эволюции вдольсклоновых импульсных плотностных течений, возникновение которых возможно в условиях сезонного выхолаживания прибрежных вод с поверхности и появление над склоном дна пятен более плотной воды. Получена также картина изменчивости осредненных характеристик вдольсклонового течения. В целом, результаты выполненных экспериментов позволяют представить общую схему движения по склону дна и взаимодействия между собой двух объемов вод с отрицательной плавучестью для прибрежных вод моря.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-05-00717 (лабораторные эксперименты) и госзадания № 0149-2019-0013 (модельные расчеты).

Список литературы

1) Волкова А.А., Гриценко В.А. Особенности циркуляции, возникающей при погружении с поверхности конечного объема воды с отрицательной плавучестью // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2019. Т. 12. № 3. С. 26-35.

2) Гинзбург А.И., Федоров К.Н. Охлаждение воды с поверхности при свободной и вынужденной конвекции // Известия АН СССР. Сер. Физика атмосферы и океана. 1978. Т. 14. №1. С. 79-87.

3) Гриценко В.А., Чубаренко И.П. Об особенностях структуры фронтальной зоны придонных гравитационных течений // Океанология. 2010. № 1. С. 26-32.

4) Куприянова А.Е., Гриценко В.А. Лабораторное и численное моделирование присклоновых конвективных процессов // В сб. Комплексные исследования Мирового океана. Материалы V Всероссийской научной конференции молодых ученых. 2020. С. 104-105.

5) Чубаренко И.П. Горизонтальный конвективный водообмен над подводным склоном: механизм формирования и анализ развития // Океанология. 2010. Т. 50. №2. С. 184-193.

МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ РЕЖИМОВ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ И СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

Лемешко Е.Е.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

e.lemeshko@mhi-ras.ru

Ключевые слова: уровень моря, режимы циркуляции океана, самоорганизующиеся карты Кохонена, атмосферный реанализ, Арктика, типы атмосферной циркуляции.

Цель данного исследования заключается в выделении и исследовании режимов циркуляции океана на основе анализа данных альтиметрии об уровне Северного Ледовитого океана (СЛО). Для этого сначала выделяются режимы циркуляции атмосферы на основе типизации полей давления на уровне моря методом построения самоорганизующихся карт Кохонена (СОК) за период 1979-2018 гг. [1]. Затем с помощью предложенного в работе алгоритма для каждого выделенного режима циркуляции атмосферы рассчитывается соответствующее ему пространственное распределение уровня СЛО и делается вывод о режимах циркуляции СЛО.

Основные характеристики океана и атмосферы имеют тесную связь с режимами атмосферной циркуляции, а их изменчивость во многом определяется ее вариациями. С помощью построенных СОК приземного давления исследована сезонная и межгодовая изменчивость циркуляции атмосферы в Арктике за 1979-2018 гг. и выделено шесть режимов: один циклонический, два антициклонических и три смешанных типа. Для описания сезонной изменчивости типов атмосферной циркуляции было предложено ввести индекс сезонной повторяемости СОК атмосферного давления, то есть среднемноголетней повторяемости в процентах каждого типа циркуляции в климатический месяц за 1979-2018 гг. Аналогично был введен индекс годовой повторяемости СОК атмосферного давления: повторяемость каждого режима циркуляции рассчитывается в течение текущего года в процентах и представлена в кумулятивном виде на графике. Этот индекс позволяет оценить межгодовую изменчивость основных режимов циркуляции атмосферы и характеризует их смену над Арктикой от чисто циклонического до антициклонического режима с переходными фазами между ними. Пространственное распределение поля атмосферного давления в виде карт приводится только для двух наиболее характерных режимов - циклонического и антициклонического, остальные типы поля кратко характеризуются в таблице.

Установлена взаимосвязь индекса повторяемости самоорганизующихся карт атмосферного давления, характеризующего режимы атмосферной циркуляции, с изменчивостью индекса арктической осцилляции (АО). Обнаруженные закономерности смены режимов циклонической / антициклонической циркуляции атмосферы проявляются в межгодовой изменчивости введенного индекса повторяемости самоорганизующихся карт атмосферного давления, который является развитием индекса арктической осцилляции, дополняет и расширяет представление о режимах климатической циркуляции атмосферы в Арктике.

Во время положительной фазы АО центральная часть Арктики занята циклоном, который способствует притоку теплых вод (положительные аномалии расходов течений в Баренцевом море) и затрудняет распространение вод через Берингов пролив (отрицательные аномалии расходов). Во время отрицательной фазы АО над Арктикой находится антициклоническая область давления и аномалии расхода течений меняются на противоположные [2].

Выделены режимы циркуляции океана на основе анализа композитных карт уровня моря в зависимости от режима атмосферной циркуляции. В работе предложен метод расчета композитных карт уровня СЛО: для каждого выделенного типа поля атмосферного давления предлагается рассчитывать связанное с ним пространственное распределение уровня моря. Для этого после расчета СОК давления заданное поле уровня СЛО осредняется по тем же периодам времени, для

которых существовал данный режим циркуляции атмосферы в течение 1979-2018 гг. Такой композитный анализ для каждого из выделенных шести режимов циркуляции атмосферы был проведен для уровня моря. Полученные режимы океанической циркуляции также в основном представлены двумя типами - циклонический и антициклонический, смена которых описывается индексом годовой повторяемости СОК атмосферного давления, полученным ранее.

Введены индексы сезонной и годовой повторяемости самоорганизующихся карт атмосферного давления, позволяющие исследовать временную изменчивость режимов циркуляции атмосферы, и предложен композитный метод расчета присоединенных карт уровня СЛО.

Применение методов построения СОК позволило выделить режимы изменчивости циркуляции атмосферы и оценить их взаимосвязи с режимами циркуляции океана.

Выявлена взаимосвязь индекса повторяемости СОК атмосферного давления, характеризующего типы атмосферной циркуляции, с изменчивостью индекса АО. Установленные закономерности смены режимов циклонической / антициклонической циркуляции атмосферы и океана, межгодовой изменчивости введенного индекса повторяемости СОК атмосферного давления как развития индекса АО дополняют представление о режимах климатической циркуляции в Арктике.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта «Аспиранты» РФФИ №20-35-90061 «Современные изменения режимов циркуляции атмосферы, уровня и водных масс Северного Ледовитого океана как показатели климатических изменений в Арктике».

Список литературы

1) Лемешко Е.Е., Полозок А.А., Лемешко Е.М. Анализ изменчивости уровня Азовского моря методом самоорганизующихся карт по данным альтиметрии // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2016. –№3. С. 54–60.

2) Armitage T. W. K., Bacon S., Kwok R. Arctic sea level and surface circulation response to the Arctic Oscillation // Geophysical Research Letters. 2018. Vol. 45, iss. 13. P. 6576–6584. https://doi.org/10.1029/2018GL078386.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЛЕДЕНЕНИЯ МОРСКИХ СУДОВ

Леонов И.И.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

leonov@geogr.msu.ru

Ключевые слова: обледенение, брызговое обледенение, пресноводное обледенение, гололед, изморозь, опасные морские явления, численное моделирование, прогноз погоды, WRF-ARW.

Обледенение - процесс нарастания льда на корпусе судна и судовых конструкциях от водяных брызг, морских волн или при замерзании влаги, осаждающейся на корпусе из атмосферы воздуха.

Обледенение морских судов чаще всего наблюдается в умеренных и высоких широтах и является одним из наиболее опасных явлений на море. В результате обледенения увеличивается вес судна, снижается высота надводного борта и повышается центр тяжести, вследствие чего уменьшается остойчивость и ухудшается маневренность судна. При интенсивном обледенении судно может потерять остойчивость и опрокинуться. Гибель судов при обледенении, а тем более угроза гибели в некоторых районах Мирового океана, не столь редкое явление [1].

Целью данной работы являлось изучение воспроизведения катастрофических случаев обледенения морских судов численными моделями атмосферы и возможности прогнозирования интенсивности обледенения. Для выполнения данной цели были проведены численные эксперименты по воспроизведению случаев обледенения, которые приводили к гибели морских судов. В ходе работы рассматривались три случая: обледенение траулера "Аметист" 11 февраля 2011 года в Охотском море, обледенение траулера "Восток" 25 декабря 2018 года в Японском море и обледенение траулера "Онега" 28 декабря 2020 года в Баренцевом море.

Эксперименты проводились с использованием численной модели WRF-ARW [3]. В качестве начальных данных для запуска модели использовались данные реанализа ERA5 с высоким пространственным разрешением 0.25°. Расчет проводился на двух доменах с использованием вложенных сеток (даунскейлинга). Первый домен имел шаг по пространству 18 км, второй 6 км с 35 вертикальными расчетными уровнями. Данные о катастрофических случаях обледенения судов, используемые для верификации, были получены из научных и новостных статей СМИ, таких как "РИА Новости" (ria.ru), "ТАСС" (tass.ru) и др. Кроме этого использовались данные, размещенные в социальных сетях.

Далее осуществлялся постпроцессинг выходных данных модели, в ходе которого были рассчитаны поля обледенения морских судов разных видов. Первый рассматриваемый вид обледенения относится к брызговому, происходящему вследствие намерзания капель морской воды на судно. Для его воспроизведения использовались критерии, описанные в методических указаниях по предупреждению угрозы обледенения судов [2], а также критерий Оверлэнда [5]. Для второго вида, относящегося к пресноводному обледенению, характерно нарастание льда вследствие выпадения замерзающих осадков и намерзание переохлажденных капель воды. Для воспроизведения данного вида обледенения использовался прогноз замерзающих осадков и прогноз обледенения в тумане по алгоритму Макконена [4].

В результате численных экспериментов были получены области наиболее вероятного обледенения морских судов с использованием различных методик для территории морей, относящихся к бассейнам Тихого и Северного Ледовитого океанов. Результаты исследования показали, что для качественного прогноза областей возникновения опасного обледенения и его интенсивности является целесообразным использование численного моделирования различных видов обледенения с использованием описанных выше методик.

Список литературы

1) Аксютин Л.Р. Обледенение судов. Л.: Судостроение, 1979, 128 с.

2) Методические указания по предупреждению угрозы обледенения судов. – Л., ААНИИ, 1972, 81 с.

3) Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J. et al. A description of the Advanced Research WRF Version 3, NCAR Technical Note. 2008. 125 p.

4) Makkonen, L. (2000) Models for the Growth of Rime, Glaze, Icicles and Wet Snow on Structures. Philosiphical Transactions of the Royal Society A, 358, 2913-2939.

5) Overland, J. E. (1990). Prediction of Vessel Icing for Near-Freezing Sea Temperatures. Weather and Forecasting, 5(1), 62–77.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ ПОЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И СОЛЕНОСТИ ПО ДАННЫМ АЛЬТИМЕТРИИ И ИЗМЕРЕНИЙ БУЕВ ARGO

Коротаев Г.К., Лишаев П.Н., Кныш В.В.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

pavellish@mail.ru

Ключевые слова: восстановленные псевдоизмерения температуры и солености, прогностические температура и соленость, итерационная процедура, среднеквадратические отклонения, ассимиляция, реанализ

В выполненной ранее работе авторов [1] предложена и реализована итерационная процедура восстановления псевдоизмерений температуры и солености в особых районах Черного моря на отдельных горизонтах слоя 63-150 м глубоководной области, ограниченной изобатой 500 м, для решения задачи ретроспективного анализа гидрофизических полей. Данная процедура позволила восстановить ежесуточные трехмерные поля псевдоизмерений температуры моря в слое 50-150 м и солености в слое 2,5-150 м.

Особенность процедуры, которая предварительно испытывалась для 2012 года, состояла в следующем. Для ее реализации использовались псевдоизмерения температуры и солености в слое 63-150 м, восстановленные заблаговременно на регулярной сетке модели МГИ [2] по оригинальной методике комбинированного анализа альтиметрических и малочисленных судовых и буями Argo измерений температуры и солености [3, 4] в слое 63-500 м, а также ежесуточные поля температуры и солености, полученные заранее в прогностическом расчете посредством модели МГИ за весь 2012 год без ассимиляции наблюдений, но с реальным атмосферным форсингом ERA-Interim.

В настоящей работе выполнена имплементация апробированной процедуры непосредственно в модель. В численных экспериментах она реализуется на каждом шаге по времени с использованием модельных данных о температуре и солености с предыдущего шага (пошаговый вариант). К особым районам Черного моря, в которых псевдоизмерения температуры и солености не восстанавливались вследствие особенностей оригинальной методики, относятся антициклонические вихри и зоны моря справа от фронта Основного Черноморского Течения (ОЧТ). Для сопоставления результатов привлекались данные численных экспериментов по реанализу гидрофизических полей за 2012 год с ассимиляцией псевдоизмерений температуры и солености, полученных ранее и в пошаговом варианте, а также альтиметрический уровень моря.

При валидации полученных результатов основное внимание уделено особым районам бассейна Черного моря. Выполнено сопоставление модельных и измеренных буями Argo профилей температуры и солености.

Проанализированы результаты восстановления гидрофизических полей в ретроспективном анализе с использованием предложенной методики совместного восстановления и ассимиляции трехмерных полей псевдоизмерений температуры и солености. Произведена оценка среднемесячных среднеквадратических отклонений восстановленных в численных экспериментах полей температуры и солености от данных контактных измерений буями Argo на горизонтах и в выбранных слоях моря.

Работа выполнена в рамках

Список литературы

1) Лишаев П. Н., Кныш В. В., Коротаев Г. К. Восстановление температуры и солености в верхнем слое Черного моря по данным псевдоизмерений на нижележащих горизонтах // Морской гидрофизический журнал. 2019. Т. 35, № 2. С. 114–133. doi:10.22449/0233-7584-2019-2-114-133

2) Восстановление синоптической изменчивости гидрофизических полей Черного моря на основе реанализа за 1980–1993 годы / П. Н. Лишаев [и др.] // Морской гидрофизический журнал. 2014. № 5. С. 49–68.

3) Korotaev G. K., Lishaev P. N., Knysh V. V. Reconstruction of the three-dimensional salinity and temperature fields of the Black Sea on the basis of satellite altimetry measurements // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2016. Vol. 52, iss. 9. P. 961–973. doi:10.1134/S0001433816090152

4) Кныш В. В., Лишаев П. Н. Уточнение методики восстановления трехмерных полей солености и температуры Черного моря по редким измерениям и альтиметрии // Морской гидрофизический журнал. 2016. № 6. С. 5–17. DOI: 10.22449/0233-7584-2016-6-5-17

БОРНХОЛЬМСКИЕ vs ЛЕВАНТИЙСКИЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ВОДЫ: СХОДСТВО И РАЗЛИЧИЕ

Лобчук О.И., Буканова Т.В., Чубаренко И.П.

Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН

olga_ may87@mail.ru

Ключевые слова: холодный промежуточный слой, горизонтальная конвекция, ядро ХПС, термохалинная структура, Балтийское море, Средиземное море

Левантийские промежуточные воды образуются в Левантийском море (Восточное Средиземноморье) вдоль северного побережья и распространяются в толще вод Средиземного моря на промежуточных горизонтах. Для них характерны высокие значения солености ($>$ 39 промилле) и температуры ($>$ 15 °C) [1].

Холодный промежуточный слой (ХПС) Балтийского моря проявляется в его термохалинной структуре, каждый год, его характеристики варьируются от года к году в зависимости от суровости зим. Последние исследования показали, что воды ядра ХПС формируются в юго-западной части Балтийского моря [2, 3, 4]. Поверхностные наиболее холодные воды, обнаруженные на спутниковых снимках в Борнхольмском бассейне ранней весной, погружаясь в промежуточные слои, образуют ядро ХПС в южной и центральной части моря. Характерный диапазон солености (7.6-8.1 промилле) и температуры (1.4-2.1 $^{\circ}$C) Борнхольмских промежуточных вод позволяет проследить их в составе ХПС вдоль всего моря с юго-запада на северо-восток. Целью данной работы является сравнение механизмов и особенностей формирования промежуточных слоев двух морей.

Обзор закономерностей формирования Левантийских промежуточных вод проведен по открытым литературным данным, анализ для Борнхольмских промежуточных вод сделан на основе CTD измерений и вертикальных профилей температуры и солености, полученных из базы данных ICES, многолетних экспедиционных данных АО ИО РАН, SST и метеорологической информации.

Основные сходства механизмов и особенностей формирования заключается в следующем: 1) и Левантийские, и Борнхольмские промежуточные воды образуются ранней весной (февраль-март для Средиземноморья, конец марта-начало апреля для Балтики) на поверхности вдоль побережий; 2) выделяются в виде облака точек на T-S диаграммах; 3) прослеживаются в промежуточных слоях практически в течение всего года; 4) метеоусловия - один из важнейших факторов формирования (для Левантийской промежуточной воды необходим северо-западный ветер, для Борнхольмской - восточных румбов).

Различия: 1) глубины регионов формирования вод и самих морей очень отличаются; 2) важную роль в создании условий для погружения Борнхольмской воды играет смена знака потока плавучести; а для Левантийской - формирование вихря.

Несмотря на явные различия, механизмы формирования этих промежуточных вод схожи: это опускание поверхностных вод, сформированных в конце зимнего периода над шельфами, в промежуточные слои глубокой части. Как Левантийские, так и Борнхольмские промежуточные воды обеспечивают важный вклад в формирование термохалинной структуры морей. Детальное изучение особеностей и механизмов их образования и жизненного цикла позволит в дальнейшем уточнить движущие силы, источники и закономерности термохалинной циркуляции морей.

Анализ экспедиционных данных выполнен при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 19-05-00717). База данных о термохалинной структуре Балтийского моря поддерживается в рамках госзадания ИО РАН (тема №0128-2021-0012).

Список литературы

1) Kubin E, Poulain P-M, Mauri E, Menna M, Notarstefano G. Levantine Intermediate and Levantine Deep Water Formation: An Argo Float Study from 2001 to 2017. Water. 2019; 11(9):1781. https://doi.org/10.3390/w11091781.

2) Chubarenko, I., Stepanova, N., 2018. Cold intermediate layer of the Baltic Sea: Hypothesis of the formation of its core. Prog. Oceanogr. 167, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2018.06.012 .

3) Лобчук О. Пространственная изменчивость положения границ и мощности холодного промежуточного слоя в Балтийском море в весенний период // Ученые записки РГГМУ. 2018. № 53. стр. 97-102.

4) Bagaev A., Bukanova T., Chubarenko I. ,2021. Spring cold water intrusions as the beginningof the cold intermediate layer formation in the Baltic sea. Estuarine Coastal and Shelf Science. 250. 10.1016/j.ecss.2020.107141.

НЕУСТОЙЧИВЫЕ СУБМЕЗОМАСШТАБНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ ГЕОСТРОФИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ С ЛИНЕЙНЫМ ВЕРТИКАЛЬНЫМ ПРОФИЛЕМ СКОРОСТИ

Журбас Н.В., Лыжков Д.А.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

dlyzhkov@gmail.com

Ключевые слова: уравнение эволюции потенциального вихря, неустойчивые возмущения геострофического течения.

Проводится анализ и интерпретация решений задачи на собственные значения с целью изучения 3D неустойчивых (растущих со временем) возмущений геострофического течения с конечным поперечным масштабом и вертикальным профилем скорости применительно к океану. Базисное уравнение – это уравнение эволюции потенциального вихря в квазигеострофическом приближении. Постановка подобных задач, в которых учитываются вертикальные диффузия плавучести и трение, подробно представлена в работах [1-4].

Особое внимание уделяется анализу инкрементов роста (или скоростей роста) неустойчивых возмущений в зонах узких течений, для которых число Бургера удовлетворяет неравенству Bu=$(NH/fL)^2$ 0.1, где N – частота плавучести в фоновом равновесном состоянии, f – параметр Кориолиса, L – поперечный масштаб геострофического течения, H – толщина слоя (подробнее см. [4]). Показывается, что геострофические течения с поперечными масштабами, равными или меньшими масштаба Россби (то есть при Bu $\geq$ 1) являются неустойчивыми, причем растущие со временем возмущения с постоянной фазовой скоростью (независимой от волнового числа) обусловлены бароклинной неустойчивостью, а возмущения с фазовой скоростью, зависящей от волнового числа, возникают вследствие неустойчивости критического слоя. Разумно связывать возникновение неустойчивости критического слоя с влиянием вертикальной диффузии плавучести на фазы начальных возмущений: диффузия выравнивает фазы возмущений таким образом, что происходит переход кинетической энергии среднего потока в кинетическую энергию возмущений, благодаря чему амплитуда начальных возмущений может расти со временем. Неустойчивость критического слоя в зонах течений с поперечным масштабом, меньшим радиуса деформации Россби, является причиной образования максимально растущих осесимметричных возмущений (с равными масштабами вдоль и поперек течения). Такие возмущения следует относить к субмезомасштабным вихрям, которые, как полагают, возникают вследствие горизонтального сдвига скорости основного потока [5]. Таким образом, полученные результаты, описывающие образование вихрей малого масштаба в течениях, характеризующихся только вертикальным сдвигом скорости, позволяют расширить точку зрения на механизмы образования субмезомасштабных структур.

Дополнительно в работе проводится сравнение модельных решений с решениями, полученными при описании неустойчивости геострофических течений в приближении идеальной жидкости, а также приводятся оценки корректности описания неустойчивости критического слоя в рамках квазигеострофической теории.

Исследование выполнено в рамках государственного задания (тема №0149-2019-0003).

Список литературы

1) Кузьмина Н.П., Скороходов С.Л., Журбас Н.В., Лыжков Д.А. О неустойчивости геострофического течения с линейным вертикальным сдвигом скорости на масштабах интрузионного расслоения // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. Т. 54. № 1. 2018. С. 54–63.

2) Журбас Н.В. О спектрах собственных значений в модельной задаче описания образования крупномасштабных интрузий в Арктическом бассейне (на англ. яз.) // Фундам. прикл. гидрофиз. Т. 11. № 1. 2018. С. 40–45.

3) Кузьмина Н.П., Скороходов С.Л., Журбас Н.В., Лыжков Д.А. Описание возмущений океанских геострофических течений с линейным вертикальным сдвигом скорости с учетом трения и диффузии плавучести // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. Т. 55. № 2. 2019. С. 73–85.

4) Кузьмина Н.П., Скороходов С.Л., Журбас Н.В., Лыжков Д.А. О влиянии трения и диффузии плавучести на динамику геострофических океанских течений с линейным вертикальным профилем скорости // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. Т. 56. № 6. 2020. С.676–688.

5) Munk W., Armi L. Spirals on the sea: A manifestation of upper-ocean stirring, In: From Stirring to Mixing in a Stratified Ocean // Proceedings of the 12th 'Aha Huliko'a Hawaiian Winter Workshop. 2001. P. 81–86.

ЭЛЕМЕНТЫ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО РАЙОНА БАРЕНЦЕВА МОРЯ (ПО МАТЕРИАЛАМ ЭКСПЕДИЦИЙ НИС «ДАЛЬНИЕ ЗЕЛЕНЦЫ» 2019-2020 Г.)

Максимовская Т.М., Ильин Г.В.

Мурманский морской биологический институт Российской академии наук, г. Мурманск

maximovskaja.t@yandex.ru

Ключевые слова: термохалинная структура вод, атлантические воды, Полярный бассейн.

Северо-Восточная часть Баренцева моря представляет собой участок морского бассейна со специфическим гидрологическим режимом, который формируется под влиянием соседних акваторий Полярного бассейна и Карского моря. Географически район является обширным проливом между островами архипелагов Новая Земля и Земля Франца-Иосифа. Несмотря на практическую востребованность Северо-Восточного района моря в навигационных целях, океанографические исследования акватории относительно редки. В рамках исследования актуализированы данные о гидрометеорологических характеристиках района и данные термохалинного состояния водной среды.

В работе использовались данные исследований ММБИ РАН, полученные в экспедициях НИС «Дальние Зеленцы» с 30 октября по 4 ноября 2019 г и с 6 по 10 октября 2020 г. Проведены измерения температуры и солености при вертикальном профилировании водной толщи на гидрологических станциях с помощью CTD-профилографа SEACATSBE 19plusV2 (США). Параллельно на станциях измерялись метеорологические параметры с помощью судовой метеостанции. В 2019 г. был выполнен океанографический полигон, состоящий из 17 станций на трех океанографических разрезах, в октябре 2020 г. - два разреза из 12 станций. По данным CTD-зондирования построены карты-схемы и вертикальные разрезы распределения температуры и солености вод.

Основной целью данной работы является изучение термохалинной структуры вод Северо-Восточного района Баренцева моря, а также роли потоков атлантических вод в водообмене прилегающих акваторий.

Исследование гидрологического режима Северо-Восточной части Баренцева моря обнаруживает следующие характерные черты. Термохалинная структура этого морского района формируется в результате взаимодействия двух основных водных масс - полярной и атлантической при ситуационном воздействии ветрового поля. Трансформированные атлантические воды поступают двумя разнонаправленными потоками в различных глубинных слоях. Исходя из анализа научных публикаций [1-4], оба глубинных потока устойчивы в течение годового цикла. Однако, при изменениях синоптических условий положение ядер потоков может варьироваться по глубинам. Потоки идентифицируются как ветвь теплого Новоземельского течения и ветвь глубинного течения желоба Святой Анны. Выходящая из Баренцева моря ветвь Новоземельского течения проходит вдоль склона Новоземельского шельфа и оказывает отепляющее влияние на поверхностный слой вод прилегающей акватории Карского моря. В Баренцево море входит более мощный поток атлантических вод из Полярного бассейна. По ответвлениям желоба Святой Анны поток проходит до 62-60° в.д. и рассеивается по мере выклинивания желоба в донном рельефе пролива. Термохалинная структура вод верхнего 50-ти метрового слоя более разнообразна и изменчива. Особенности вертикальной и горизонтальной структуры вод этого слоя зависят от ветровой нагрузки - силы, направления и длительности воздействия. При устойчивом направлении ветра развитие ветровой волны достигает слоя атлантических вод, в результате чего формируются подповерхностные линзы теплой и соленой воды. Отепляющее влияние этих вод замедляет выхолаживание и становление ледяного покрова в проливе.

Работа выполнена в рамках государственного задания ММБИ РАН (тема № АААА-А18-118030690062
0)

Список литературы

1) Лебедев К.В. Атлантические воды в северо-восточной части Баренцева моря // Океанология. –1999. – Т.39. – № 6. – С. 832-842.

2) Трофимов А.Г. Изучение термохалинной структуры и циркуляции вод на северо-восточной границе Баренцева моря в 2007-2008 гг. / Трофимов А.Г., Титов О.В., Педченко А.П. // Вопросы промысловой океанологии. –2008. – Вып. 5. – № 2. – С. 80-91.

3) Loeng H. Features of the physical oceanographic conditions of the Barents Sea // Polar Research. – 1991, – V. 10(1), – P. 5-18.

4) Panteleev G. Mass, Heat and Salt Balances in the Eastern Barents Sea Obtained by Inversion of Hydrographic Section Data / Panteleev G., Ikeda M., Grotov A., Nechaev D., Yaremchuk M. // Journal of Oceanography. – 2004. – Vol. 60, – P. 613-623.

ОСОБЕННОСТИ ВЕСЕННЕГО РАЗРУШЕНИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА В ОХОТСКОМ МОРЕ

Малуша А.П. , Царев В.А.

Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург

kimo2021@mail.ru

Ключевые слова: Охотское море,ледяной покров,сравнительный анализ,моделирование

От ледовой обстановки в акватории Охотского моря зависят практически все виды хозяйственной деятельности, поэтому необходима модель, которая смогла бы достаточно полно описать процессы, способствующие освобождению акватории ото льда, и сроки. В моей научной работе были сравнены результаты, полученные в результате моделирования и результаты, полученные по натурным картам.

Для определения особенностей весеннего разрушения ледяного покрова по натурным картам были использованы карты скорости ветра, температуры воздуха, температуры воды Охотского моря, взятые с сайта www.windy.com и карты сплоченности льда в Охотском море, взятые с сайта www.aari.ru в период с 4 марта по 7 мая 2020.

Для определения особенностей весеннего разрушения ледяного покрова в Охотском море по результатам моделирования была использована математическая модель, имеющаяся на кафедре океанологии.

Описание модели разрушения ледовитости в Охотском море. В модели рассчитывался сезонный ход состояния ледяного покрова. При этом описывалось образование, рост и таяние, а также его дрейф и изменение сплоченности. Были использованы уравнения: уравнение изменения толщины льда в результате действия тепловых факторов и дрейфа, уравнение изменения сплоченности льда, уравнение напряжения в ледяном покрове, уравнение составляющей скорости дрейфа, конечно-разностное уравнение о напряжении в ледяном покрове и конечно-разностное уравнение изменения сплоченности.

Результаты, полученные в ходе работы:

1) К началу мая на акватории Охотского моря не осталось областей, где сохранялась отрицательная температура воздуха.

2) К началу мая температура воды на большей части акватории Охотского моря составляла 0 °C, но в южной и юго-восточной и части моря температура воды имела значение около 5 °C.

3) Процесс начала разрушения ледяного покрова происходит в южной и юго-западной части Охотского моря (по результатам натурных карт и результатов, которые были получены в ходе моделирования - в первой декаде апреля), в дальнейшем освобождается центральная часть и к началу мая ледяной покров остался только в районе Удской губы (9 баллов), Сахалинского залива (9 баллов) и в северной части (4-7 балла), вся остальная акватория Охотского моря свободна от ледяного покрова. Это обусловлено температурным режимом и ветровыми условиями.

4) Значения толщины льда на всей акватории Охотского моря на 1 мая 2020 года по результатам модели составили 0 см.

5) Начиная с конца апреля и на начало мая значения давления в ледяном покрове можно отметить только в прибрежной зоне Охотского моря и величины давления незначительно отличаются от 0.

6) Значения сплоченности льда на всей акватории Охотского моря на 1 мая 2020 года по результатам модели составило 0 баллов.

По результатам сравнительного анализа можно сделать вывод, что результаты моделирования практически полностью совпадают с результатами, полученными по натурным картам и начало разрушения ледовитости в Охотском море происходит в период с 8 по 15 апреля, а освобождение акватории моря ото льда происходит к началу мая.

без финансовой поддержки

Список литературы

1) Атлас "Климат морей России и ключевых районов Мирового океана" [Электронный ресурс]. URL: http://www.esimo.ru/atlas/Oxot/ (дата обращения 21.05.2020).
2) Гидрометеорология и гидрохимия морей. Том 09. Охотское море. Выпуск 1. Гидрометеорологические условия. Справочник. // СПб: Гидрометеоиздат, 1998. — 343 стр.
3) Добровольский А.Д., Залогин Б.С. Моря СССР. — М.: Изд-во МГУ,1982 г. — 192 с.
4) Шамраев Ю. И., Шишкина Л. А. Океанология. Л.: Гидрометеоиздат, 1980

О ВИХРЯХ АГУЛЬЯСА И ВОЛНАХ РОССБИ, РАСПРОСТРАНЯЮЩИХСЯ В ЮЖНОЙ АТЛАНТИКЕ

Малышева А.А.[1], **Гневышев В.Г.**[2], **Белоненко Т.В.**[1], **Колдунов А.В.**[1]

[1] *Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург*

[2] *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия*

alinamalysheva97@mail.ru

Ключевые слова: альтиметрия, аномалии уровня моря, Агульяс, мезомасштабные вихри, антициклоны, волны Россби, меридиональное смещение, метод автоматической идентификации.

Вихри течения Агульяс - это вихри, которые образуются на юго-западе Индийского океана. Они имеют размер более 100 км и дрейфуют на запад от соответствующих мест формирования. Анализ альтиметрических карт SLA (Sea Level Anomalies) показывает устойчивое распространение на запад мезомасштабных вихрей в Мировом океане, что объясняется существованием планетарных волн Россби. Однако несколько исследователей одновременно заметили, что при переносе вихрей происходит значительное меридиональное смещение, при этом циклоны имеют тенденцию перемещаться к полюсу, а антициклоны к экватору [1]. Данному явлению было дано два объяснения: Morrow (2004) полагает, что смещение вихрей можно объяснить изменением градиента потенциальной завихренности средним потоком с вертикальным сдвигом [2], а Каменкович и др. (1996) объясняют данное смещение большой нелинейностью вихрей [3].

Таким образом, основной целью данной работы является анализ распространяющихся в Южной Атлантике долгоживущих антициклонов. Наш главный интерес - меридиональное смещение вихрей Агульяс.

Для исследования использовались данные массива «Mesoscale Eddies in Altimeter Observations of SSH» (http://wombat.coas.oregonstate.edu/eddies/). Для создания этого массива, содержащего мезомасштабные вихри, выделенные методом автоматической идентификации и трекинга, применялся специально разработанный алгоритм идентификации вихрей, основанный на анализе альтиметрических снимков [4].

В нашей работе для исследования выбирались вихри с продолжительностью жизни от 2,5 лет. За этот промежуток вихрь успевает преодолеть значительное расстояние. Мы показываем, что только антициклоны течения Агульяс соответствуют этому условию. Далее мы оцениваем зональное и меридиональное смещение вихрей. Зональное смещение и, соответственно, зональная составляющая скорости перемещения, доминируют, однако на отдельных участках трека смещение вихря к экватору сравнимо с зональным смещением. Также мы установили, что чем больше скорость вихря, тем больше его меридиональное смещение в единицу времени. Мы выявляем, что вихри распространяются почти прямолинейно. Под влиянием топографии, особенно при пересечении хребтов, вихри меняют азимут направления, после чего снова распространяются прямолинейно. На основании полученных результатов также были сделаны два основных вывода: траектории вихрей носят скорее квазилинейный, чем квазипараболический характер; вихри меньшего пространственного размера более склонны перемещаться в меридиональном направлении и имеют больший угол наклона к параллели

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 20-05-00066).

Список литературы

1) Cushman-Roisin, B., 1994. Introduction to Geophysical Fluid Dynamics, Prentice-Hall, Upper Saddle River, N. J.

2) Morrow, R., Birol, F., Griffin, D., Sudre, J., 2004. Divergent pathways of cyclonic and anti-cyclonic ocean eddies. Geophys. Res. Lett. 31, L24311.

3) Kamenkovich, V. M., Leonov, Y. P., Nechaev, D. A., Byrne, D. A., Gordon, A. L., 1996. On the Influence of Bottom Topography on the Agulhas Eddy. Journal of Physical Oceanography. 26(6), 892–912.

4) Chelton, D. B., Schlax, M. G., Samelson, R. M., 2011. Global observations of nonlinear mesoscale eddies. Prog. Oceanogr. 91, 167-216.

ЧАСТОТНО-СПЕКТРАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ШТОРМОВЫХ НАГОНОВ В ФИНСКОМ ЗАЛИВЕ

Медведев И.П.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

medvedev@ocean.ru

Ключевые слова: уровень моря, Балтийское море, штормовые нагоны, Финский залив, спектрально-временной анализ

Штормовые нагоны - это один из важнейших типов колебаний уровня для акватории Балтийского моря. Экстремальные штормовые нагоны в Финском заливе приводят к катастрофическим наводнениям в Санкт-Петербурге и причиняют городу огромный экономический и социальный ущерб. Экстремальные подъемы уровня в Финском заливе формируются при прохождении глубоких циклонов с преобладанием западных ветров над акваторией Балтийского моря. Под областью низкого атмосферного давления формируется нагонная волна, распространяющаяся в сторону вершины Финского залива. Подъем уровня моря усиливается из-за мелководья, а также сужающегося к вершине залива.

Важную роль в формировании штормовых нагонов играют частотные свойства Финского залива, которые определяют преобладающий период собственных колебаний уровня и их затухание. В [1] на основе взаимного спектрального анализа многолетних рядов наблюдений на мареографах были исследованы частотные свойства стоячих волн в Финском заливе с периодами от часов до суток. Для Финского залива характерный «резонансный» период колебаний составил ∼27 ч. Также был выделен пик с периодом около 8 часов, характерный для вершины Финского залива (станция Горный институт). В [2] было показано, что во время экстремального подъема уровня моря 7-12 января 2005 г., вызванного циклоном Гадран (Эрвин), период нагонной волны варьировал от 28-30 ч до 36-42 ч в момент максимальной высоты уровня моря. В [3] были рассчитаны периоды трех наводнений (в 2001, 2002 и 2003 гг.) на основе численного моделирования - 25-30 ч, и данных наблюдений - 22-32 ч. В рамках текущего исследования были изучены частотно-временные свойства экстремальных штормовых нагонов в Финском заливе в период с 1977 по 2006 гг.

В текущем исследовании были использованы ряды ежечасных наблюдений на шести мареографах в Финском заливе. Все ряды были приведены к единому отсчету времени (Гринвич) и одной системе высот (0КФ). Были использованы данные наблюдений на финских станциях Фегло, Ханко и Хельсинки с 1 октября 1992 г. по 30 сентября 2008 г., на станциях Выборг и Кронштадт с 1 января 1992 г. по 31 декабря 2006 г. По станции Горный институт, расположенной в Санкт-Петербурге, был использован ряд с 1 января 1977 г. по 22 июня 2007 г. Расчеты спектров выполнялись с помощью быстрого преобразования Фурье (метод Уэлча); при этом для улучшения качества расчета использовалось спектральное окно Кайзера-Бесселя с половинным перекрытием. При помощи спектрально-временного анализа (СВАН) были рассчитаны частотно-временные диаграммы для событий экстремальных штормовых нагонов.

При помощи спектрального анализа длительных рядов были выявлены основные периоды собственных колебаний Финского залива. В результате спектрально-временного анализа отдельных наводнений были получены частотно-временные спектры штормовых нагонов. Для Финского залива опасными являются штормовые нагоны с периодами 25-35 ч. Так, период колебаний уровня во время наводнения 1 января 1984 составлял 26-34 ч, в декабре 1986 г. - 24-34 ч, в середине октября 1994 г. - 24-30 ч, в ноябре 1999 г. - 27-34 ч, в январе 2007 г. - 25-30 ч. В случае наводнений начала октября 1994 преобладали колебания с бóльшими периодами - 48-80 ч. В случае наводнения 9 января 2005, вызванного прохождением циклона Гадран, колебания уровня моря имели периоды от 27 до 48 ч. В отдельных случаях штормовых нагонов наблюдается усиления высокочастотных 8-часовых колебаний.

Анализ частотно-временной изменчивости колебаний уровня моря в период нагонов показал, что существенным фактором увеличения абсолютных отметок в моменты наводнений были изменения среднего (фонового) уровня моря. В рамках настоящего исследования были проанализированы экстремальные подъемы уровня моря, сформированные низкочастотной изменчивостью уровня. Для этого к длительному ежечасному ряду изменения уровня в Горном институте с 1977 по 2017 гг. был применен низкочастотный фильтр с окном Хэмминга с частотой среза 0,05 цикл/сут. Фильтрация исходного ряда позволяет исключить экстремумы, вызванные отдельными нагонными событиями. В результате фильтрации был получен длительный ряд низкочастотных колебаний уровня с периодами 20 суток и более. Эти долгопериодные колебания уровня в вершине Финского залива формируются в первую очередь под влиянием годового хода среднего уровня моря, вызванного сезонной изменчивостью атмосферных полей над регионом, определяющих в том числе водообмен с Северным морем. Эти факторы приводят как к перераспределению водной толщи внутри моря, так и к изменению объема всего Балтийского моря. Причем величина долгопериодных колебаний среднего уровня Балтийского моря достигает нескольких дециметров. Так в отдельные годы размах сезонных колебаний уровня в вершине Финского залива достигает 60 см, а максимальный подъем среднего уровня наблюдается в период с октября по январь.

Показано, что фоновые колебания среднего уровня моря с периодами более 20 суток являются неблагоприятным фактором для формирования наводнений в Финском заливе. Выделено четыре события, когда средний уровень моря превышал 100 см на протяжении нескольких дней, три из которых сопровождались наводнениями.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0149-2019-0005) и при финансовой поддержке РНФ (грант № 20-77-00099).

Список литературы

1) Куликов Е.А., Медведев И.П. Изменчивость уровня Балтийского моря и наводнения в Финском заливе // Океанология. 2013. Т. 53. № 2. С. 167–174.

2) Захарчук Е.А., Тихонова Н.А., Сухачев В.Н. О пространственной структуре и распространении волн невских наводнений // Метеорология и гидрология. 2020. № 4. С. 42–53.

3) Попов С.К., Гусев А.В., Фомин В.В. Вторичный максимум уровня моря в наводнениях в Санкт-Петербурге и его воспроизведение в численных моделях // Метеорология и гидрология. 2018. № 12. С. 48–60.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ МРАМОРНОГО МОРЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

Медведева А.В., Станичный С.В., Кубряков А.А., Алескерова А.А., Василенко Н.В.

ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН», г. Севастополь

Shift@mail.ua

Ключевые слова: Мраморное море, Верхнебосфорское течение, вихри, внутренние волны, данные дистанционного зондирования, спутниковые данные

Мраморное море включено в процессы водообмена с Черным и Эгейским морями, что в значительной мере обуславливает в нем как развитие ряда процессов, так и физико-химические и биооптические характеристики. В настоящей работе использовались спутниковые данные за период с 2016 по 2020 гг. В частности, явления и пространственные структуры выявлялись по данным из радиолокационного (C-SAR Sentinel-1), оптического (MSI Sentinel-2, OLI Landsat-8) и инфракрасного (MODIS Aqua, MODIS Terra, VIIRS Suomi-NPP) спектров. Проявление вихрей и пленочных (нефтяных) загрязнений на радиолокационных изображениях определялось по изменению шероховатости морской поверхности в условиях слабого ветра, проявление Верхнебосфорского течения в ряде случаев - при ветрах более высоких скоростей. В оптическом диапазоне, помимо проявления вихрей, Верхнебосфорского течения и пленок, обнаруживались внутренние волны и выраженные цветения фитопланктона. Многоканальный подход использован для выделения отражённой компоненты и подповерхностного излучения.

Проявление Верхнебосфорского течения - солоноватой водной массы черноморского происхождения в верхних $\sim$ 20 м над более соленой и плотной водной массой [1] - в значительно степени зависит от ветровых условий. Так, при интенсивном ветровом воздействии (от 6-8 м/с и выше) распространение черноморских вод обнаруживается до центральной части Мраморного моря и более (на 50-70 км), но в большинстве ситуаций выявляемое распространение ограничивается 20-40 км. Направление течения также тесно связано с влиянием ветра. Наиболее типичные ситуации - распространение на юг и юго-запад при северных ветрах.

В теплое время года (обычно с мая по сентябрь) Верхнебосфорское течение на выходе из Босфорского пролива уверенно распознается на инфракрасных изображениях по контрасту температур с окружающими водами (черноморские воды холоднее на 1-3^0 С и более). Данное явление - халинный апвеллинг [2, 3] - является результатом перемешивания над- и подтермоклинных черноморских вод во время прохождения по Босфорскому проливу с последующим выходом на поверхность за счёт их меньших солёности и плотности.

Вихри обнаруживались почти по всей акватории, наиболее крупные (диаметром до 30-35 км) - в центральной и восточной частях моря. Часто формирование вихрей наблюдалось в Гемликском заливе, заливе Эрдек, в районе северного побережья. Несколько реже вихри развивались в иных районах акватории, особенно на значительных расстояниях от береговой линии (15-30 км). Также нередко наблюдается формирование вихревого диполя в дистальной части Верхнебосфорского течения, с сохранением его структуры в отдельных случаях до суток и более. В Мраморном море периодически обнаруживаются вихревые цепочки, преимущественно в районе северо-западного побережья протяженностью до 10-20 км и более. Первые звенья образуются вихрями диаметром в десятки метров, конечные могут превышать в диаметре 1-1,5 км, количество звеньев в каждом индивидуальном случае варьирует от 3-4 до 8-10.

В Мраморном море типичным является проявление внутренних волн, но выделение волн природного происхождения затруднено из-за активного судоходства (возникновения корабельных волн) и волн, отраженных от береговой линии. Идентификация внутренних волн осуществлялась

на основе геометрических характеристик и с учетом положения судов. В результате при анализе спутниковых изображений (преимущественно оптических высокого разрешения) выявляется преобладание внутренних волн в районе стока рек (особенно в зоне выноса вод реки Коджасу во время половодья - в марте-апреле) и в районе влияния Верхнебосфорского течения (активное проявление - в теплое время года).

По оптическим данным в Мраморном море выявляется два типа интенсивного цветения фитопланктона: сине-зеленых водорослей и кокколитофоридов. Цветения сине-зеленых водорослей носят эпизодический характер, возникают в отдельные годы (в частности, в 2019 и 2020 гг.) с конца апреля по начало мая и проявляются в виде выраженных нитевидных структур, распространяющихся по всей акватории.

Выраженное кокколитофоридное цветение (определяется по высоким значениям на канале 490 нм MSI Sentinel-2, 469 нм - MODIS Aqua) в Мраморном море развивается в конце весны и начале лета и часто имеет связь с процессами цветения в Черном море. Так, за пятилетний период (с 2016 по 2020 гг.) выраженные случаи цветения в юго-западной части Черного моря регистрировались с апреля по июнь в 2016 г., с мая по июль в 2017 г., в июне и июле в 2019 г., в мае 2020 г. В Мраморном море без вклада черноморских вод выраженное цветение наблюдалось с мая по июль 2018 г. и с мая по июнь 2019 г.

В случае, когда цветение фитопланктона развивалось первоначально в Черном море, по RGB-композитам и отдельно по данным канала на длине волны 551 нм (VIIRS Suomi-NPP) выявлялась высокая концентрация фитопланктона на выходе из Босфорского пролива в Мраморном море. В 2016 и 2017 гг. поступление вод с высоким содержанием фитопланктона привело к развитию выраженного цветения в Мраморном море, но в 2019 и 2020 гг. интенсивного цветения не наблюдалось. В остальных случаях, когда цветение первоначально развивалось в Мраморном море, поступление черноморских вод также выявлялось по RGB-композитам и значениям концентрации хлорофилла-а [1].

В северо-западной части моря на оптических и радиолокационных изображениях регулярно выявляются пленочные образования, вероятно, природного происхождения (предполагается наличие сипов), источники которых в работе [4] регистрировались по газовым выбросам в 2009 г. Наиболее частое и интенсивное проявление наблюдается западнее мыса Эрегли в районе шельфовой зоны моря и свала глубин (расположение источников на глубинах от 50 до 500 м). Вдоль западного побережья (в районе г. Кумбаг и юго-западнее), где характерен узкий шельф и более широкий склон, также выявляются пленочные образования, но эпизодически.

Работа выполнена в рамках государственных заданий 0827-2019-0002 (исследование процессов и явлений в Мраморном море) и 0555-2019-0001 (изучение динамических процессов по оптическим данным высокого разрешения), а также при поддержке грантов РФФИ 19-05-00752 А (информация о внутренних волнах и проявлении пленочных загрязнений) и 19-05-00479 А (информация о Верхнебосфорском течении, вихрях, цветении фитопланктона).

Список литературы

1) Oguz T. Impacts of a buoyant strait outflow on the plankton production characteristics of an adjacent semi-enclosed basin: A case study of the Marmara Sea //Journal of Marine Systems. – 2017. – Т. 173. – С. 90-100.

2) Beşiktepe Ş. T. et al. The circulation and hydrography of the Marmara Sea //Progress in Oceanography. – 1994. – Т. 34. – №. 4. – С. 285-334.

3) Özsoy E. et al. Mixing in the Bosphorus Strait and the Black Sea continental shelf: observations and a model of the dense water outflow //Journal of marine systems. – 2001. – Т. 31. – №. 1-3. – С. 99-135.

4) Palabiyik Y., Ozdemir A., Karataş A. The Seafloor Indications for Hydrocarbon Potential of the Marmara Sea Basin (Northwestern Turkey) and Proposed Exploration Zones along with Some Drilling Locations.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ И НАКАТ УЕДИНЕННОЙ ВОЛНЫ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЗАПОВЕДНИКА “ХЕРСОНЕС ТАВРИЧЕСКИЙ”

Михайличенко С.Ю.

ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН», г. Севастополь

liham1984@rambler.ru

Ключевые слова: модель SWASH, солитон, заповедник "Херсонес Таврический", профиль волны, амплитуда волны, накат волн на берег, поля разностей высот волн, квадратичное донное трение, коэффициент шероховатости дна, рельеф дна

Основным гидродинамическим фактором, влияющим на береговую литодинамику, является ветровое волнение. Сильное штормовое волнение может приводить к обрушению и разрушению берегов и прибрежной инфраструктуры, затоплению прибрежных районов [1]. Поэтому исследование процессов трансформации волн при их распространении на мелководье с последующим накатом на береговой склон является одной из наиболее актуальных задач в прибрежной гидродинамике [2]. Важным аспектом данной задачи является вопрос об исследовании процессов ослабления волн вследствие их обрушений при подходе к берегу, а также при их взаимодействии с различными типами берегозащитных сооружений [3].

Разрушение берегов заповедника «Херсонес Таврический» приводит к сокращению площади древнего городища, что определяет необходимость в ее защите от разрушительного влияния штормового волнения. Для представления ветровых волн в работе была выбрана математическая модель солитона [4], так как известно, что на определенной стадии деформации волн мелководьем гребни волн становятся более узкими и крутыми, чередуясь с длинными и пологими впадинами [5].

В работе с помощью модели SWASH [6] в рамках двумерной задачи исследовалось распространение, трансформация и накат уединенной волны на берег Херсонеса при учете таких диссипативных факторов как рельефа дна и квадратичное донное трение. Рассматривалось влияние каждого из перечисленных параметров отдельно и их совместное воздействие на распространение солитона. Численные эксперименты проводились в модельном бассейне, который имеет прямоугольную форму шириной 500 м и длиной 1500 м и состоит из двух областей - прибрежной и мористой части. В прибрежной части бассейна использовался реальный рельеф дна и высот прилегающей территории городища. В мористой части использовался рельеф с постоянной глубиной, величина которой равна максимальной глубине прибрежной части. Это было сделано для того, чтобы входящий солитон смог подстроиться под расчетную область на начальном этапе распространения. В качестве граничных условий на входе при $x = 0$ задавались временной профиль уединенной волны и начальное значение осредненной по глубине скорости жидкости. Амплитуда входящей волны во всех экспериментах была постоянной, равной 3,0 м. С целью минимизации диссипативных эффектов на боковых границах расчетная область исследуемого района продлевалась вспомогательными областями с постоянными глубинами, соответствующими их величинам в граничных точках реального рельефа. На жидких границах вспомогательных областей использовалось условие свободного прохождения волн. В расчетах использовалась прямоугольная сетка с шагом по пространственным координатам $\Delta x = \Delta y = 0{,}5$ м. Шаг интегрирования по времени составил $\Delta t = 0{,}04$ с. Моделирование осуществлялось в промежутке времени 180 секунд.

Было проведено три численных эксперимента. Один без учета донного трения и два с различными вариантами величин коэффициента шероховатости дна. Исследовалось влияние рельефа дна и донного трения на высоту проходящей волны и величину наката на берег.

Численные эксперименты показали, что по мере распространения в расчетной области солитон подвергается постепенной трансформации. При распространении в области с постоянными глубинами профиль волны и ее высота не меняется. При входе в зону реальных глубин начинается

постепенная трансформация волнового профиля, крутизна переднего фронта и высота волны увеличиваются, что приводит к обрушению волны в приурезовой зоне с последующим ее накатом на берег. Сам фронт волны при входе в зону переменных глубин постепенно искривляется вследствие рефракции. Анализ результатов расчетов показал, что донное трение и, в частности, величины коэффициентов шероховатости, оказывают заметное влияние как на высоту проходящей волны, так и на величину ее вертикального наката. В частности, в случае без учета квадратичного донного трения при подходе к берегу высота волны возрастает с 3,0 м до 4,5 м в средней части волнового фронта. Величина вертикального наката волны при этом достигает значений в 5,0 - 6,0 м. Увеличение значений коэффициентов шероховатости дна приводит к заметной диссипации волновой энергии. В частности, при учете донного трения с величинами коэффициентов шероховатости, соответствующими структуре дна прибрежной области, высота солитона вблизи береговой линии уменьшается до 1,6 - 2,0 м. Высота наката волны в этом случае не превышает значений 2,0 - 3,0 м.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2018-0004 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей» (шифр «Прибрежные исследования»).

Список литературы

1) Репетин Л.Н., Белокопытов В.Н., Липченко М.М. Ветры и волнение в прибрежной зоне юго-западной части Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2003. Вып. 9. С. 13–28.

2) Базыкина А.Ю., Михайличенко С.Ю., Фомин В.В. Численное моделирование цунами в Черном море, вызванного землетрясением 12 сентября 1927 г. // Морской гидрофизический журнал. 2012. № 1. С. 75–84.

3) Котельникова А.С., Никишов В.И., Сребнюк С.М. Экспериментальное исследование взаимодействия поверхностной уединенной волны с подводным уступом // Гидродинамика и акустика. 2018. Т. 1. № 1. Стр. 42 – 52.

4) Пелиновский Е.Н. Гидродинамика волн цунами. Н. Новгород: ИПФ РАН, 1996. 276 с.

5) Кононкова Г.Е., Показеев К.В. Динамика морских волн. М.: Изд-во МГУ, 1985. 298 с.

6) SWASH User Manual / The SWASH team. Netherlands: Delft University of Technology, 2012. Vol.1. 10A. 91 p.

ДИНАМИКА КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В ПРОЛИВЕ ФРАМА И ВБЛИЗИ АРХ. ШПИЦБЕРГЕН ПО ДАННЫМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ РСА НАБЛЮДЕНИЙ

Михайличенко Т.В., Козлов И.Е.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

goldpineapple2020@gmail.com

Ключевые слова: короткопериодные внутренние волны, спутниковая радиолокация морской поверхности, фазовая скорость внутренних волн.

Спутниковые наблюдения с помощью радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) дают уникальную возможность наблюдать морскую поверхность с высоким пространственным разрешением фактически вне зависимости от погодных условий, что особенно актуально для арктического региона. В последние годы активно используются данные, полученных с двух новых полярно-орбитальных спутников Sentinel-1A и Sentinel-1B, запущенных в 2014-2016 гг. [1, 2] Частота измерений вышеуказанных спутников в полярных областях Земли, в частности в полосе широт 70-85° с. ш., достигает 2-4 раз в сутки с разницей по времени между ближайшими съёмками в 40-50 мин [3]. Благодаря этому мы можем более продуктивно получать данные о районах генерации и характеристиках внутренних волн. Интенсивные внутренние волны способствуют перемешиванию вод, обогащают их кислородом и питательными веществами [2]. Их изучение имеет важное прикладное значение, например, при решении задач подводной акустики [4].

Важной динамической характеристикой внутренних волн (ВВ) является фазовая скорость их распространения. Примеры определения фазовых скоростей на основе квазисинхронных спутниковых данных видимого и микроволнового диапазонов были представлены в работах [5,6], но для полярных районов Мирового океана ранее такие оценки не выполнялись.

Целью данной работы является определение фазовой скорости внутренних волн в районе пролива Фрам и вблизи арх. Шпицберген и выявление ее пространственно-временной изменчивости по данным последовательных РСА измерений в данном районе. Фазовые скорости внутренних волн определялись на основе определения смещения положения проявлений ВВ в радиолокационных изображениях (РЛИ) за известный промежуток времени между последовательными РСА съемками. В работе представлены результаты определения фазовой скорости короткопериодных внутренних волн в проливе Фрама и вблизи арх. Шпицберген, полученные в ходе обработки массива спутниковых изображений SAR-C Sentinel-1 в период с июня по октябрь 2018 г. Большая часть внутренних волн зарегистрирована в июле и августе (∼65 %). Построена обобщённая карта пространственного распределения значений фазовой скорости короткопериодных внутренних волн (КВВ) проливе Фрама и вблизи арх. Шпицберген. Внутренние волны распределены на акватории моря неравномерно, значительная их часть расположена проливе Фрама. Выделено три ключевых района наблюдения КВВ - пролив Фрама, шельф к северу от арх. Шпицберген и центральная часть плато Ермак. Диапазон рассчитанных значений фазовой скорости внутренних волн составил 0,2 - 0,8 м/с. В районе пролива Фрама, т.е. над глубокой водой, наблюдаемые значения фазовой скорости составляли 0,1 - 0,4 м/с. На шельфе к северу от арх. Шпицберген фазовые скорости имели значения от 0,2 до 0,4 м/с. Самые высокие значения фазовой скорости 0,4 - 0,8 м/с зарегистрированы над южным склоном плато Ермак.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ № 18-77-00082 и государственного задания 0555-2021-0003

Список литературы

1) Kozlov I.E., Larisa A. Petrenko, Evgeny V. Plotnikov. (2019), Statistical and dynamical properties of ocean eddies in Fram Strait from spaceborne SAR observations, Proc. SPIE 11150, Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions 2019, 111500S; doi: 10.1117/12.2533317.

2) Fer I., Koenig Z., Kozlov I.E., Ostrowski M., Rippeth T.P., & Padman, L., et al. (2020). Tidally forced lee waves drive turbulent mixing along the Arctic Ocean margins. Geophysical Research Letters, 47, e2020GL088083. https://doi.org/10.1029/2020GL088083

3) Козлов И. Е., Плотников Е. В. Динамика вихрей в Арктике по данным квазисинхронных спутниковых РСА-измерений Sentinel-1 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2020. – Т. 17. – №. 3. – С. 178-186.

4) Коняев К.В., Сабинин К.Д. Волны внутри океана. – СПб: Гидрометеоиздат, 1992. – 272 с.

5) Tensubam C. M. et al. Estimation of internal solitary wave propagation speed in the Andaman Sea using multi–satellite images //Remote Sensing of Environment. – 2021. – Т. 252. – С. 112123.

6) Hong D. B., Yang C. S., Ouchi K. Estimation of internal wave velocity in the shallow South China Sea using single and multiple satellite images //Remote Sensing Letters. – 2015. – Т. 6. – №. 6. – С. 448-457.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КАСКАДИНГА НА ШЕЛЬФЕ И МАТЕРИКОВОМ СКЛОНЕ АНТАРКТИКИ НА МЕЛКОМАСШТАБНОЙ НЕГИДРАСТАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ FLUIDITY-ICOM

Молчанов М.С., Головин П.Н.

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург

mms@aari.ru

Ключевые слова: каскадинг, моделирование, антарктический материковый склон

Численное моделирование конвективных процессов: вертикальной конвекции или стекающих плотностных потоков на склонах, является очень сложной задачей. В геофизических приложениях возникают дополнительные трудности из-за существенного различия шагов численной сетки по горизонтали и вертикали. Рассматриваемые процессы требуют от модели не только адекватного воспроизведения вертикальной конвекции и развития горизонтальных градиентных течений самих по себе, но и «естественного» их сочетания. Представленные далее расчеты проводились на трехмерной численной модели Fluidity-ICOM, подробное описание которой доступно в сети Internet (https://fluidityproject.github.io/). Она широко применяется для моделирования течений, переноса примеси различной природы в морях, заливах, эстуариях и других природных водоемах [1, 2]. В представленном исследовании использовался только гидродинамический модуль этой модели.

Модель решает уравнения сохранения массы, уравнения Навье-Стокса (с осреднением по Рейнольдсу), включая эффекты турбулентности и изменения плотности, совместно с уравнениями сохранения для солености и температуры в трех измерениях и уравнением состояния морской воды. Гидродинамический модуль может быть запущен в гидростатическом и негидростатическом варианте, с учетом и без учета влияния вращения Земли. Все эти возможности были использованы в данном исследовании. При расчетах боковые границы моделируемого бассейна открыты для свободного протекания.

Турбулентные процессы в Fluidity-ICOM могут быть параметризованы различными способами; во всех представленных расчетах вязкость вычислялась в терминах формулировки Смагоринского, т. е. связывалась с размером фильтра (шага сетки) и крупномасштабным ограничением скорости деформации крупных вихрей (т. е. с градиентами скорости вычисляемого поля течения). Трение о дно определяется через формулировку коэффициентов трения.

В модели используется динамическая неструктурированная сетка с автоматическим измельчением до заданных масштабов.

Условия на поверхности. Свободная поверхность рассматриваться как подвижная граница, и на ней используется кинематическое граничное условие. На поверхности выделялась зона полыньи с открытой водной поверхностью, через которую задавался поток соли-плавучести эквивалентный массе образующегося внутриводного льда, которая в свою очередь эквивалентна потокам тепла в атмосферу при определенных - фактических гидрометеорологических условиях, характерных для вскрытия полыньи (например, заприпайной) [3, 4]. На остальной поверхности предполагается наличие растущего ледяного покрова, поток соли под которым пренебрежительно мал. Между существующей поверхностью и первым расчетным уровнем в модели применяется гидростатическое приближение. Далее вглубь в случае выбора «негидростатической» постановки это гидростатическое приближение заменяется на так называемое приближение «искусственной сжимаемости».

Основные параметры бассейна и численной сетки. Расчетный домен представлял собой трехмерный прямоугольный ящик, 1 км x 6 км x 10 км. Домен состоит из двух частей: шельф с уклоном s=0.001 (0.2 км x 6 км x 5 км) и склон с уклоном s=0.16 (0.8 км x 6 км x 5 км). Минимальный масштаб сетки составляет 50 м по горизонтали и 5 м по вертикали. В начальный момент времени

задано нулевое поле скоростей. Начальные поля заданы равномерными, фактически наблюдаемыми значениями солености в районе моря Содружества - везде как S=34.2 PSU, температуры - везде T=-0.7 oC. Область полыньи представляет собой широкую 1 км x 6 км полосу на поверхности в области шельфа, равноудаленную от линий начала вычислительного домена на шельфе и бровки шельфа. Представленная конфигурация численного эксперимента характерна для конца зимнего сезона в области шельф-склон для окраинных морей в полярных регионах и представляет возможность смоделировать развитие зимней соленостной конвекции в шельфовой области при экстремально эффективном ледообразовании в периодически вскрываемой квазистационарной полынье с открытой водной поверхностью, которая способствует локальному интенсивному образованию плотных шельфовых вод, последующее их по шельфу и сток по материковому склону.

Для детального исследования процессов образования АШВ и последующего их сток по шельфу и склону по результатам расчетов построены разрезы солености (плотности) поперек шельфа и склона и карта распределения солености (плотности) в придонном слое на шельфе и склоне. Хорошо прослеживается эволюция структуры конвективных потоков под полыньей и вихревая структура придонных плотностных потоков. Представленные разрезы поперек шельфа и склона соответствует методике натурных наблюдений в этой области [5], что позволяет корректно применять результаты для верификации модельных исследований. Установлена зависимость динамики и устойчивости слоя плотных вод шельфового происхождения стекающих по склону от толщины этого слоя и крутизны склона.

Работа выполнялась в рамках проекта 5.2 НИТР Росгидромета «Комплексные океанологические, климатические, гляциологические и геофизические исследования Антарктики и Южного океана».

Список литературы

1) Hiester H.R., Piggott M.D., Allison P.A. The impact of mesh adaptivity on the gravity current front speed in a two-dimensional lock-exchange // Ocean Modelling. – 2011. – V. 38, – № 1–2, – P. 1-21, https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2011.01.003.

2) Jacobs C.T., Collins G.S., Piggott M.D., Kramer S.C., Wilson C.R.G. Multiphase flow modelling of volcanic ash particle settling in water using adaptive unstructured meshes // Geophysical Journal International. – 2013. – V. 192. – № 2. – P. 647-665. https://doi.org/10.1093/gji/ggs059.

3) Головин П.Н. Термохалинная изменчивость и гравитационные течения конвективной природы в районе существования заприпайных полыней в море Лаптевых. // Океанология. – 2002. – Т. 42. – № 2. – С. 174-186.

4) Головин П.Н. Роль квазистационарной заприпайной полыньи в формировании плотных шельфовых вод в зимний период и их последующем склоновом каскадинге (на примере моря Лаптевых). // Метеорология и гидрология. – 2008. – № 11. – С. 57-75.

5) Головин П.Н., Антипов Н.Н., Клепиков А.В. Сток антарктических шельфовых вод в летний период на шельфе и материковом склоне моря Содружества и их влияние на формирование донных вод Южного океана. // Океанология. – 2011. – Т. 51. – № 3. – С. 393-408.

МЕЗОМАСШТАБНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДНЫХ МАСС И ТЕЧЕНИЙ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ МОРЯ УЭДДЕЛЛА (БАССЕЙН ПАУЭЛЛА)

Мухаметьянов Р.З.[1,2], **Фрей Д.И.**[1]

[1]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова, Москва*

[2]*Московский физико-технический институт (НИУ), г. Долгопрудный*

rinat0233@mail.ru

Ключевые слова: море Уэдделла, бассейн Пауэлла, мезомасштабный полигон, гидрологический фронт.

Море Уэдделла является окраинным морем Атлантического сектора Южного океана. Тяжелые ледовые условия значительно задержали исследования в этом море [1]. Поэтому несмотря на то, что оно было открыто в позапрошлом веке, оно все еще является малоизученным. В связи с чем антарктическим летом 2019-2020 года была организована экспедиция на научно-исследовательском судне «Академик Мстислав Келдыш» в Атлантический сектор Южного океана, приуроченная к двухсотлетию открытия Антарктиды. Одной из составляющих исследований, проводимых в этой антарктической экспедиции, было изучение физической среды моря Уэдделла, включающее в себя измерение термохалинных характеристик, исследование структуры течений, фронтов, вихрей, а также водных масс. Так в рамках этой экспедиции в феврале 2020 года была проведена мезомасштабная съемка в море Уэдделла. Съемка включала в себя 24 станции с расстоянием в 6 морских миль между ними на каждой из которых проводились измерения CTD и ADCP профилографами для получения данных по температуре, солености и скоростям течений. При проведении полигона использовались CTD зонд SBE 9plus и ADCP модели WorkHorse Monitor. В данной работе представлены некоторые результаты обработки и анализа данных, полученных в ходе проведения мезомасштабного полигона в бассейне Пауэлла (северная часть моря Уэдделла). В работе [2] был рассмотрен вопрос возникновения и функционирования гидрологического фронта, обнаруженного в ходе проведения мезомасштабной съемки. В данной работе в отличие от предыдущей были также рассмотрены данные полученные с погружного акустического доплеровского измерителя течений (LADCP) и построены карты распределения скоростей на станциях мезомасштабной съемки по осредненным слоям в 200, 300 и 400 метров. При этом скорости течений были скорректированы с учетом вклада приливных скоростей, посчитанных при помощи глобальной модели TPXO Орегонского университета [3]. Но стоит отметить, что вклад приливных течений на полигоне в результате оказался незначительным. Также распределение скоростей по данным погружного ADCP оказалось в хорошем согласовании с распределением скоростей по данным судового ADCP.

Анализ данных натурных измерений поддержан грантом МК-1492.2021.1.5

Список литературы

1) Клепиков В.В. Гидрология моря Уэдделла. Гидрология прибрежных антарктических вод. Труды Советской антарктической экспедиции – 1963. – Т. 17. – С. 45-93.

2) Морозов Е.Г. и др. Мезомасштабная изменчивость океана в северной части моря Уэдделла //Океанология. – 2020. – Т. 60. – № 5. – С. 663-679.

3) Egbert, G. D., & Erofeeva, S. Y. (2002). Efficient Inverse Modeling of Barotropic Ocean Tides. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 19(2), 183–204. doi:10.1175/1520-0426(2002)0192.0.co;2

ЦИРКУЛЯЦИЯ ВОД В МОРЕ УЭДДЕЛЛА

Мухаметьянов Р.З.[1,2]

[1]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова, Москва*

[2]*Московский физико-технический институт (НИУ), г. Долгопрудный*

rinat0233@mail.ru

Ключевые слова: море Уэдделла, круговорот Уэдделла, структура вод, Антарктическая донная вода

Данная работа является обзорной с добавлением измерений в 2020 г. с участием автора. В акватории моря Уэдделла существует огромный циклонический круговорот, выносящий на север морские льды и айсберги от ледников (Weddell Gyre). Этот круговорот существует и поддерживается атмосферным круговоротом с таким же названием. Положение и масштаб круговорота Уэдделла в значительной степени определяется топографией дна и положением береговой линии. В западной части круговорота выделяют три основных фронта, определяющие западную интенсификацию течений: фронт Уэдделла, антарктический склоновый фронт и антарктическое прибрежное течение. Фронт Уэдделла ассоциируют с изобатами в 2500-3000 метров. Антарктический склоновый фронт приурочен к верхней части материкового склона. Антарктическое прибрежное течение локализуется на континентальном шельфе, за границу которого в Антарктике обычно принимают изобату в 500 метров. Глубинный интервал в море Уэдделла заполнен Теплой Глубинной водой, граница которой проходит по западной периферии моря. При продвижении по круговороту эти воды охлаждаются и опресняются на южной и юго-западной периферии, где участвуют в образовании Антарктической донной воды. Море Уэдделла является основным источником Антарктической донной воды в Атлантике. Циркуляционные механизмы обеспечивают формирование донных вод в южной и западной частях моря Уэдделла и последующий их перенос на север в море Скотия в слое ниже Антарктического циркумполярного течения. Но при этом наиболее холодные и плотные воды (донная водя моря Уэдделла) блокируются в круговороте Уэдделла от распространения на север орографическими барьерами. Измерения течений в западной части круговорота Уэдделла проводились в 2020 году в экспедиции АМК79 и подтвердили существующие представления о выносе холодных вод на север в районе Антарктического полуострова.

Список литературы

1) Клепиков В.В. Гидрология моря Уэдделла // Труды Сов. Антарктической. Экспедиции 1963. Т. 17. С. 45-93.

2) Клепиков А.В., Антипов Н.Н. Особенности формирования и распространения водных масс на шельфе и материковом склоне вокруг Антарктиды // Лёд и Снег 2014. № 4 (128). С. 81-94.

3) Кошляков М. Н., Тараканов Р. Ю. Введение в физическую океанографию // МФТИ, 2014.

4) Thompson, A. F., & Heywood, K. J. (2008). Frontal structure and transport in the northwestern Weddell Sea. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 55(10), 1229–1251. doi:10.1016/j.dsr.2008.06.001

5) Schröder, M., & Fahrbach, E. (1999). On the structure and the transport of the eastern Weddell Gyre. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 46(1-2), 501–527. doi:10.1016/s0967-0645(98)00112-x

6) Fahrbach, E., Hoppema, M., Rohardt, G., Boebel, O., Klatt, O., & Wisotzki, A. (2011). Warming of deep and abyssal water masses along the Greenwich meridian on decadal time scales: The

Weddell gyre as a heat buffer. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 58(25-26), 2509–2523. doi:10.1016/j.dsr2.2011.06.007

ЛЕДОВЫЙ ПОКРОВ КАСПИЙСКОГО МОРЯ, ОЦЕНКА ЕГО ИЗМЕНЕНИЯ ПО КЛИМАТИЧЕСКИМ СЦЕНАРИЯМ ДО 2100 ГОДА

Наурозбаева Ж.К [1], **Лобанов В.А.** [2]

[1] *РГП Казгидромет, Алматы, Казахстан,*

[2] *Российский Государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия*

naurozbaeva.zhanar@mail.ru

Ключевые слова: Каспийское море, ледовый режим, сценарии и модели климата, уменьшение максимальной толщины льда.

Целью данной работы является оценка будущего ледового режима Каспийского моря до конца 21 века на основе климатических моделей и их проекций. Основные данные были получены с 29 станций и постов Прикаспийского региона. В ранее выполненных работах авторов [1, 2] отмечены результаты исследовательской деятельности, согласно которой максимальная толщина льда в 1980х годах уменьшилась на всем Северном Каспии. Максимальная толщина льда наблюдается в феврале. При рассмотрении значений максимальной толщины льда за период 1944 - 2019 гг., наибольшая толщина отмечается в северо-восточной акватории моря (более 40 см), в Среднем Каспии - не превышает 15 см. Толщины льда в прошлом веке были значительными, на севере часто более 50 см, в отдельные годы и более 1 метра.

Разработано около 50 физико-математических моделей, которые включают в себя не только атмосферу и океан, но и все остальные составляющие климатической системы, а также учитывают химический состав атмосферы, взаимодействия между стратосферой и атмосферой и многие другие особенности, что выводит эти модели на уровень моделей системы планета Земля [2, 6]. Благодаря международному проекту CMIP5, результаты экспериментов по моделям климата стали унифицированы и находятся в свободном доступе в интернете [3, 4, 5]. Использованы результаты экспериментов по 10 климатическим моделям: модель пекинского климатического центра, Китай (Beijing Climate Centre, China, BCC Model); модель канадского центра моделирования и анализа климата с разрешением T63 (Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis, CanESM2, CGCM3,1 Model, T63 resolution); модель национального центра атмосферных исследований CCSM3.0, США (National Center for Atmospheric Research, CCSM3,0); модель центра метеорологических национальных исследований, Франция (Meteo-France, Centre National de Recherché Meteorologiques, CNRM, CM3 Model); модель центра атмосферных исследований Австралии версии Mk3,5 (CSIRO Atmospheric Research, Australia); модель HadCM3 Хэдли центра прогноза климата, Великобритания (Hadley Centre for Climate Prediction, Met Office, UK, HadCM3 Model); модель института вычислительной математики РАН, Россия (Institute for Numerical Mathematics, Russia, INM CM4,0 Model); модель института Макса Планка, Германия (Max Planck Institute for Meteorology, Germany, ECHAM5 / MPI OM); Японская модель MIROC3,2 с высоким разрешением (CCSR/NIES/FRCGC, Japan, MIROC3,2, high resolution), MIROCESM; Французская модель CM4 V1 института Лапласа (IPSL/LMD/LSCE, France, CM4 V1).

Наиболее подходящими моделями оказались - Hadley, INM и CNRM. Были рассчитаны сценарные значения средних многолетних температур трех зимних месяцев для трех 30-летних периодов 21 века: 2011-2040гг., 2041-2070 гг. и 2071-2100 гг. и для трех основных сценариев RCP 2.6, RCP 4.5 и RCP 8.5. Согласно моделям INM и CNRM толщина льда уменьшается на 10-15 см до отсутствия ледостава уже к середине столетия. Для северовосточных станций уменьшение составляет до 16 см. Повторяемость суровых зим значительно уменьшается, а к концу столетия и вовсе исчезает. Кромка льда сдвигается на 150-200 км. Вероятность безледных условий возрастет в 10 раз по модели INM.

В результате исследовательской работы получены следующие выводы:

1. На основе выбранных наиболее эффективных моделей климата (английская Hadley, российская INM и французская CNRM) откорректированы и получены карты изотерм будущих температур, которые показывают, что для среднего сценария RCP 4.5 площадь области с суммами отрицательных температур менее -500 °C к концу 21 века уменьшится более чем в 2 раза и умеренные зимы будут наблюдаться только на северо-востоке.

2. Уменьшение рассчитанных по эмпирическим зависимостям сценарных максимальных толщин льда составит 10-15 см, что приводит к отсутствию ледостава уже к середине столетия по моделям INM и CNRM.

3. Граница кромки льда сместится на север, будет на линии о. Тюлений - Форт- Шевченко.

4. Повторяемость безледных зимних периодов существенно увеличится.

Список литературы

1) Лобанов В.А., Наурозбаева Ж.К. Климатические изменения толщины льда на Северном Каспии. / Ученые записки РГГМУ. 2018. - № 53. С. 172-187.

2) Лобанов В.А., Кандове А.Л., Шукри О.А.А. Методические указания по выполнению лабораторной работы: «Сценарные оценки будущего климата на основе моделей общей циркуляции атмосферы и океана и данных проекта CMIP5» Санкт-Петербург, изд. РГГМУ. 2015. - 46 с.

3) About the WCRP CMIP5 Multi-Model Dataset Archive at PCMDI: http://www-pcmdi.llnl.gov/ipcc/about_ipcc.php

4) Atmospheric Model Intercomparison Project: http://www-pcmdi.llnl.gov/projects/amip/index.php

5) Gates W.L., 1992: AMIP: The Atmospheric Model Intercomparison Project. Bull. Amer. Meteor. Soc., 73, p. 1962-1970.

6) IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change). 2013. The physical science basis. In Contribution of Working Group I to the Firth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Thomas F. Stocker, Dahe Qin, Gian-Kasper Plattner, Melinda M.B. Tignor, Simon K. Allen, Judith Boschung, Alexander Nauels, Yu Xia, Vincent Bex, Pauline M. Midgley (eds). Cambridge University Press: Cambridge. 1552 p.

ОЦЕНКА СВЯЗИ ФРОНТАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ПОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА С ЦИРКУЛЯЦИЕЙ ВОД В АТЛАНТИЧЕСКИХ СЕКТОРАХ ПОЛЯРНЫХ БАССЕЙНОВ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗОВ NOAA OI SST И CMEMS

Никольский Н.В., Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

nikolsky.geo@gmail.com

Ключевые слова: Атлантические секторы Арктического и Антарктического бассейнов, температура поверхности океана, горизонтальные градиенты температуры, температурные фронты, геострофические течения, сезонный цикл.

На основе среднесуточных данных реанализа NOAA OI SST [1], содержащего значения температуры поверхности океана (ТПО) в узлах регулярной сетки с шагом 0,25° за период 1982-2017 гг., и реанализа CMEMS [2], содержащего значения геострофической скорости на поверхности в узлах регулярной сетки с шагом 0,25° за период 1993-2017 гг. выявлены особенности проявления температурных фронтов и геострофических течений (динамических фронтов) на поверхности в Атлантических секторах полярных бассейнов и оценена связь между их характеристиками. Выбор массивов данных обусловлен их одинаковым пространственным разрешением, что позволяет корректно сопоставить положение температурных фронтов и стрежней геострофических течений. Кроме того, согласно [3], временной период более 25 лет является достаточным для получения статистически достоверных климатических норм. Тестовые расчеты с последовательным сокращением температурного ряда до периода, соответствующего временному периоду массива [2], показали, что положение и интенсивность крупномасштабных температурных фронтов практически не изменялись. Характеристики фронтов (широтное и долготное положение экстремумов градиентов, величина этих экстремумов) и течений (широтное и долготное положение стрежня, величина максимума скорости) определялись для каждого месяца на выборках меридиональных и зональных градиентов температуры и составляющих геострофической скорости вдоль меридианов и параллелей согласно методике [4, 5].

Установлено, что в Арктике и Антарктике наблюдается различная связь между положением стрежней геострофических течений и экстремумов градиентов ТПО. Для Арктического бассейна выявлена слабая линейная связь между пространственным положением фронтов и стрежней течений. Это связано с тем, что в одних случаях положение температурных фронтов заметно смещено относительно положения стрежней течений, а в других - экстремумы геострофической скорости в поле скоростей течений не проявляются в виде фронтов в поле ТПО, и наоборот, не всем экстремумам градиентов ТПО соответствуют стрежни течений. Например, в Баренцевом море экстремумы меридиональных градиентов температуры (МГТ), характеризующие Полярный фронт, располагаются заметно севернее экстремумов зональной геострофической скорости Ug, соответствующих Мурманскому течению. В случае близкого положения стрежня интенсивного течения и температурного фронта, например, таких, как Восточно-Гренландское течение и Восточно-Гренландский фронт, в поле геострофических скоростей наблюдается еще один стрежень, не проявляющийся в виде температурного фронта. Это приводит к значительному понижению уровня линейных связей с величинами коэффициентов корреляции R, не превышающими 0,3. В Антарктике, наоборот, наблюдается хорошее совпадение положения фронтов и стрежней геострофических течений. Особенно четко это проявляется для наиболее интенсивных Субантарктического (САФ) и Антарктического полярного (АПФ) фронтов и соответственно Северной и Центральной ветвей Антарктического циркумполярного течения (АЦТ), характеризующихся максимальными скоростями, при этом уровень линейной связи значим в течение всего года, и значения R составляют около 0,9.

Анализ сезонного цикла характеристик температурных фронтов и геострофических течений показал, что в Арктике между сезонными циклами интенсивности фронтов и течений наблюдается значимая связь. Так, между сезонными циклами величин экстремумов МГТ и Ug, характеризующих Восточно-Гренладский фронт и течение, величина R достигает 0,93, при этом наблюдается временное запаздывание в 3 месяца - вначале в сезонном цикле усиливается течение, а затем температурный фронт. Отмечается высокая связь (R $\sim$ 0,82) между сезонными циклами интенсивности Полярного фронта и Мурманского течения, хотя экстремум градиента ТПО располагается севернее стрежня течения, при этом фронт и течение усиливаются одновременно. В Антарктике, наоборот, наблюдается невысокая связь между сезонными циклами интенсивности фронтов и течений, особенно это относится к глубоководным областям. Это может быть связано с тем, что динамические фронты отражают интегральное влияние всего слоя воды до глубины отсчетной поверхности с учетом солености, сезонный сигнал которой в Южном океане может существенно отличаться от температурного.

Как для Арктики, так и для Антарктики наиболее высокие значимые линейные связи между сезонными циклами интенсивности температурных фронтов и течений обычно наблюдается в районах, где фронты и течения находятся под сильным влиянием особенностей рельефа дна: Южно-Гренландский (Восточно-Гренландское течение и фронт) и Шпицбергенский шельф (Западно-Шпицбергенское течение и фронт), северная граница Фолклендского плато и шельф Огненной Земли (Северная ветвь АЦТ и Субантарктический фронт). Фронты и течения в этих районах характеризуются хорошо выраженными сезонными сигналами интенсивности, которые изменяются в фазе или с небольшим запаздыванием. Так, между сезонными циклами величин экстремумов МГТ, характеризующих САФ, и Ug, характеризующих Северную ветвь АЦТ на границе материковой отмели Огненной Земли и у северной границы Фолклендского плато значения R составляют 0,7-0,9.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ №0555-2021-0004 «Океанологические процессы».

Список литературы

1) NOAA OI SST V2 High Resolution Dataset [Электронный ресурс]. URL: https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.noaa.oisst.v2.highres.html#detail. (Дата обращения: 01.03.2021)

2) Global Ocean Gridded L4 Sea Surface Heights and Derived Variable Reprocessed [Электронный ресурс]. URL: ftp://my.cmems-du.eu/Core/SEALEVEL_GLO_PHY_L4_REP_OBSERVATIONS_008_047/dataset-duacs-rep-global-merged-allsat-phy-l4/. (Дата обращения: 01.03.2021)

3) Монин А. С., Каменкович В. М., Корт В. Г. Изменчивость Мирового океана. – Гидрометиздат, 1974. – 264 с.

4) Peterson R.G., Stramma L. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean // Prog. Oceanogr., 1991, № 26, p. 1–73, doi:10.1016/0079-6611(91)90006-8

5) Артамонов Ю. В., Скрипалева Е. А. Структура и сезонная изменчивость крупномасштабных фронтов Атлантического океана по спутниковым данным // Исследование Земли из космоса, 2005, № 4, с. 62–75.

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАВИХРЕННОСТЬ В ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЕ

Новоселова Е.В., Белоненко Т.В.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

novoselovaa.elena@gmail.com

Ключевые слова: Лофотенская котловина, Северная Атлантика, потенциальная завихренность, GLORYS12V1, MITgcm

Лофотенская котловина представляет собой понижение в рельефе дна Норвежского моря с максимальной глубиной 3250 м [1]. Она ограничена хребтом Мона с северо-запада, плато Воринг с юга и континентальным шельфом Норвегии с востока. Главной особенностью котловины является антициклонический квазипостоянный Лофотенский вихрь в её центре, проявляющийся в виде замкнутой области повышенных значений температуры, солености и других параметров [2]. Динамический сигнал вихря прослеживается до самого дна [3], но наиболее ярко он выражен на глубине 300 - 800 м [4, 5]. Квазипостоянный антициклонический Лофотенский вихрь представлен линзой теплой соленой воды на интервале глубин 300 - 1000 м с горизонтальным масштабом около 60 - 80 км.

Нами была вычислена потенциальная завихренность для Лофотенской котловины по данным океанического реанализа GLORYS12V1 (GLOBAL_REANALYSIS_PHY_001_030, https://marine.copernicus.eu/) и данным гидродинамического моделирования MITgcm. Массив данных гидродинамического моделирования MITgcm with JRA55 [3, 6] включает в себя такие данные как потенциальная температура и солёность воды; зональная, меридиональная и вертикальная компоненты скорости; уровень моря; глубина верхнего квазиоднородного слоя (ВКС); зональное и меридиональное напряжение ветра; суммарный поток тепла и пресной воды на поверхности раздела океан-атмосфера; донное давление. Данные охватывают временной промежуток с 1993 по 2018 г., дискретность - 1 неделя, пространственное разрешение - 4 км. Глобальный океанический реанализ GLORYS12V1 он основан на современной глобальной системе прогнозирования в режиме реального времени CMEMS. Использовались среднесуточные данные за период 1993 -2018 гг. с пространственным разрешением 0.083°. Реанализ включает в себя такие параметры, как температура воды, солёность, компоненты скоростей течений, глубина ВКС, высота поверхности моря (SSH) и данные о морском ледяном покрове (его концентрация, толщина, u и v компоненты дрейфа).

В центрах антициклонических вихрей, где отрицательная относительная завихренность велика, абсолютная завихренность и, соответственно, PV близки к нулю. Кроме того, в центре вихрей стратификация практически отсутствует, что также способствует малым значениям PV. Поверхностный или подповерхностный (в зависимости от сезона) максимум PV связан с мощной плотностной стратификацией и большими значениями частоты плавучести. Верхняя граница «подвихревого» максимума PV хорошо согласуется с глубиной резкого уменьшения относительной завихренности. Также данному максимуму сопутствует сгущение изопикн.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 18-17-00027.

Список литературы

1) Белоненко Т.В., Волков Д.Л., Норден Ю.Е., Ожигин В.К. Циркуляция вод в Лофотенской котловине Норвежского моря // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2014. №2. С. 108–121.

2) Белоненко Т. В., Колдунов А. В., Сентябов Е. В., Карсаков А. Л. Термохалинная структура Лофотенского вихря Норвежского моря на основе экспедиционных исследований и по дан-

ным гидродинамического моделирования // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2018. Т. 63. Вып. 4. С. 502–519.

3) Volkov D.L., Kubryakov A.A., Lumpkin R. Formation and variability of the Lofoten basin vortex in a high-resolution ocean model // Deep-Sea Res. I. 2015. V. 105. P. 142–157. doi: 10.1016/j.dsr.2015.09.001.

4) Bashmachnikov I., Belonenko T., Kuibin P., Volkov D., Foux V. Pattern of vertical velocity in the Lofoten vortex (the Norwegian Sea). Ocean Dynamics. 2018. V. 68, N 12. P. 1711–1725. doi: 10.1007/s10236-018-1213-1.

5) Bashmachnikov I.L., Sokolovskiy M.A., Belonenko T.V., Volkov D.L., Isachsen P.E., Carton X. On the vertical structure and stability of the Lofoten vortex in the Norwegian Sea // Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers. 2017. V. 128. P. 1–27. doi: 10.1016/j.dsr.2017.08.001.

6) Nguyen A.T., Menemenlis D., Kwok R. Arctic ice-ocean simulation with optimized model parameters: approach and assessment // J. Geophys. Res. 2011. V. 116, C04025, doi:10.1029/2010JC006573.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В ПРОЛИВЕ БЬЕРКЕЗУНД ЗА ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2018-2019 ГГ.

Нурлибаева А.С., Подрезова Н.А.

Российский Государственный Гидрометеорологический Университет, г. Санкт-Петербург

nurlibaeva.lina@yandex.ru

Ключевые слова: Балтийское море, Финский залив, пролив Бьеркезунд, фосфаты, гидрология, гидрохимия

Пролив Бьеркезунд находится в Финском Заливе Балтийского моря, расположен между материком и полуостровом Киперорт и Березовыми островами.

В рамках учебной практики студентов океанологов 2 курса Российского Государственного Гидрометеорологического Университета было выполнено более 60 станций в августе 2018 года, а так же около 50 станций в мае 2019. В результате были получены гидрологические и гидрохимические данные, которые послужили основным материалом для проводимого анализа. Авторы провели систематизацию, анализ и обработку полученных данных. В частности, было зарегистрировано распределение температуры и солености с глубиной, а так же распределение фосфатов на горизонтах 0, 5 и 10 м. Определение фосфатов было выполнено методом Морфи-Райли. Чувствительность метода 2,5 мкг/л, средняя относительная ошибка $\pm 1{,}1\%$.

Распределение температуры в августе 2018 года на поверхности изменяется в пределах 18-20°С. Максимальные значения температуры в 20°С наблюдаются в юго-восточной части пролива. В это же время на глубине 10 м наблюдаются большие изменения. Можно отметить 2 области с понижением температуры до 15°С в центральной и юго-восточной частях. В других областях пролива температура не выходит за пределы 18,5-19,0°С. Температура воды на поверхности в мае 2019 года варьирует в пределах двух градусов и не превышает 15°С.

Распределение солености в августе 2018 года на горизонте 0м варьирует от 1 до 4‰, в это же время на горизонте 10м - 3-5‰. На поверхности отмечаются две области повышенной солености до 4‰ - юго-восточная и западная части пролива. На глубине 10 м в юго-восточной части пролива так же отмечается область повышенной солености до 5‰. Распределение солености в мае 2019 года отличается от прошлого года: значения варьируются от 2 до 3‰.

В распределении фосфатов в августе 2018 года можно так же отметить юго-восточную область и на поверхности, и на горизонте 10 м, где наблюдается наибольшая концентрация фосфатов - 21 мкг/л. В других частях пролива, на этих же горизонтах, концентрация составляет около 10 мкг/л. Повышенная концентрация фосфатов в этом районе объясняется сточными водами города Приморск. Распределение фосфатов на поверхности воды в мае 2019 года изменяется в пределах от 2 до 30 мкг/л. Максимальные значения концентрации фосфатов (30 мкг/л) наблюдаются в юго-восточной области. С увеличением глубины до 5 м концентрация фосфатов увеличивается и в юго-восточной области достигает концентрации 40 мкг/л. Повышенная концентрация фосфатов в мае 2019 года объясняется весенним периодом развития и увеличения численности сине-зеленых водорослей планктона.

Список литературы

1) Подрезова Н.А., Нурлибаева А.С. Распределение гидрологических характеристик в проливе Бьеркензунд по натурным данным за август 2018 года // Современные проблемы гидрометеорологии и устойчивого развития Российской Федерации. Сборник тезисов Всероссийской научно-практической конференции. 2019. С. 828.

СТРУКТУРА И ИЗМЕНЧИВОСТЬ СИБИРСКОГО ТЕЧЕНИЯ В ПРОЛИВЕ ЛОНГА И В ЧУКОТСКОМ МОРЕ

Осадчиев А.А.[1], **Спивак Э.А.**[2], **Семилетов И.П.**[1]

[1] *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия*

[2] *Тихоокеанский океанологический институт имени В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток, Россия*

osadchiev@ocean.ru

Ключевые слова: Сибирское течение, плотностное течение, водные массы, материковый сток, пролив Лонга, Чукотское море

На основе натурных данных, собранных в 6 морских экспедициях в 2000, 2002-2004, 2009 и 2011 годах в юго-западной части Чукотского моря, изучена структура и изменчивости вдольберегового Сибирского течения от пролива Лонга до Берингова пролива. Наименьшая соленость поверхностного слоя в проливе Лонга (22-24 епс) была зарегистрирована в сентябре 2004 года. Толщина опресненной линзы (до скачка солености, соответствующего изохалинам 27-29 епс) в проливе Лонга в этот период уменьшалась от 25 м у сибирского берега до 15 м в центральной части пролива и до 5 м у острова Врангеля. Температура поверхностного слоя варьировалась от 3 °С у южного берега пролива до 0.5-1.5 °С у северного берега. Низкая соленость, высокая температура и относительно высокое содержание кремния в этом слое говорит о его речном происхождении. Таким образом, опресненная линза моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря в сентябре 2004 года распространялась более чем на 1500 км в зональном направлении, занимала весь пролив Лонга и поступала в юго-западную часть Чукотского моря. Столь низкая поверхностная соленость в проливе Лонга, характеризующая интенсивный восточный пресноводный перенос через пролив, ранее не была описана в научной литературе.

Соленость поверхностного слоя в 25-28 епс в проливе Лонга наблюдалась в сентябре 2003 и 2009 годов. Поверхностный опресненный слой был более перемешан, по сравнению с ситуацией в сентябре 2004 года, его толщина вдоль разреза поперек пролива Лонга составляла 20-30 м. При этом аномалия солености (6.5 епс в 2003 и 2009 годах) и температура (1.3-1.6 °С в 2003 году и 3.5 °С в 2009 году) у южного берега пролива были заметно выше, чем у северного (4.5 епс и 0-0.3 °С в 2003 году, 3.5 епс и 2.5 °С в 2009 году). Полученные термохалинные распределения говорят о том, что в 2004 году опресненная линза распространялась из Восточно-Сибирского моря в Чукотское море как крупномасштабная водная масса, а в 2003 и 2009 году пресноводный перенос между этими морями определялся более трансформированным и относительно узким вдольбереговым течением. Измерения, проведенные в сентябре 2009 года в юго-западной части Чукотского моря, показали дальнейшее ослабление этого течения при продвижении на восток, его соленость постепенно повышалась до 30 епс, а ширина уменьшалась до 20-30 км. На разрезе поперек Берингова пролива это течение отсутствовало.

Схожая ситуация наблюдалась и в конце августа - начале сентября 2002 года, когда была проведена масштабная съемка в юго-западной части Чукотского моря. Опресненные воды Сибирского течения шириной около 20 км и толщиной 15-20 м регистрировались вплоть до 172° з.д. Поверхностная соленость вод Сибирского течения увеличивалась от 28 епс в проливе Лонга до 30 епс у полуострова Чукотка, при этом температура этого течения была аномально высокой и составляла 6-8 °С. При этом по всей остальной акватории юго-западной части Чукотского моря в поверхностный слой формировали соленые (>32 епс), теплые (6-8° С) и богатые биогенами тихоокеанские воды. В сентябре 2000 года и в сентябре 2011 года пресноводный перенос из Восточно-Сибирского моря в Чукотское море не формировался. Как и в сентябре 2002 года, в сентябре 2000 года поверхностный слой в юго-западной части Чукотского моря формировали соленые (31.5 епс), но более холодные (3.5-4.5° С) тихоокеанские воды. Также у острова Врангеля в сентябре 2000 года регистрировались распресненные (29.5-30 епс) и холодные (0 °С) талые воды.

Данное исследование выполнено при поддержке Министерства Науки и Высшего Образования РФ, тема 0149-2019-0003 (сбор натурных данных); при поддержке РФФИ, проект 20-35-70039 (обработка натурных данных); при поддержке гранта Президента РФ по государственной поддержке молодых российских ученых – кандидатов наук МК-98.2020.5 (исследование переноса пресноводного стока).

СТРУКТУРА ОПРЕСНЕННОГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ И ВОСТОЧНО-СИБИРСКОМ МОРЕ В ТЕЧЕНИЕ БЕЗЛЕДНОГО ПЕРИОДА

Осадчиев А.А.[1], **Фрей Д.И.**[1], **Спивак Э.А.**[2], **Семилетов И.П.**[2]

[1] *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия*

[2] *Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток, Россия*

osadchiev@ocean.ru

Ключевые слова: опресненный поверхностный слой, речной плюм, опресненная линза, стратификация, перемешивание, река Лена, море Лаптевых, Восточно-Сибирское море

Изучена сезонная и межгодовая изменчивость опресненного поверхностного слоя, который формируется в море Лаптевых и Восточно-Сибирском море в результате смешения материкового стока и морских вод. На основе натурных данных, собранных в 17 морских экспедициях в море Лаптевых и Восточно-Сибирском море, исследована изменчивость области распространения и вертикальной структуры опресненного поверхностного слоя в течение безледного сезона (август - октябрь). Опресненный поверхностный слой в этих морях в основном формируется стоком из реки Лены и других менее крупных дельтовых рек (Колыма, Индигирка, Оленек, Яна) [1]. Материковый сток из многочисленных относительно неглубоких и узких дельтовых проток, впадающих в море Лаптевых вдоль 250 километровой морской границы дельты Лены, формируют неглубокий (до 10 м) плюм Лены. В течение короткого периода половодья на реке Лена в июне-июле этот плюм распространяется как тонкая и слабосоленая водная масса (соленостью до 15 епс) по большой площади в море Лаптевых и Восточно-Сибирском море [2]. Далее в августе-октябре этот плюм трансформируется в более соленую линзу моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря (соленостью 15-25 епс). Расположение и площадь опресненного поверхностного слоя в исследуемых морях зависит от первичного распространения плюма Лены и характеризуется значительной межгодовой изменчивостью, определяемой региональными ветровыми условиями в течение безледного сезона. Доминирующие западные ветры вызывают экмановский перенос плюма Лены в южном направлении и прижимают его к сибирскому побережью [2]. В результате этого опресненный поверхностный слой оказывается локализован в южных частях моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря, его меридиональная протяженность (менее 250 км) и площадь (около 250 000 км^2) относительно невелики. В годы с преобладающими восточными ветрами, напротив, опресненный поверхностный слой распространяется по большой площади в центральной части этих морей (до 500 000 км^2), а его меридиональная протяженность достигает 500-700 км.

Линза моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря - крупнейшая опресненная линза, формируемая речным стоком в Мировом океане [3], однако в нее поступает далеко не самый большой объем речного стока по сравнению с другими крупными линзами. Так, например, пресноводный сток в Карское море в 1.5 раза превышает материковый сток в море Лаптевых и Восточно-Сибирском море [1], но площадь линзы Карского моря (200 000 - 250 000 км^2) значительно меньше площади линзы моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря (250 000 - 500 000 км^2) [4]. Это вызвано особенностями формирования этих линз эстуарными и дельтовыми реками, что приводит к различиями в содержании пресноводной компоненты в этих линзах. Из-за невысокой интенсивности перемешивания материкового стока, поступающего из неглубоких и узких проток дельты Лены (и других дельтовых рек), с морскими водами по сравнению с большими и глубокими эстуариями Оби и Енисея, плюм Лены перемешивается около своего источника гораздо менее интенсивно, чем плюм Оби-Енисея. В результате этого содержание пресноводной компоненты в плюме Лены практически не уменьшается около дельты, в то время как содержание пресноводной компоненты в плюме Оби-Енисея падает в два раза в пределах речных эстуариев [4]. Кроме того, плюм Оби-

Енисея имеет примерно в два раз большую толщину (12-15 м в августе), чем плюм Лены (5-8 м в августе) [4, 5]. Из-за этого распространение относительно неглубокого плюма Лены гораздо более значительно зависит от региональных ветровых условий по сравнению с плюмом Оби-Енисея. Этим объясняется и значительная межгодовая изменчивость формы и расположения опресненного поверхностного слоя, который формируется в море Лаптевых и Восточно-Сибирском море с одной стороны, и стабильность опресненного поверхностного слоя в Карском мор с другой стороны.

Полученные результаты показывают, что морфология речных эстуариев и дельт играет очень важную роль в формировании структуры и пространственных характеристик больших опресненных линз. Этот фактор может играть не менее значимую роль, чем объем речного стока и ветровое воздействие. Таким образом, вышеописанное сравнение опресненных поверхностных слоев, формируемых в морях Восточной Арктики, может быть применимо и к другим опресненным поверхностным слоям, формируемым стоками больших рек в Мировом океане. В частности, крупные дельтовые реки Лена и Ганг-Брахмапутра формируют первую и вторую по площади опресненные линзы в Мировом океане [3]. Таким образом, полученные результаты имеют большое значение для многих физических, биологических и геохимических процессов в прибрежных и шельфовых районах Мирового океана, находящихся под воздействием стока больших рек.

Данное исследование выполнено при поддержке Министерства Науки и Высшего Образования РФ, тема 0149-2019-0003 (сбор натурных данных); при поддержке РФФИ, проект 20-35-70039 (обработка натурных данных); при поддержке гранта Президента РФ по государственной поддержке молодых российских ученых – кандидатов наук МК-98.2020.5 (исследование переноса пресноводного стока).

Список литературы

1) Pavlov V.K., Timokhov L.A., Baskakov G.A., Kulakov M. Yu., Kurazhov V.K., Pavlov P.V., Pivovarov S.V., Stanovoy V.V. Hydrometeorological regime of the Kara, Laptev, and East-Siberian sea // Technical Memorandum, APL-UW TM 1-96. 1996. Applied Physics Laboratory, University of Washington.

2) Dmitrenko I., Kirillov S., Eicken H., Markova N. Wind-driven summer surface hydrography of the eastern Siberian shelf // Geophysical Research Letters. 2005. Vol. 32. L14613. doi:10.1029/2005GL023022.

3) Kan, Y., Pan D., Bai Y., He X., Chen X., Chen C. T. A., Wang D. Areas of the global major river plumes // Acta Oceanologica Sinica. 2013. Vol. 32. P. 79-88. doi:10.1007/s13131-013-0269-5.

4) Osadchiev A.A., Frey D.I., Shchuka S.A., Tilinina N.D., Morozov E.G., Zavialov P.O. Structure of the freshened surface layer in the Kara Sea during ice-free periods // Journal of Geophysical Research: Oceans. 2021. Vol. 126. e2020JC016486. doi:10.1029/2020JC016486

5) Osadchiev A.A., Izhitskiy A.S., Zavialov P.O., Kremenetskiy V.V., Polukhin A.A., Pelevin V.V., Toktamysova Z.M. Structure of the buoyant plume formed by Ob and Yenisei river discharge in the southern part of the Kara Sea during summer and autumn // Journal of Geophysical Research: Oceans. 2017. Vol. 122. N. 7. P. 5916-5935. doi:10.1002/2016JC012603

ВОДООБМЕН МЕЖДУ ОБСКОЙ ГУБОЙ И КАРСКИМ МОРЕМ В ТЕЧЕНИЕ БЕЗЛЕДНОГО ПЕРИОДА

Осадчиев А.А.[1], **Коновалова О.П.**[2], **Гордей А.С.**[3]

[1]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия*

[2]*Центр морских исследований МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

[3]*Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Россия*

osadchiev@ocean.ru

Ключевые слова: эстуарные процессы, водообмен, затоки морских вод, стратификация, перемешивание, Обская губа, Карское море

Работа посвящена водообмену между Обской губой и Карским морем, а именно: затокам морских вод в придонном слое в Обскую губу, их перемешиванию с речным стоком в губе и последующему вытоку опресненных вод в поверхностном слое из Обской губы в Карское море. На основе натурных данных, собранных в 9 морских экспедициях в северной и центральной части Обской губы в течение безледного периода (июль - сентябрь), и оптических спутниковых снимков исследована структура, а также синоптическая, сезонная и межгодовая изменчивость этих процессов.

Обская губа - один из крупнейших эстуариев Мирового океана с площадью 41 000 км^2 и площадью водосбора в 3 320 000 км^2. В Обскую губу поступает около 530 км^3 пресноводного стока в год: 430 км^3 из Оби и 100 км^3 из Пура, Таза и более мелких рек. Этот объем составляет $\sim$15% от суммарного годового стока в Северный Ледовитый океан и $\sim$1.5% от суммарного годового стока в Мировой океан. Большая часть материкового стока поступает в Обскую губу во время половодья с мая по сентябрь. Максимальный уровень речного расхода, вызванный снеготаянием, регистрируется в мае, однако дальнейшее снижение расхода происходит очень медленно вплоть до конца сентября. В определенные годы (например, в 2007, 2014, 2015 и 2017) значения речного расхода в период дождевых паводков в начале сентября могут быть сопоставимы и даже превосходить значения расхода в мае. Реки, впадающие в губу замерзают с ноября по мая, в результате чего пресноводный сток в губу зимой и весной сравнительно невелик (2 000 - 5 000 м^3/с).

Циркуляция в Обской губе определяется речным стоком, ветром и ледовыми условиями. Приливы в Обской губе значимо влияют на циркуляцию лишь в ее северо-западной части, где амплитуда приливов достигает 1.8 м, при этом на большей акватории губы амплитуда приливов не превосходит 0.4 м. В течение безледного периода (с июля по ноябрь) пресная речная вода (с соленостью менее 1) занимает всю толщу воды от поверхности до дна и формирует течение в северном направлении в мелководной южной и центральной части губы. Это течение в сторону моря периодически останавливается и даже разворачивается в противоположном направлении под действием сильных южных ветров. В более глубокой северной части губы этот опресненный слой отделяется от дна и перемешивается с придонными солеными морскими водами, поступающими из Карского моря. В результате этого в северной части Обской губы формируется речной плюм с соленостью менее 15 и толщиной 10-12 метров. Интенсивность перемешивания между речным плюмом и нижележащими солеными водами в пределах Обской губы определяет структуру и динамику плюма Оби, который далее распространяется на большую площадь в центральной части Карского моря.

На основе измерений вертикальной термохалинной структуры в северной части Обской губы на гидрологических станциях, были получены оценки дальности проникновения соленых морских вод в Обскую губу и интенсивности их перемешивания с речным стоком в различные годы. Полученные данные показали, что эти процессы характеризуется значительной синоптической изменчивостью, определяемой ветровыми условиями, существенно превосходящей сезонную изменчивость этого процесса, определяемую условиями речного расхода. В частности, в августе

2019 года был зарегистрирован аномально интенсивный заток морских вод в Обскую губу, когда изохалина 5 в придонном слое была зафиксирована на широте 71.0 °N, при этом за месяц до этого, в июле 2019 года, южная граница этой изохалины была расположена на широте 72.1 °N. Подобная синоптическая изменчивость интенсивности затока была вызвана сменой преобладающих восточных ветров в июле на сильные северные ветра в августе. Наименее интенсивные затоки морских вод в Обскую губу наблюдались в августе и сентябре 2014 года, что было вызвано сильными южными ветрами. Южная граница изохалины 5 в придонном слое в этот период была зафиксирована на широте 72.3 °N. На основе натурных и спутниковых данных были установлены численные зависимости дальности затока морских вод от внешних условий. На основе полученных зависимостей были рассчитаны периоды формирования интенсивных затоков морских вод в Обскую губу за последние 40 лет и проанализировано их влияние на донные сообщества в северной и центральной части Обской губы.

Данное исследование выполнено при поддержке Министерства Науки и Высшего Образования РФ, тема 0149-2019-0003 (сбор натурных данных); при поддержке РФФИ, проект 20-35-70039 (обработка натурных данных); при поддержке гранта Президента РФ по государственной поддержке молодых российских ученых – кандидатов наук МК-98.2020.5 (исследование переноса пресноводного стока).

ЛЕДОВЫЙ РЕЖИМ БЕЛОГО МОРЯ В 2017-2020 ГГ.

Оскотская С.А., Подрезова Н.А.

Российский Государственный Гидрометеорологический Университет, Санкт-Петербург

osksofia2001@gmail.com

Ключевые слова: физика океана, Белое море, Арктика, морской лед, ледовые условия

Белое море наиболее обособленное внутреннее море Северного Ледовитого океана. Соединяется с Баренцевым морем на севере через узкий пролив - Горло.

В работе представлен обзор ледового режима Белого моря в 2017-2020 гг. Исходными данными послужили ледовые карты, опубликованные на сайте Государственного научного центра Арктического и Антарктического научно-исследовательского института [1].

Для первого этапа исследования межгодовой изменчивости ледовитости Белого моря в зависимости от суровости зимы использовался визуальный анализ карт распределения льда на акватории Белого моря. Для исследования были выбраны три последние зимы: 2017-2018, 2018-2019 и 2019-2020 годов.

Можно отметить, что в декабре 2017 и 2019 годов большая часть акватории Белого моря свободна ото льда. Серый лед можно наблюдать только в Мезенском заливе. Нилас наблюдается только на побережье. В то время как в декабре 2018 года льдом покрыта вся акватория Белого моря и чистая вода наблюдается только в Горле.

В январе 2018 года ледовая обстановка не меняется. В январе 2020 года льдом покрыт полностью Мезенский залив (самый мелководный), а также большая часть Онежского залива.

В феврале 2018 года (самая теплая зима из рассмотренных трех) льдом покрыт Мезенский залив, а также большая часть Онежского залива. На побережье Двинского залива наблюдается серый лед. Большая часть акватории Белого моря по-прежнему остается свободной ото льда. В феврале 2019 года можно отметить серо-белый лед, который покрывает большую часть акватории моря. Белое море полностью покрыто льдом. Только в Горле, на границе с Баренцевым морем наблюдается чистая вода. В феврале 2020 года большая часть акватории Белого моря покрыта белым и серо-белым льдом. В Кандалакшском заливе, где наблюдаются максимальные глубины моря, можно отметить участок акватории свободный ото льда. Чистая вода наблюдается также и в Горле.

В дальнейшем планируется выполнить классификацию суровости зим Белого моря - на мягкую, умеренную и суровую, а также рассчитать площадь льда в зависимости от суровости.

Список литературы

1) Сайт ФГБУ ААНИИ. Оперативные данные. Региональные ледовые карты Евразийской Арктики. URL: http://www.aari.ru/main.php?lg=0&id=17 (дата обращения 01.12.2020)

ОСОБЕННОСТИ ЗАТОПЛЕНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ НА ОСНОВЕ ИЗМЕНЕНИЙ ФОНОВОГО УРОВНЯ

Павлова А.В.[1], **Архипкин В.С.**[2], **Мысленков С.А.**[1,2]

[1]*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации, г. Москва*

[2]*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва*

anna.pavlova-16@yandex.ru

Ключевые слова: сгонно-нагонные колебания, ADCIRC, моделирование, Каспийское море, уровень моря

Под влиянием сгонно-нагонных колебаний уровня моря, сопровождаемых интенсивными течениями, находится практически все побережье Северного Каспия. За счет обширных мелководий и низких пологих берегов при нагоне происходит затопление значительных территорий. Каспийское море также известно своими значительными колебаниями уровня моря за небольшой промежуток времени.

В данной работе исследование пространственно-временной изменчивости различных характеристик сгонно-нагонных колебаний уровня моря проводилось при помощи математического моделирования на основе гидродинамической модели ADCIRC за период с 1979 по 2017 гг.

Для моделирования сгонно-нагонных колебаний в Каспийском море была построена нерегулярная триангуляционная расчетная сетка. В качестве входных данных задавались поля приземного ветра и атмосферного давления реанализа NCEP/CFSR [4]. Данные, охватывающие период с 1979 по 2010 гг. имеют часовой интервал и пространственное разрешение $\sim 0{,}3^\circ \times 0{,}3^\circ$, временной шаг - 1 ч. Для численных расчетов с 2011 по 2017 гг. использовался реанализ версии NCEP/CFSv2, имеющий пространственное разрешение $\sim 0{,}2^\circ \times 0{,}2^\circ$. Для учета морского льда были использованы поля концентрации льда из базы OSI-450 за период с 1979 по 2017 г. с дискретностью по времени одни сутки и пространственным разрешением 25 км [2].

В связи с тем, что уровень Каспийского моря испытывает большие колебания по годам, при расчетах глубина моря и высота суши этой расчетной сетки приводились к уровню расчетного года. За исследуемый период среднегодовые значения уровня моря менялись от -28,5 м в 1979 и 1980 гг. до -26,6 м в 1995 году. В 2002 году уровень сначала понизился до -27,2 м, а в 2005 году опять повысился до -26,8 м. К 2015-2017 гг. уровень снизился до отметок -27,9 м.

Для оценки качества модели сравнивались полученные модельные данные с реальными на уровенных постах о. Тюлений и Махачкале. Детальное описание статистического анализа данных представлено в [3].

Анализ межгодовых колебаний более 0,5 и 1 м за период исследования показал, что с 1979 года до начала 90-х отмечается многолетняя тенденция уменьшения количества случаев формирования сгонно-нагонных колебаний уровня моря. Далее наблюдаются незначительные изменения, а с 2005-2008 гг. наблюдается заметное увеличение количества сгонно-нагонных колебаний. Следует отметить, что схожая тенденция отмечается в многолетнем ходе изменения уровня Каспийского моря, что в свою очередь преимущественно зависит от климатических изменений. Анализ внутри- и межгодовой изменчивости сгонно-нагонных колебаний уровня моря представлен в [1].

Затопление территории зависит в первую очередь от уровня моря и рельефа рассматриваемой территории. В данной работе площадь затопления рассчитывалась для прибрежной территории российского сектора с ограничениями по широте от 44,15° до 45,8° с. ш. и по долготе от 46,6° до 48° в. д. Отсчет выполнялся от условного среднегодового уровня моря при максимальном возможном затоплении до -25 м БС.

Оценка площади затопления прибрежной территории российского сектора моря показала, что в отдельно взятых случаях при благоприятных метеоусловиях для развития нагона, площадь затопления суши может достигать 70 % и более. Однако, согласно средним показателям, при более

высоких отметках фонового уровня моря затапливается около 10 % суши, а при более низких от 20 % и более. Подобные результаты объясняются тем, что при низком фоновом уровне увеличивается возможная площадь затопления.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ №18-05-80088.

Список литературы

1) Павлова А.В., Архипкин В.С., Мысленков С.А. Внутри- и межгодовая изменчивость сгонно-нагонных колебаний уровня моря в Северном Каспии. Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2020. № 3 (377). С. 42-57. DOI: https://doi.org/10.37162/2618-9631-2020-3-42-57.

2) EUMETSAT Ocean and Sea Ice Satellite Application Facility. Global sea ice concentration climate data record 1979-2015 (v2.0, 2017), [Online]. Norwegian and Danish Meteorological Institutes. doi: 10.15770/EUM_SAF_OSI_0008.

3) Pavlova A.V., Arkhipkin V.S., Myslenkov S.A. Storm surge modeling in the Caspian Sea using an unstructured grid // Russ. J. Earth. Sci. 2020. Vol. 20. ES1006. DOI:10.2205/2019ES000688.

4) Saha S. et al. The NCEP climate forecast system reanalysis // Bull. Am. Meteorol. Soc., 2010. - Vol. 91, - No. 8. - P. 1015–1057.

ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК БЕНГЕЛЬСКОГО АПВЕЛЛИНГА ПО ДАННЫМ БУЁВ АРГО

Павлушин В.А, Кубряков А.А.

ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН» (МГИ) г. Севастополь

pavlushin.92@mail.ru

Ключевые слова: Бенгельский апвеллинг, сезонная изменчивость, буи АРГО, межгодовая изменчивость.

В настоящей работе исследуется сезонная и межгодовая изменчивость Бенгельского апвеллинга и его влияние на термохалинную структуру вод в слое вод 0-2000 м с помощью буев Арго. На основе сопоставления данных буев Арго и измерений спутниковых альтиметров мы также демонстрируем, что альтиметрические измерения позволяют эффективно оценивать межгодовые изменения термохалинной структуры Бенгельского апвеллинга.

В работе используется данные измерений буев-профилемеров Арго для района от 5 до 20° ю.ш. и от 15 до 40°в.д. за период 2004-2018 гг., полученных из архива IFREMER (ftp://ftp.ifremer.fr/). Инструментальная погрешность профилемеров составляет 0,002 °C и 0,01 psu. Все данные были проверены визуально на наличие выбросов, в результате чего из массива были исключены профили с аномально низкими значениями солёности и высокими значениями температуры в нижних слоях.

Из наблюдений следует, что на глубине 100 метров апвеллинг прижат к берегу и представляет собой полосу шириной около 200-300 км с соленостью (S) около 35 psu и температурой (T) 15°C, что на 0,5 psu и 3°C ниже, чем в центральной части Атлантики (35,5 psu, 18°C). На этих глубинах наиболее холодная аномалия, соответствующая максимуму апвеллинга наблюдается на широтах 25°ю.ш. На глубине 300м воды апвеллинга с S=34.8 psu и T=10°C на широте 25°ю.ш. простираются на 400 км от берега и значительно вытягиваются на северо-запад. Визуально отрыв апвеллинга от берега по данным о солености наблюдается на широтах 20°ю.ш. Разница солености и температуры между апвеллингом и центральной частью Атлантического океана составляет 0.3 psu и 3°C.

Также была исследована сезонная и межгодовая изменчивость термохалинной структуры вод в районе Бенгельского апвеллинга. Показано, что максимальные отрицательные аномалии температуры и солености в слое 200-600м наблюдаются в июле-сентябре. При этом величина аномалии примерно одинакова на глубинах 250-550 м и достигает максимальных отрицательных значений в июле, когда она составляет около -0,5°C и 0,05 psu. Второй пик отрицательной аномалии приходится на январь-февраль. На глубинах более 600 м аномалии солёности меняют свой знак относительно верхних.

Проведенный анализ межгодовой изменчивости показал, что положительные высокие аномалии отмечались в 2004-2005 г., когда наблюдалось увеличение температуры и солености на 0,5° и 0,05 psu, соответственно. В последующие три года, а именно в 2007-2009 г., наоборот, наблюдалось резкое падение температуры и, как следствие солёности. Аномалии солености и температуры в этом слое были отрицательны. В то же время соленость ниже горизонта 600 м увеличилась на 0,01 psu, отображая подъем глубинных соленых вод. Два менее интенсивных события ослабления апвеллинга наблюдались в 2010-2011 и 2014-2015 г. Отмечается появление положительных аномалий температуры в 2004, 2015 и отрицательных аномалий в 2007 и 2012 г. В этот период температура и соленость в верхнем 600-метровом слое выросли на 0,2 и 0,25 psu соответственно. Как уже было сказано выше, все активные изменения наблюдались практически равномерно в слое 150-600 м. В настоящий момент наблюдается еще одна достаточно интенсивная фаза ослабления апвеллинга.

Проведено сопоставление альтиметрического уровня моря и аномалии в центральной части

апвеллинга. Установлено, что уровень моря является хорошим индикатором интенсивности апвеллинга и может быть использован для исследования его межгодовой изменчивости.

Работа выполнена в рамках Госзадания 0555-2021-0006

Список литературы

1) Shannon L. V., Nelson G., Jury M. R. Hydrological and meteorological aspects of upwelling in the southern Benguela Current //Coastal upwelling. – 1981. – Т. 1. – С. 146-159.
2) Armstrong D. A. et al. Physical and biological features across an upwelling front in the southern Benguela //South African Journal of Marine Science. – 1987. – Т. 5. – №. 1. – С. 171-190.
3) Gordon A. L., Bosley K. T., Aikman III F. Tropical Atlantic water within the Benguela upwelling system at 27 S //Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers. – 1995. – Т. 42. – №. 1. – С. 1-12.
4) Rae C. M. D. A demonstration of the hydrographic partition of the Benguela upwelling ecosystem at 26 40'S //African Journal of Marine Science. – 2005. – Т. 27. – №. 3. – С. 617-628.
5) Mohrholz V. et al. The seasonal variability of the northern Benguela undercurrent and its relation to the oxygen budget on the shelf //Continental Shelf Research. – 2008. – Т. 28. – №. 3. – С. 424-441.
6) Букатов, А. Е., & Соловей, Н. М. (2017). Оценка связи вертикальной структуры поля плотности и характеристик внутренних волн с крупномасштабной атмосферной циркуляцией в акваториях Перуанского и Бенгельского апвеллингов. Процессы в геосредах, (2), 485-490.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ВЕТРА ПО ДАННЫМ ДВУХЧАСТОТНОГО РАДИОЛОКАТОРА НА СПУТНИКЕ GPM

Панфилова М.А., Караев В.Ю., Митник Л.М.

Институт Прикладной Физики РАН

marygo@mail.ru

Ключевые слова: скорость ветра, алгоритм, СВЧ радиолокатор, нулевой угол падения

Основная информация о волнении в Мировом океане и поле приповерхностного ветра поступает с аппаратуры, установленной на спутниках. Среди приборов стоит особо выделить активные СВЧ радиолокаторы. Их преимущество состоит в том, что наличие облачности не сказывается на качестве измерений. Поле ветра определяется по данным скаттерометров, которые специально создавались для решения этой задачи. Скаттерометры работают при средних углах падения и измеряют скорость и направление ветра в полосе обзора более 1000 км с разрешением около 25 км. Модуль скорости ветра определяется по данным радиоальтиметров, которые выполняют измерения при нулевом угле падения вдоль траектории полета с пространственным разрешением 5-15 км. Современная группировка спутников обеспечивает наблюдение одной и той же области океана не реже двух раз в сутки. Если для статистического глобального анализа поля ветра над океанов спутниковых данных достаточно, то для задач локального определения поля ветра в конкретный момент требуется существенное увеличение частоты наблюдений. Один из вариантов решения этой задачи - использование данных радиолокаторов, которые уже находятся на орбите, но изначальнозапускались для других целей. Другая проблема заключается в том, что существующие алгоритмы определения скорости ветра по спутниковым данным работают с большими ошибками в области осадков. Требуется корректное исключение областей осадков из обработки.В настоящей работе предлагается использовать данные двухчастотного дождевого радиолокатора DPR (Dual Frequency Precipitation Radar), который установлен на спутнике GPM (GlobalPrecipitation Measurement) [6]. Радиолокатор работает в Ku-, и Ka-диапазонах, длины волн равны 2.2 см и 8 мм соответственно. Спутник запускался с целью определения пространственного распределения осадков в атмосфере. Радиолокаторы сканируют синхронно в направлении, перпендикулярном направлению полёта, причем угол визирования для антенны Ku-диапазона меняется в пределах +/-17 градусов и ширина полосы обзора составляет около 245 км, а для антенны Ka-диапазона в интервале +/-8.5 градусов и ширина полосы обзора составляет около 125 км. При этом происходит «сплошная» засветка полосы обзора. Размер пятна на поверхности воды составляет около 5 км (при вертикальном зондировании), а смещение радиолокатора за время скана - около 4 км. Радиолокатор работает в широтах не выше 65 градусов. Стоит отметить, что информация об интенсивности осадков доступна непосредственно по данным спутника GPM, что позволит корректно исключить области осадков из обработки. Разработан алгоритм определения скорости ветра по данным радиолокаторов со спутника GPM. Алгоритм заключается в следующем: в полосе обзора определяется УЭПР при нулевом угле падения [1], затем по нему определяется скорость ветра. Для построения зависимости УЭПР от скорости ветра использовались данные радиолокатора Ku-диапазона и NDBC буев за 2015-2020 годы. Модель для определения скорости ветра получена по аналогии с работой [2]. Отличие состоит в том, что в [2] для построения модели использовались данные о скорости ветра модели ECMWF, а данные морских буев использовались для уточнения модели. Здесь модель получена непосредственно по данным буев о скорости ветра. Таким образом, получен новый спутниковый продукт для скорости ветра в широкой полосе обзора.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 20-17-00179.

Список литературы

1) M. Panfilova, V. Karaev, J. Guo, “Oil Slick Observation at Low Incidence Angles in Ku-Band» Journal of Geophysical Research: Oceans, 123. pp. 1924-1936, 2018.

2) S. Abdalla “Ku-Band Radar Altimeter Surface Wind Speed Algorithm» Marine Geodesy, 35, pp. 276-298, 2012.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРУШЕНИЙ ВОЛН СПЕКТРАЛЬНОГО ПИКА

Пиваев П.Д.[1], **Кудрявцев В.Н.**[1,2], **Кориненко А.Е.**[2], **Малиновский В.В.**[2]

[1]*Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург*

[2]*Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь*

pivaev.pavel@gmail.com

Ключевые слова: обрушения волн, спектральный пик, спектр волнения, регистрация обрушений волн, видеосъемка поверхности моря

Процесс обрушения поверхностных волн в море представляет собой локальный сброс волновой энергии, накопленной на различных расстояниях. Обрушения волн в диапазоне спектрального пика особенны по причине существенно отличного от равновесного интервала соотношения механизмов переноса энергии. Знание интенсивности и вероятностных характеристик этих обрушений имеет важное научное и прикладное значения. Образование барашков в результате обрушений волн является фундаментальной частью источника в численном прогнозе состояния морской среды с помощью уравнения сохранения волновой энергии. В прибрежной зоне подповерхностное турбулентное перемешивание и импульсивное воздействие в результате крупномасштабных обрушений представляют собой важный параметр при гидротехническом проектировании. Ввиду сложной динамики формирования и последующего короткого существования индивидуального обрушающегося гребня, разумно работать со средними статистическими характеристиками обрушений волн.

Целью данной работы являлось установление количественных соотношений между статистическими характеристиками обрушений волн спектрального пика и кинематическими параметрами самих волн. В работе проводится анализ данных видеосъемки морской поверхности, а также сопутствующей информации о волнении и ветре, которые были получены в разные годы на стационарной океанографической платформе, расположенной в Голубом заливе в пгт. Кацивели (южное побережье Крыма) [1]. В качестве основных характеристик индивидуальных обрушений использовались их геометрические размеры (длина гребня, площадь барашков) и фазовые скорости. На начальном этапе массив данных был разделен на две группы: к первой относились наблюдения выполненные в условиях ветра, дувшего с берега, а ко второй - с открытого моря. Диапазон скоростей ветров, дувших с моря, составлял 14.0 м/с - 21.4 м/с, а береговых ветров 7.7 м/с - 16.2 м/с. По данным струнного волнографа производилась оценка функций спектральной плотности. Частота ветрового пика выделялась по методу, предложенному в [2]. Совместно с ветровым пиком также выделялся второй характерный спектральный пик при наличии. Диапазон обратных возрастов волн (рассчитанных по ветровому пику) при ветрах с открытого моря составлял 1.7 - 3.0, а в условии береговых ветров 3.8 - 6.6. Средние статистические характеристики обрушений и, как следствие, средние значения гидрометеорологических параметров рассчитывались в следующих друг за другом интервалах времени длительностью несколько минут.

В качестве основных статистических характеристик обрушений волн спектрального пика использовались такие как доля поверхности моря, которая покрыта активно обрушающимися гребнями, сумма длин обрушающихся гребней на единицу площади поверхности и вероятность события обрушения. Рассматривалась зависимость перечисленных параметров от обратного возраста волн и крутизны. Эти статистические параметры обнаруживали очевидную недооценку в условиях береговых ветров, что связано с известной регистрацией камерой, работающей в видимом диапазоне электромагнитного спектра, только обрушений волн, сопровождающихся захватом воздуха. Для корректировки этого эффекта в работе произведена экстраполяция лямбда-функции в диапазон мелкомасштабных обрушений (фазовые скорости гребней меньше 2.5-3 м/с.) в предположении

степенного закона изменения этой функции, подтверждение чего было получено в предыдущих работах [3].

В работе демонстрируется яркая зависимость характеристик обрушений волн спектрального пика от крутизны волны и более слабая зависимость от возраста волн. Расчеты вероятности обрушений волн пика согласуются с более ранними результатами [4]. Получена оценка предельной крутизны, при превышении которой, волны спектрального пика начинали обрушатся. Производится обсуждение применения полученных результатов к дистанционным методам зондирования Земли. В данной работе впервые при единой методике регистрации обрушений покрывается широкий диапазон крутизн обрушающихся волн. Также было выполнено измерение суммы длин обрушающихся гребней волн спектрального пика на единице площади поверхности, которая является важной переменной в оценке диссипации волновой энергии доминантных волн.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда в рамках проекта № 21-47-00038 и поддержке Министерства науки и образования Российской Федерации в рамках государственного задания № 0736-2020-0005.

Список литературы

1) Кориненко А. Е., Малиновский В. В., Кудрявцев В. Н. Экспериментальные исследования статистических характеристик обрушений ветровых волн // Морской гидрофизический журнал. 2018. Т. 34, No 6. С. 534–547. doi:10.22449/0233-7584-2018-6-534-547

2) Hanson J. L., Phillips O. M. Wind Sea Growth and Dissipation in the Open Ocean // Journal of Physical Oceanography. 1999. Vol. 29, no. 8. P. 1633–1648.

3) Кориненко А. Е. и др. Статистические характеристики обрушений и их связь с диссипацией энергии ветровых волн по данным натурных измерений // Морской гидрофизический журнал. 2020. Т. 36, No 5. С. 514–531. doi:10.22449/0233-7584-2020-5-514-531

4) Banner, M.L., A.V. Babanin, and I.R. Young, Breaking probability for dominant waves on the sea surface, J. Phys. Oceanogr., 30, 3145-3160, 2000.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОЗОЛЯ ПРОВЕДЁННЫХ В АРКТИЧЕСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ «ТРАНСАРКТИКА-2019» И В 80-М РЕЙСЕ НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ»

Почуфаров А.О.[1], **Сакерин С.М.**[1], **Кабанов Д.М.**[1], **Полькин В.В.**[1], **Радионов В.Ф.**[2], **Малафеев Г.В.**[3], **Новигатский А.Н.**[3]

[1]*Институт оптики атмосферы В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск*

[2]*Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург*

[3]*Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, г. Москва*

pochufarov.ant@mail.ru

Ключевые слова: физика океана, Северный Ледовитый океан, оптическая толща аэрозоля, концентрация аэрозоля и сажи.

В данном докладе представлены результаты исследования аэрозоля в двух экспедициях в морях Северного Ледовитого океана. Первой экспедицией является «Трансарктика-2019. 4 этап» проходила с 28 июля по 7 сентября на маршруте от Владивостока до Мурманска. Измерения проводились на борту НИС «Профессор Мультановский». Были получены статистические характеристики аэрозоля для отдельных арктических морей и в целом для Евразийского сектора Северного Ледовитого океана.

Во второй экспедиции 80-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш», измерения проводились с 31 июля по 25 августа 2020 г. Были получены характеристики аэрозоля в пяти морях Северной Атлантики и Северного Ледовитого океана: Балтийское, Северное, Норвежское, Гренландское и Баренцево.

Результаты измерений приземных характеристик аэрозоля на борту судна подвержены влиянию неблагоприятных погодных условий (брызги, осадки, туман) и техногенных источников (дым трубы, загрязненный воздух из вентиляционных систем). В случае таких воздействий измерения и отбор проб прекращались. Кроме того, ложные замеры исключались на этапе первичной обработки данных.

В измерениях в обоих экспедициях использовался одинаковый комплект приборов в составе счетчика частиц АЗ-10 [1], аэталометра MDA [2] и портативного солнечного фотометра SPM [3]. По данным этих приборов для каждого часа измерений определялись следующие характеристики:

- массовая концентрация поглощающего вещества (сажа - MBC) в составе аэрозоля;
- счетная концентрация частиц аэрозоля радиусом r = 0.15-5 μm (N_A);
- объемные функции распределения частиц dV_i/dR_i;
- объёмы частиц мелко- и крупнодисперсной фракций аэрозоля (V_f and V_c);
- аэрозольно оптическая толща (АОТ) атмосферы $\tau^a(\lambda)$ в диапазоне спектра 0.34-2.14 μm и параметры формулы Ангстрема α,β;
- мелко- и крупнодисперсная составляющие АОТ (крупнодисперсная компонента τ^C находилась по минимальным значениям АОТ в диапазоне спектра 1.24 - 2.14 μm, а мелкодисперсная компонента оценивалась для длины волны 0,5 μm, как остаточная толща) [4].

По результатам обработки полученных данных в экспедиции «Трансарктика-2019» были сделаны следующие выводы: высокие среднесуточные концентрации аэрозоля и сажи, в основном, наблюдались вблизи континентов: в Японском море при удаление от Владивостока (N_A=11 cm^{-3}, M_{BC}=0.18-0.36 ng/m^3), на рейде у порта Анадырь (N_A=6.5 cm^{-3}, M_{BC}=0.15 ng/m^3), в проливе Лонга (N_A=8.8 cm^{-3}, M_{BC}=0.067 ng/m^3) и на юге Баренцева моря при приближение к Мурманску (N_A=5.6-10 cm^{-3}, M_{BC}=0.08-0.30 ng/m^3); самое большое значение АОТ ($\tau_{0.5}{}^C > 0.5$) зарегистрировано в Чукотском море, причиной этого послужил вынос дыма лесных пожаров с севера Якутии

и Западной Сибири; высокие значения АОТ ($\tau_{0.5}{}^{C}$= 0.3-0.35) в Дальневосточных морях тоже были связаны с выносами дымового аэрозоля из Сибири и севера Китая. Максимум концентрации аэрозоля в проливе Лонга был обусловлен туманной дымкой, поэтому не сопровождался ростом концентраций сажи. Увеличение концентраций N_A и M_{BC} на юге Баренцева моря произошло из-за выноса дымового аэрозоля из Прибалтики.

В итоге, мы получили, что средние характеристики аэрозоля над отдельными арктическими морями в 2019 менялись в диапазонах: $\tau_{0.5}{}^{a}$ = 0.13-0.36, N_A = 2.95-8.6 cm^{-3}, V_f = 0.27-0.85 $\mu m^3/cm^3$, M_{BC} = 34-179 ng/m^3. То есть, для большинства характеристик и районов наблюдалось превышение над многолетними данными. Средние АОТ оказались больше многолетних значений в 1,8-10 раз, а приземные концентрации - в 1.3-3.3 раза. Увеличение содержания аэрозоля летом 2019 произошло в диапазоне субмикронных частиц - под влиянием выносов в районы измерений дымов лесных пожаров. Вследствие выносов дымовых шлейфов в трех случаях зарегистрированы максимумы АОТ и наблюдался более высокий уровень содержания аэрозоля и сажи в приземном слое атмосферы.

Предварительный анализ результатов измерений в 80-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» показал, что средние характеристики аэрозоля в исследуемых районах согласуются с данными двух предшествующих экспедиций (67-й и 71-й рейсы) [5,6].

Работа по анализу результатов выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

Список литературы

1) Счетчик аэрозольных частиц АЗ-10. Руководство по эксплуатации. ЭКИТ7.830.000 РЭ. М., 2010. 13 с.

2) Kozlov, V.S.; Shmargunov, V.P.; Panchenko, M.V. Modified aethalometer for monitoring of black carbon concentration in atmospheric aerosol and technique for correction of the spot loading effect. Proceed. SPIE, 2016, 10035, 1003530. DOI:10.1117/12.2248009.

3) Сакерин С. М., Кабанов Д. М., Ростов А. П., Турчинович С. А., Князев В. В. Солнечные фотометры для измерений спектральной прозрачности атмосферы в стационарных и мобильных условиях. // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25. № 12. С. 1112-1117.

4) Сакерин С. М., Андреев С. Ю., Кабанов Д. М., Николашкин С. В., Прахов А. Н., Радионов В. Ф., Турчинович Ю. С., Чернов Д. Г., Холбен Б. Н., Смирнов А. В., Сорокин М. Г. О результатах исследований аэрозольной оптической толщи атмосферы в арктических районах. // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27. № 05. С. 413-423.

5) Терпугова С. А., Зенкова П. Н., Кабанов Д. М., Полькин В. В., Голобокова Л. П., Панченко М. В., Сакерин С. М., Лисицын А. П., Шевченко В. П., Политова Н. В., Козлов В. С., Ходжер Т. В., Шмаргунов В. П., Чернов Д. Г. Результаты исследований характеристик аэрозоля в атмосфере Карского и Баренцева морей в летне-осенний период 2016 г.. // Оптика атмосферы и океана. 2018. Т. 31. № 05. С. 391–402. DOI: 10.15372/AOO20180509.

6) Сакерин С. М., Зенкова П. Н., Кабанов Д. М., Калашникова Д. А., Лисицын А. П., Макаров В. И., Полькин В. В., Попова С. А., Симонова Г. В., Чанкина О. В., Шевченко В. П. Результаты исследований физико-химических характеристик атмосферного аэрозоля в 71-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш». // Оптика атмосферы и океана. 2020. Т. 33. № 05. С. 358–367. DOI: 10.15372/AOO20200505.

ИСКУССТВЕННЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В ЗАДАЧЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО МАСШТАБИРОВАНИЯ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО ВЕТРА В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ

Резвов В.Ю.[1,2], **Криницкий М.А.**[1], **Гавриков А.В.**[1], **Гулев С.К.**[1]

[1]*Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, г. Москва*

[2]*Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный*

rezvov98@mail.ru

Ключевые слова: статистическое масштабирование, искусственные нейронные сети, северная Атлантика, приповерхностный ветер

Скорость и направление приповерхностного ветра являются чрезвычайно важным физическим полем при изучении климата. Характеристики приповерхностного ветра связаны с переносом импульса, энергии и вещества на границе океан-атмосфера. Кроме того, существует и обратная связь. Поля ветра представляют интерес и сами по себе, особенно с точки зрения плотности ветровой энергии, и экстремальных значений ветра. На приповерхностный ветер оказывают влияние такие мелкомасштабные особенности, как местная топография и температурные градиенты. Точное прогнозирование полей приповерхностного ветра с высоким разрешением является основной задачей в различных областях науки и промышленности [1].

Статистическое масштабирование является одним из способов получения мелкомасштабной информации о распределении физической величины с помощью имеющихся данных в низком разрешении. Это позволяет избежать вычислительно затратного гидродинамического моделирования с высоким разрешением. Статистическое масштабирование определяет связь между изменчивостью на различных масштабах с помощью модели статистического прогнозирования. Данный подход полностью базируется на данных и, поэтому, может применяться только в тех регионах, где наблюдения велись в течение достаточно длительного времени, чтобы установить достоверную статистическую взаимосвязь [2].

Методы глубокого обучения являются одним из характерных примеров использования машинного обучения в задачах аппроксимации сложных нелинейных функций [3,4]. В частности, сверточные нейронные сети (convolutional neural networks, CNN) нашли множество применений в сложных задачах обработки изображений.

В настоящей работе рассматривается статистическое масштабирование магнитуды и направления ветра на высоте 10 м в Северной Атлантике. Исходные данные в низком разрешении представлены реанализом ERA-Interim, интерполированным на регулярную декартову сетку размером 110 x 110 узлов. Расстояние между узлами сетки составляет приблизительно 80 км. Исходные данные высокого разрешения представлены результатом высокоразрешающего динамического моделирования RAS-NAAD [5] на регулярной сетке размером 550 x 550 узлов в том же регионе Северной Атлантики. В узлах сеток известны зональная и меридиональная компоненты скорости ветра на высоте 10 м, а также давление, приведенное к уровню моря.

В данной работе мы применили искусственные нейронные сети нескольких архитектур: (а) свёрточный автокодировщик, (б) порождающая соревновательная сеть (GAN), (в) ResNET, (г) U-NET. Разрешение исходных данных на сетке 110 x 110 узлов увеличивается в пять раз с помощью нейронной сети, и результат сравнивается с высокоразрешенными данными на сетке 550 x 550 узлов. В качестве опорного решения для проведения сравнения в нашем исследовании также проведена билинейная и бикубическая интерполяция ветра с сетки низкого разрешения на сетку высокого разрешения.

На основании полученных результатов сравнивается качество статистического масштабирования, осуществляемого с применением искусственных нейронных сетей различных архитектур, а также опорных методов.

В нашей работе будут продемонстрированы преимущества и недостатки нейросетевого подхода в задаче статистического масштабирования полей приповерхностного ветра в Северной Атлантике, а также будут предложены направления дальнейшего развития исследуемых методов.

Данное исследование было проведено при поддержке Российского Научного Фонда в рамках гранта № 17-77-20112-П.

Список литературы

1) Monahan A. H. Can we see the wind? Statistical downscaling of historical sea surface winds in the subarctic northeast Pacific //Journal of climate. – 2012. – Т. 25. – №. 5. – С. 1511-1528.
2) Höhlein K. et al. A comparative study of convolutional neural network models for wind field downscaling //Meteorological Applications. – 2020. – Т. 27. – №. 6. – С. e1961.
3) Cybenko G. Approximation by superpositions of a sigmoidal function //Mathematics of control, signals and systems. – 1989. – Т. 2. – №. 4. – С. 303-314.
4) Колмогоров А.Н. О представлении непрерывных функций нескольких переменных в виде суперпозиций непрерывных функций одного переменного и сложения / Колмогоров А.Н. // Доклады Академии наук – 1957. – Т. 114 – № 5 – С. 953–956.
5) Gavrikov A. et al. RAS-NAAD: 40-yr High-Resolution North Atlantic Atmospheric Hindcast for Multipurpose Applications (New Dataset for the Regional Mesoscale Studies in the Atmosphere and the Ocean) //Journal of Applied Meteorology and Climatology. – 2020. – Т. 59. – №. 5. – С. 793-817.

СЕЗОННАЯ И МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТУРБУЛЕНТНОГО ЭНЕРГООБМЕНА МЕЖДУ МОРЯМИ ЗАПАДНОГО СЕКТОРА РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ И АТМОСФЕРОЙ

Романенко В.А.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва

romanenko.victor.geo@mail.ru

Ключевые слова: Баренцево море, Карское море, тренды

Баренцево и Карское море - окраинные моря северо-запада России. Они относятся к Западному сектору российской Арктики, стратегически важному району для нашей страны, поскольку южная и юго-западная часть Баренцева моря вследствие отепляющего воздействия течений Атлантического океана даже в самые суровые годы не замерзает. Этот факт положительно влияет на хозяйственную деятельность в регионе. В связи с этим изучение климатологии данного региона очень актуально в настоящее время. Турбулентный теплообмен осуществляется в виде потоков явного (H) и скрытого тепла (LE). Их существование влияет на усиление и ослабление циклонической деятельности в арктическом регионе, на адвекцию тепла и влаги, на интенсификацию западного переноса [2].

В рамках настоящей работы производились следующие исследования:

· Расчет и анализ распределения суммарных среднемноголетних и среднемесячных потоков H и LE над акваториями Баренцева и Карского морей.

· Расчет и анализ пространственной и временной изменчивости потоков тепла над Баренцевым и Карским морями.

· Расчет и анализ трендов годовой суммы потоков тепла Баренцевым и Карским морями.

Изучением потоков тепла над Арктическим бассейном занимались различные ученые. В справочнике [1] рассматривалось пространственное распределение турбулентных потоков тепла в Баренцевом и Карском морях. Работы последнего десятилетия дополняют ранние исследования. В частности, в статьях [2,3] рассматривался крупномасштабный процесс взаимодействия атмосферы и океана в атлантическом секторе Арктики, был сделан вывод о взаимосвязи турбулентных потоков тепла, площади ледового покрова и характере атмосферной циркуляции, изучалась связь с процессом «атлантизации» - ослаблением стратификации в океане, сокращением ледового покрова в западных акваториях морей российской Арктики, подверженным влиянию теплого Нордкапского течения.

Новизна данного исследования заключается в том, что пространственная и временная изменчивость H и LE была рассчитана впервые. Кроме того, впервые был исследован тренд годовой суммы потоков тепла.

В качестве исходных данных использовались среднемесячные и среднегодовые потоки H и LE, полученные из реанализа Era-Interim [4] в Вт/м^2 с 6 часовым временным разрешением, с пространственным разрешением 0.125*0.125 градусов по широте и долготе за период с 1979 по 2016 гг. для Баренцева и Карского морей. Для отражения интегральных величин по площади моря, потоки были переведены в МДж/м^2. Наибольшие потоки как H, так и LE наблюдаются над южной частью Баренцева моря, в особенности над теплым Нордкапским течением (900 - 1200 МДж/м^2), наименьшие - над севером Баренцева моря и над Карским морем в целом (200 - 300 МДж/м^2), поскольку данные акватории большую часть года покрыты сплошным льдом. Стоит отметить, что пространственная структура очагов максимальной и минимальной теплоотдачи над Баренцевым и Карским морями в последние десятилетия не претерпела существенных изменений по сравнению с серединой и второй половиной XX века.

Для анализа пространственной изменчивости турбулентных потоков для каждого моря рассчитывались диаграммы размаха на основе среднемесячных данных. В зимнее и весеннее время

для Баренцева моря характерна сильная пространственная изменчивость турбулентных потоков тепла, обусловленная тем, что в районе теплого Нордкапского течения велики значения H и LE. В северной части моря, а также в Карском море потоки тепла в данное время года невелики, поскольку теплообмен между атмосферой и покрытой льдом поверхностью моря практически отсутствует. Летом и осенью пространственная изменчивость турбулентных потоков тепла в обоих морях низкая. Однако в Карском море максимум изменчивости выражен в осеннее время, что объясняется активным ледотаянием.

Для анализа временной изменчивости H и LE рассчитывались диаграммы размаха отдельно для каждого моря на основе данных о средних потоках для каждого года с 1979 по 2016 гг. за каждый месяц. Временная изменчивость отражает разброс многолетних значений для каждого месяца. Она значительна в холодное время года для Баренцева моря и объясняется активной циклонической деятельностью. В теплые годы при высокой ее активности потоки большие. В Карском море временная изменчивость H в 4 раза меньше, чем в Баренцевом, поскольку в течение года над акваторией часто формируются и разрушаются инверсии. Из-за преобладания в течение года туманов невелика изменчивость LE. Временная изменчивость потоков не сильно различается между месяцами, так как синоптическая обстановка над данным морем более однородна в течение года по сравнению с таковой над Баренцевым. Однако изменчивость H на порядок больше изменчивости LE, так как LE незначителен вследствие того, что море большую часть года покрыто льдом.

Для выявления возможных изменений потоков тепла были построены и проанализированы их многолетние изменения для каждого моря. Оказалось, что в течение всего исследуемого периода значения суммарного по площади моря годового потока сильно изменялись. В наибольшей степени это характерно для Баренцева моря. В многолетних изменениях H с 1989 по 2000 годы прослеживается положительный тренд как для Баренцева, так и для Карского моря, который связан с активным потеплением воздуха и ростом градиента температур. Однако с 2000 по 2010 гг. наблюдался отрицательный тренд потока H, вызванный паузой в глобальном потеплении и большой инерцией океана. На протяжении всего исследуемого периода линейный тренд изменения суммарного потока LE не выражен, поскольку рассматриваемые десятилетия зашумлены другими процессами.

Благодарю за консультации и сотрудничество д.г.н. профессора Суркову Г.В.
РФФИ (проект 18-05-60083), Госзадания (номер ЦИТИС: АААА-А16-116032810086-4).

Список литературы

1) Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т.1. Баренцево море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия / Ред. Ф.С.Терзиева и др. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 280 с.

2) Сизов А.А., Н.В. Михайлова, Т.М. Баянкина. Режимы крупномасштабного взаимодействия атмосферы и океана в Норвежском и Баренцевом морях. Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, 2019, с. 615 - 618.

3) Polyakov et al., Greater role for Atlantic inflows on sea-ice loss in the Eurasian Basin of the Arctic Ocean// Science. 2017. 356, 285–291.

4) https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era-interim

ВЛИЯНИЕ СУТОЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИЧЕСКОГО ПРОГРЕВА ВЕРХНЕГО СЛОЯ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ

Рубакина В.А., Кубряков А.А., Станичный С.В., Мизюк А.И.

ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН»

valenru93@mail.ru

Ключевые слова: Черное море, ВКС, NEMO, суточный ход температуры, дневной прогрев, стратификация, поле ветра.

Исследование высокочастотных колебаний температуры вод - одна из важнейших задач современной океанологии. Суточный ход температуры приповерхностного слоя оказывает воздействие на обмен импульсом и энергией между океаном и атмосферой, а также на формирование ветров. Кроме того, изменения стратификации вод, связанные с суточными колебаниями потоков тепла, влияют на ряд физических и биогеохимических процессов в верхних слоях моря [1].

В представленной работе выполнено исследование влияния суточного хода температуры на термохалинную структуру и перемешивание в верхнем слое на основе данных модели NEMO с высоким временным разрешением (1 час) и пространственным разрешением 4.6 км; горизонты, для которых представлены данные: 1.3 м; 3.8 м; 6.5 м; 9.4 м; 12.4 м; 15.7 м; 19.4 м; 23.7 м; 28.8 м, 34.8 м; 42.4 м; 51.9 м, 64.1 м; 79.8 м. В качестве атмосферного воздействия в численных экспериментах используются поля температуры и влажности воздуха на уровне 2 м, компонент горизонтальной скорости ветра на 10 м, потоки нисходящего длинноволнового и коротковолнового излучения, осадки в жидкой и твердой фазах из глобального атмосферного реанализа ERA5 имеющего пространственное разрешение 0.25 ° градуса и временную дискретность - 1 час. Посредством балк-формул протокола CORE (Coordinated Ocean-ice Reference Experiments) [2] отмеченные метеопараметры с исходной дискретностью по времени используются для расчета суммарных потоков тепла, массы и напряжения трения ветра.

Сопоставление суточного хода температуры по данным модели с данными геостационарного сканера SEVIRI и данными термодрифтеров [3, 4] показало приемлемое качество данных моделирования.

По данным моделирования проанализированы короткопериодные колебания (длительностью ∼1 часа) температуры, солености и толщины верхнего квазиоднородного слоя (далее ВКС), а также рассмотрена стратификации вод по показателю частоты Брента — Вяйсяля (N) для различных сезонов года.

Подробно рассмотрен временной ход температуры на различных горизонтах в весенний период, т.е. в начале термического прогрева. Отмечено, что в этот время года суточные колебания температуры проникают в более глубокие слои Черного моря, достигая горизонта ∼40 м, что влияет на прогрев этих слоев - происходит перераспределение тепла в слое 0 м - 40 м. В результате достаточно быстрое увеличение температуры в весенний период наблюдается не только в верхнем слое (выше сезонного термоклина) но и под ним. При этом такого рода процессы имеют эпизодический характер, т.к. происходят вследствие отдельных событий суточного прогрева.

Механизм такого «скачкообразного» прогрева больших слоев моря может быть связан, в первую очередь, с особенностями поля ветра. Весной стратификация верхнего слоя достаточно слаба. Поэтому, при достаточно интенсивном дневном прогреве и последующем перемешивании вследствие ветрового воздействия теплые воды опускаются до горизонтов 35 - 40 м. Таким образом происходит прогрев этих слоев и постепенное развитие температурной стратификации.

Для подтверждения данного механизма был проанализирован временной и средний суточный ход глубины залегания ВКС и поля ветра (по данным реанализа Era5) в марте 2015 г. При анализе среднего суточного хода глубины залегания ВКС отмечено наличие выраженного минимума (∼15.6 м - 16 м) в 12.00 - 15.00. Следует отметить, что столь выраженный средний суточный ход

глубины залегания ВКС не стабилен для всего марта, а является проявлением единичных случаев поднятия ВКС, связанных непосредственно с дневным прогревом и полем ветра. Об этом свидетельствует анализ временного хода глубины залегания ВКС и поля ветра для марта. Получено, что при скоростях ветра 10 м/с и выше наблюдается заглубление ВКС до горизонтов ∼65 м. При минимальных скоростях ветра (менее 5 м/с) и штилевых условиях имеют место ярко выраженные минимумы (2 м - 3 м). При увеличении скорости ветра до 5 - 7 м/с вновь происходит заглубление ВКС (до 30 м - 35 м). Если очередному увеличению скорости ветра предшествуют штилевые условия и значительный дневной прогрев, то последующее ветровое перемешивание способствует опусканию теплых вод и более быстрому прогреву нижележащих слоев. В апреле-мае происходит резкое увеличение стратификации и подобные процессы прекращаются поскольку формируется резкий сезонный термоклин.

Еще одним фактором, влияющим на прогрев более глубоких слоев вод, являются течения. Вклад этого фактора будет рассмотрен в отдельной работе.

Исследование особенностей суточного и сезонного хода температуры, а также событий значительного дневного прогрева выполнено в рамках государственного задания по теме №0555-2019-0001.Оценка стратификации вод Черного моря и глубины залегания верхнего квазиоднородного слоя, а также анализ поля ветра выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 19-35-90084.

Список литературы

1) Кубряков, А. А., Белокопытов, В. Н., Зацепин, А. Г., Станичный, С. В., Пиотух, В. Б. Изменчивость толщины перемешанного слоя в Черном море и ее связь с динамикой вод и атмосферным воздействием // Морской гидрофизический журнал. Т.35. №5. 2019. С. 449-468.

2) Large W. G., Yeager S. Diurnal to decadal global forcing for ocean and sea-ice models: the data sets and flux climatologies // NCAR Technical Note, NCAR/TN-460+STR, CGD Division of the National Center for Atmospheric Research. 2004.

3) Рубакина В.А., Кубряков А.А., Станичный С.В. Сезонная изменчивость суточного хода температуры поверхностного слоя Черного моря по данным сканера SEVIRI // Морской гидрофизический журнал. №. 2. 2019. С. 171–184.

4) Рубакина В.А., Кубряков А.А., Станичный С.В. Сезонный и суточный ход температуры вод Черного моря по данным термопрофилирующих дрейфующих буев // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т.16. № 5. 2019. С. 268–281.

СРАВНЕНИЕ СПЕКТРОВ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ ПО ДАННЫМ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИЗМЕРЕНИЙ В РАЙОНЕ ГЕЛЕНДЖИКА И УТРИША

Рыбалко А.Д.[1], **Мысленков С.А.** [1,2,3]

[1] *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва*

[2] *Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации, г. Москва*

[3] *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

ryb.aleksandra1@gmail.com

Ключевые слова: волновой спектр, ветровые волны, волномерный буй, спектральная волновая модель, WAVEWATCHIII, Черное море.

Волновой спектр описывает распределение энергии волнового поля по частотам и направлениям. Такое распределение является результатом возникновения определенного числа отдельных волновых систем. Для хранения и интерпретации больших рядов данных о ветровом волнении чаще всего используют интегральные характеристики (высота, длина, период волн и т.д.). Однако изучение спектров позволяет получать более подробную информацию, например, определять природу волновых систем. Пространственная и временная изменчивость интегральных параметров ветрового волнения в Черном море хорошо изучена. Однако исследований изменчивости волновых спектров практически не проводилось.

В настоящее время для воспроизведения параметров ветрового волнения на достаточно больших акваториях в основном используют спектральные волновые модели. Цель данной работы - сравнение спектров по результатам измерений с данными двух волномерных буев в районе Геленджика и Утриша и расчетов модели WAVEWATCHIII.

Первый волномерный буй, Spoondrifter Spotter, был установлен недалеко от города Геленджик на глубине около 80 м (44.51 с.ш., 37.97 в.д.) [1]. Были получены интегральные параметры ветровых волн и волновые спектры с 23.07.2020 по 01.11.2020 с шагом по времени 30 минут. Второй волномерный буй, Datawell DWRG-4, был установлен на глубине 18 м к северо-западу от мыса Малый Утриш (44.72 с.ш., 37.43 в.д.). Данные измерений охватывают период с 31.01.2020 по 21.02.2020 и с 17.07.2020 по 22.10.2020. Были получены высоты значительных волн с шагом по времени 30 минут и волновые спектры с шагом по времени 1 час. Результаты измерений сравнивались с расчетами спектральной волновой модели WAVEWATCHIII. Данная модель в разных реализациях ранее применялась для расчетов параметров ветрового волнения в Черном море [2, 3]. В настоящей работе использовалась оригинальная неструктурная вычислительная сетка, которая имеет высокое пространственное разрешение в прибрежной части (около 500 м). Данные о рельефе дна получены из карт, изданных Главным управлением навигации и океанографии Министерства обороны России. В качестве входных данных о ветре использовался реанализ NCEP/CFSv2 (2011-2020) с разрешением $\sim 0.2^{\circ}$. В результате были получены стандартные параметры волн и спектры. При расчете спектров использовалось 36 частот, определенных на логарифмической сетке с минимальной частотой 0.03 Гц и максимальной - 0.84 Гц.

Сравнение высоты значительных волн в районе мыса Малый Утриш в период с 31.01.2020 по 21.02.2020 показало, что модель в целом воспроизводит основные события, однако рассчитанные значения имеют как положительные, так и отрицательные отклонения. Наибольшие положительные отклонения достигаются в период 5-7 февраля, модель завышает высоту волн почти на 2 метра. В остальные сроки отклонения незначительны, в среднем не более 0.3 м. Для всего ряда с 31.01.2020 по 21.02.2020 коэффициент корреляции составляет 0.8, а систематическая ошибка 0.1 м. Для сопоставления спектров волнения было выбрано 2 срока во время шторма 10-15 февраля. В эти сроки высота значительных волн по данным измерений и моделирования практически полностью совпадает, следовательно, интегралы по спектрам должны соответствовать друг другу. Во время этого шторма, 11 февраля в 14:43, было зафиксировано максимальное значение высоты

волн - 4.03 м по данным измерений (3.2 м по данным моделирования). Для первого срока сравнения спектров наибольшее значение спектральной энергии приходится на частоту 0.13 Гц как по результатам измерений, так и по модели - 7.8 и 7.3 м^2/Гц соответственно. Однако на частоте 0.16 Гц в данных измерений наблюдается небольшой пик, который отсутствует в модельных расчетах. Высота волн для этого срока составляет 2.8 м. Для второго срока по данным измерений наблюдаются 2 пика на частотах 0.135 и 0.16 Гц. По результатам моделирования присутствует один пик на частоте 0.16 Гц, что вызывает вопросы к модели, хотя смещение энергии в низкочастотную часть в модели должно работать корректно. Для этого срока абсолютные значения спектральной плотности невелики, так как высота значительных волн составляет 0.7 м. Аналогичным образом были сопоставлены результаты модельных расчетов и данные в районе Утриша за период с 23.07.20 по 22.10.20. Коэффициент корреляции для высоты значительных волн составляет 0.8, а систематическая ошибка 0.1 м. Также сравнивались модельные высоты значительных волн с данными волномерного буя близ Геленджика за период с 23.07.20 по 01.11.20. Для этой пары рядов коэффициент корреляции составляет 0.8, а систематическая ошибка 0.2 м. Для сопоставления спектров были выбраны 2 срока в период с 17 по 22 октября. Высота значительных волн для первого срока - 0.57 м по данным измерений и 0.6 по результатам моделирования. По данным измерений максимальное значение спектральной энергии приходится на 0.18 Гц и составляет 0.17 м^2/Гц. По модельным расчетам пик находится на частоте 0.22 Гц и составляет 0.18 м^2/Гц. Для второго срока высота значительных волн по данным измерений - 0.52 м, а по данным модели - 0.48 м. Максимально значение спектральной энергии (0.25 м^2/Гц) соответствует частоте 0.18 Гц. Для модельных расчётов эти значения составляют 0.19 м^2/Гц и 0.19 Гц. По данным измерений присутствует еще один пик на частоте 0.43 Гц, значение спектральной энергии составляет 0.03 м^2/Гц. Для обоих сроков наблюдается небольшой пик на частоте 0.05 Гц по данным измерений, имеющий малое значение спектральной энергии, который, по всей видимости, относится к судовым волнам.

В целом можно заключить, что модель адекватно воспроизводит частоту основного пика и максимум спектральной энергии.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-55-46007.

Список литературы

1) Saprykina Y., Kuznetsov S., Divinskiy B. Real time history of wave parameters in Black Sea based on wave buoy measurements. figshare. Dataset. 2020. doi:10.6084/m9.figshare.12765407

2) Kirezci C., Ozyurt Tarakcıoglu G. Validation of Wavewatch III Model in BlackSea Using Different Re-Analysis Wind Data //AGUFM. 2016. V. 2016. P. A43G-0336.

3) Зеленько А.А., Струков Б.С., Реснянский Ю.Д., Мартынов С.Л. Система прогнозирования ветрового волнения в Мировом океане и морях России// Труды государственного океанографического института. 2014. Т. 215. С. 90–101.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИМИ И ОПТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Рябкова М.С.[1], Титченко Ю.А.[1], Мешков Е.М.[1], Титов В.И.[1], Панфилова М.А.[1], Караев В.Ю.[1], Скиба Е.В.[2], Кориненко А.Е.[2]

[1] *Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород*

[2] *Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь*

m.rjabkova@gmail.com

Ключевые слова: натурный эксперимент, обработка данных, ветровое волнение, акустический волнограф, параметры поверхностного волнения, численное моделирование, доплеровский спектр.

В 2019 году на океанографической платформе вблизи поселка Кацивели был проведен эксперимент по измерению параметров поверхностного волнения акустическими и оптическими методами.

С августа по октябрь 2019 года подводный гидроакустический волнограф работал на платформе, управление прибором производилось дистанционно, данные передавались по сети интернет. Прибор был установлен под водой на глубине 26 м. Волнограф оснащен импульсным и доплеровским гидролокаторами, оба гидролокатора работают на частоте 200 кГц (длина волны 7,5 мм). Приемо-передающая антенна импульсного гидролокатора ориентирована вертикально вверх, на морскую поверхность, антенна допплеровского гидролокатора отклонена на 5 градусов от направления в зенит. Импульсный гидролокатор излучает акустические импульсы длиной от 5 до 40 мкс с частотой повторений от 15 до 100 Гц. По времени прихода максимального отражения можно определить высоту волнения. Также по форме отраженного от водной поверхности импульса можно оценить высоту значительного волнения и полную дисперсию наклонов крупномасштабного (по сравнению с длиной волны падающего излучения) волнения [1]. Высоты волн, восстановленные по времени прихода отраженного импульса, и полученные методом анализа формы отраженного импульса, близки между собой. Каждые два часа проводились десятиминутные записи зависимости высоты волнения от времени. Восстановленные по таким записям спектры волнения близки к спектрам волнения, измеренным в то же время струнным волнографом, установленным на платформе.

Доплеровский гидролокатор измеряет доплеровский спектр (ДС) сигнала, отраженного водной поверхностью. Раскрыв диаграммы направленности приемо-передающей антенны составляет 15х15 градусов. Небольшой наклон от надира позволяет обеспечить ненулевое смещение допплеровского спектра, оставаясь в рамках действия приближения Кирхгофа, что позволяет увеличить число восстанавливаемых параметров поверхности. Ранее был разработан алгоритм, позволяющий по ширине и смещению ДС восстанавливать все статистические характеристики поверхностного волнения при условии, что азимутальный угол между направлением зондирования и направлением волнения известен [2].

В октябре 2019 синхронно с регистрацией длинных волн с помощью подводного акустического излучателя производилась регистрация длинных волн с помощью оптических линеек ПЗС приемников. Эти линейки позволяют получать пространственно - временные изображения морской поверхности в координатах дальность - время. По двум таким изображениям можно определить все кинематические параметры длинных волн. Также проявляется групповая структура длинных волн в виде случайных темных полос. На основании оптической модели видимости волн на поверхности моря разработана теория восстановления спектров наклонов длинных волн.

На платформе непрерывно работал струнный волнограф, измерявший спектр волнения, и метеостанция. Хотя струнный волнограф измеряет спектр волнения до 1 Гц, можно продлить спектр с использованием модели спектра волнения [3] и посчитать дисперсию наклонов, также дисперсию наклонов крупномасштабного волнения можно определить по акустическими и оптическим

измерениям. Дисперсии наклонов крупномасштабного волнения, определенные разными методами, близки между собой, различия можно объяснить разными временами усреднения записей приборов и разными длинами волн дистанционных методов.

К весне 2021 года подводный акустический волнограф вновь будет установлен на океанографической платформе вблизи поселка Кацивели, Крым. Прибор будет осуществлять непрерывный мониторинг волнения вблизи платформы.

Авторы выражают благодарность сотрудникам Черноморского гидрофизического полигона за помощь в проведении экспериментов.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19-05-00547) и гранта Президента РФ МК-1130.2020.5.

Список литературы

1) Караев В. Ю., Мешков Е. М., Титченко Ю. А. Подводный акустический высотомер // Известия ВУЗов, сер. Радиофизика. [U+2012] 2014. [U+2012] Т. 57. [U+2012] С. 543-554.
2) Panfilova M., Ryabkova M., Titchenko Yu., Karaev V. Retrieving of significant wave height and period from the Doppler spectrum of backscattered microwave signal // 12th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2018), London. 2018. P.1-3. doi: 10.1049/cp.2018.1084
3) Ryabkova, M., Karaev, V., Guo, J., & Titchenko, Yu. (2019). A review of wave spectrum models as applied to the problem of radar probing of the sea surface. Journal of Geophysical Research: Oceans, 124. https://doi.org/10.1029/2018JC014804

ТРЕХМЕРНАЯ СТРУКТУРА МЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ В ДИНАМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ РАЙОНАХ МИРОВОГО ОКЕАНА: КОМПОЗИТНЫЙ АНАЛИЗ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ АЛЬТИМЕТРИИ И IN SITU НАБЛЮДЕНИЙ

Сандалюк Н.В.[1], **Белоненко Т.В.**[1], **Bosse A.**[2]

[1] *Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург*

[2] *Aix Marseille Univ., Universit´e de Toulon, Marseille, France*

nikitasandaliuk@gmail.com

Ключевые слова: мезомасштабные вихри, спутниковая альтиметрия

Вихревые процессы играют одну из ключевых ролей в динамике океана. Вихри способны захватывать и переносить большие объемы тепла и соли, а также биогеохимические характеристики, тем самым оказывая существенное влияние как на региональные, так и на глобальные климатические и биологические процессы [1, 2]. Традиционно актуальной задачей является изучение пространственной термохалинной структуры мезомасштабных вихрей и ее сезонная изменчивость. Данная проблема обусловлена сложностью получения достаточного количества гидрологических профилей непосредственно в пределах самого вихря. Это особенно актуально для районов, где за счет вихревых процессов происходит масштабное перераспределение тепла и соли и, как следствие, мезомасштабные вихри оказывают существенное влияние на региональный и глобальный климат.

Основной целью представленного исследования является изучение вертикальной термохалинной структуры мезомасштабных вихрей в Лофотенском бассейне и регионе Течения Агульяс, а также оценка их влияния на водные массы и термохалинный транспорт. Для достижения поставленной цели применяется метод сопоставления данных спутниковой альтиметрии [3] и CTD профилей из различных источников (судовые наблюдения, автономные буи, глайдеры), что позволяет получить трехмерные структуры циклонических и антициклонических вихрей [4]. На основе полученных трехмерных структур был произведен расчет объемов тепла и соли, переносимых вихрями в пределах изучаемых регионов, произведена оценка объемов вихревого транспорта, осуществляемого антициклоническими и циклоническими вихрями, а также получены оценки пространственного распределения зонального и меридионального вихревого транспорта. Для региона Лофотенской котловины также произведена оценка сезонной изменчивости термохалинной структуры мезомасштабных вихрей и сезонная изменчивость интенсивности вихревого транспорта [5, 6].

Полученные результаты в дальнейшем могут использоваться в качестве основы для исследования влияния мезомасштабных вихрей на биогеохимические процессы в районе Агульяс и Лофотенской котловины, для валидации вихреразрешающих климатических моделей в исследуемых регионах, а также для отслеживания проявлений вихрей в CTD профилях, полученных с помощью судовых наблюдений, автономных буев и глайдеров в исследуемых регионах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант No 18–17–00027

Список литературы

1) Монин, А.С., Жихарев Г.М. Океанские вихри // Успехи физических наук. Т. 160. Вып. 5. 1990. С. 1-47

2) Chelton D. B., Schlax M. G., Samelson R. M. Global observations of nonlinear mesoscale eddies // Progress in Oceanography. Vol. 91. 2011. C. 167–216

3) https://www.aviso.altimetry.fr/en/data/products/value-added-products/global-mesoscale-eddy-trajectory-product.html

4) Chaigneau A., Le Texier M., Eldin G., Grados C. Pizarro O. Vertical structure of mesoscale eddies in the eastern South Pacific Ocean: A composite analysis from altimetry and Argo profiling floats // J. Geophys. Res. Vol. 116. 2011.

5) Sandalyuk, N. V., Bosse, A., Belonenko, T. V. The 3-D structure of mesoscale eddies in the Lofoten Basin of the Norwegian Sea: A composite analysis from altimetry and in situ data // Journal of Geophysical Research: Oceans. Vol. 125. 2020.

6) Сандалюк Н.В., Белоненко Т.В. Сезонная изменчивость термохалинной структуры мезомасштабных вихрей в регионе Лофотенской котловины // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2021. № 14 (1). С. 15-30

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРОПУСКОВ В ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Сарафанов М.И., Никитин Н.О., Калюжная А.В.

Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург

mik_sar@mail.ru

Ключевые слова: восстановление пропусков, альтиметрия, временные ряды, машинное обучение

Наличие пропусков в данных часто является препятствием как для их использования при проведении научных исследований, так и для применения в ходе решения бизнес-задач. Пропуски часто присутствуют во временных рядах геоданных, получаемых с сенсоров спутников, данных станций метеонаблюдений, буёв, установок на кораблях и т.д.

Для заполнения пропусков используются методы восстановления данных. К таковым можно отнести как относительно простые методы (такие как линейная интерполяция и скользящее среднее), так и более продвинутые (фильтры Савицкого-Голея [1], фильтры Калмана, интерполяция сплайнами, восстановление пропусков при помощи методов машинного обучения). Отметим, что приведенные методы несовершенны, и тема заполнения пропусков продолжает активно исследоваться. Так, в недавнем исследовании [2] была показана эффективность применения методов машинного обучения для заполнения пропусков в полях температуры поверхности земли, полученных со спутников.

В восстановленных временных рядах могут возникать различные паттерны, не свойственные исходному ряду. В таком случае дальнейшее использование таких последовательностей может навредить не только с точки зрения интерпретируемости полученных рядов (что особенно важно для геонаук, где задача анализа данных является важной составляющей многих исследований), но и существенно ухудшить прогностические возможности моделей, обученных на восстановленных данных.

В данном исследовании мы ставили перед собой задачу разработать эффективный подход к заполнению пропусков на основе применения современных методов автоматического машинного обучения. В качестве базового инструмента был использован разрабатываемый нами фреймворк автоматического моделирования FEDOT [3]. Код фреймворка находится в открытом доступе (https://github.com/nccr-itmo/FEDOT) и включает в себя реализованные в рамках данной работы подходы.

Основная идея, лежащая в основе данного фреймворка: автоматизированное объединение нескольких моделей машинного обучения в композитные, где предсказания одних моделей могут являться предикторами для других. Оптимальная структура композитной модели определяется при помощи эволюционного алгоритма.

Временные ряды для валидации были получены из данных спутниковой альтиметрии [4]. На основе этого набора данных были подготовлены несколько временных рядов, в которых генерировались пропуски, а затем заполнялись при помощи различных методов.

Дополнительно было исследовано влияние, которое оказывают временные ряды, восстановленные при помощи различных алгоритмов, на точность прогнозной модели. Для обучения прогностических регрессионных моделей использовались различные временные ряды: сначала оригинальный, затем восстановленные при помощи алгоритмов. Величина снижения точности прогноза, оцененной по средней абсолютной процентной ошибке, или MAPE (mean absolute percentage error), от точности прогноза модели на оригинальном временной ряду характеризует то, насколько сильно алгоритм, с помощью которого временной ряд был восстановлен, исказил исходные данные.

Критерий снижения точности прогноза можно представить как разность MAPE модели, обученной на исходном временном ряду и MAPE модели, обученной на временном ряду, восстановленном каким-либо алгоритмом.

В результате проведенных исследований было установлено, что алгоритм заполнения пропусков на основе автоматической идентификации композитной модели позволяет получить более точные результаты, чем алгоритмы-конкуренты. Так, ошибка у подобранной алгоритмом модели (композитная модель для заполнения пропусков) составила 12,6%, у конкурирующих алгоритмов эта ошибка составила 17,2% у алгоритма полиномиальной аппроксимации, 17,4% у линейной интерполяции, 19,1% у фильтров Савицкого-Голэя, 19,5% - скользящее среднее, 139,9% - сплайновая интерполяция, 156,2% - фильтры Калмана.

Стоит отметить возможность использования в фреймворке временных рядов, полученных, например, из соседних ячеек полей реанализа, в качестве дополнительных предикторов. Если временные ряды из соседних ячеек имеют взаимосвязь, то качество восстановления данных возрастет.

Для прогнозирования последовательности значений на исходном и восстановленных рядах использовалась композитная модель на основе фреймворка FEDOT. Результаты сравнения точности прогнозов на оригинальных данных и на восстановленных временных рядах следующие. Для оригинального временного ряда MAPE прогноза составила 11,1%. Для прогноза на основе временного ряда, восстановленного при помощи композитной модели для заполнения пропусков - 11,2%, и таким образом величина отклонения ошибки от оригинала составила 0,1%. Для ряда, восстановленного линейной интерполяцией такое отклонение составило 0,5%, для скользящего среднего - 0,7%, для полиномиальной аппроксимации - 1,3%, для интерполяции сплайнами - 2,5%, для фильтров Калмана - 6,2%.

Таким образом, в результате проделанной работы была показана эффективность применения методов автоматического машинного обучения для задачи заполнения пропусков во временных рядах на примере данных спутниковой альтиметрии.

Список литературы

1) Д.Е. Плотников, Т.С. Миклашевич, С.А. Барталёв, Восстановление временных рядов данных дистанционных измерений методом полиномиальной аппроксимации в скользящем окне переменного размера // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса - Т. 11, № 2. 2014. С. 103-110.
2) Sarafanov M., Kazakov E., Nikitin N.O., Kalyuzhnaya A.V. A Machine Learning Approach for Remote Sensing Data Gap-Filling with Open-Source Implementation: An Example Regarding Land Surface Temperature, Surface Albedo and NDVI // Remote Sensing. - 12.- 2020. С. 3865.
3) Nikitin N.O., Polonskaia I.S., Vychuzhanin P., Barabanova I.V., Kalyuzhnaya A.V. Structural Evolutionary Learning for Composite Classification Models // Procedia computer science. – V. 178. 2020. С. 414-423.
4) Taburet G., Sanchez-Roman A., Ballarotta M., Pujol I., Legeais J.-F., Fournier F. Faugere Y., Dibarboure G. DUACS DT2018: 25 years of reprocessed sea level altimetry products // Ocean Science. - 15. 2019. С. 1207-1224.

ОСОБЕННОСТИ ПОЛЯ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН НА РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ ШЕЛЬФА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Свергун Е.И.[1,2], **Зимин А.В.**[1,2]

[1] *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва*

[2] *Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург*

egor-svergun@yandex.ru

Ключевые слова: короткопериодные внутренние волны, радиолокационные изображения морской поверхности, Баренцево море, поверхностные проявления, Курило-Камчатский регион, шельф

Короткопериодные внутренние волны (КВВ) с периодами от единиц до десятков минут и длинами от сотен метров до единиц километров - явление, повсеместно распространенное в Мировом океане. В основном КВВ приурочены к шельфовым областям [1]. Известно, что характер распространения внутренних волн определяется уклоном дна на шельфе [2]: в зависимости от соотношения уклона дна и геометрических характеристик волны, последняя может либо распространяться со сменой полярности, либо обрушаться. Таким образом, уклон дна в области шельфа определяет особенности поля КВВ. В данной работе производится сравнение особенностей поля КВВ на различных типах шельфа: в Баренцевом море, где уклоны дна незначительны; и в Курило-Камчатском регионе, включающем в себя акваторию близ Курильских островов и тихоокеанскую акваторию Камчатского полуострова, где имеют место протяженные значительные уклоны дна в области шельфа. Научная новизна работы заключается в том, что впервые исследуются характеристики поверхностных проявлений КВВ на различных типах шельфа.

Для определения характеристик КВВ на исследуемых акваториях используются РЛИ Sentinel 1 (A, B) в C-диапазоне с режимами съемки IW и EW с разрешением 20 и 40 метров, соответственно, охватывающие период с 1 июня 2019 года по 31 августа 2019 года. Всего за рассматриваемый период используется 1148 РЛИ, из них 205 приходится на Курило-Камчатский регион, 943 - на Баренцево море. Поверхностные проявления КВВ представляют собой пакеты чередующихся дугообразных светлых и темных полос. Для поверхностных проявлений КВВ определяются: положение проявления, длина волны, длина дуги лидирующего гребня в пакете, направление распространения, количество волн в пакете.

В Баренцевом море было зарегистрировано 541 проявление КВВ, а в Курило-Камчатском регионе - 927. Максимальное число проявлений в Баренцевом море зарегистрировано в первой половине августа, а в Курило-Камчатском регионе - во второй половине июля. Несмотря на существенное различие в топографии дна регионов, а также в количестве покрывающих регионы РЛИ, геометрические характеристики проявлений весьма схожи: проявления содержали от 3 до 18 волн в пакете с длиной волны от 70 до 1900 метров, имели длину лидирующего гребня от 2 до 70 км. Существенное различие заключается в пространственных особенностях поля зарегистрированных проявлений: в Баренцевом море проявления КВВ регистрируются в ограниченных областях в прибрежной зоне, а в Курило-Камчатском регионе - практически повсеместно вдоль побережья Камчатского полуострова и Курильской гряды. Установлено, что областям регистрации проявлений КВВ в Баренцевом море соответствуют области интенсивного приливного перемешивания по данным математического моделирования [3], в то время как в Курило-Камчатском регионе проявления КВВ наблюдаются далеко за пределами таких областей, расположенных, к примеру, около пролива Буссоль [4]. Вероятнее всего это связано с тем, что в Баренцевом море выше критической широты внутренний прилив не может свободно распространяться и диссипирует непосредственно в областях неоднородностей донной топографии, а в Курило-Камчатском регионе, согласно [1], отраженный от материкового склона внутренний прилив может распадаться на КВВ на значительном расстоянии от зоны шельфа.

В работе на основе анализа результатов спутниковых радиолокационных наблюдений выявлены особенности поля проявлений КВВ на различных типах шельфа. При общности геометрических характеристик, таких как длина волны и длина лидирующего гребня, на широком пологом шельфе Баренцева моря проявления КВВ регистрируются только в ограниченных областях, связанных с интенсивным приливным перемешиванием, а на узком шельфе Курило-Камчатского региона - повсеместно, в том числе и на значительном расстоянии от таких областей.

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ №20-35-90054 Аспиранты

Список литературы

1) Сабинин К.Д., Серебряный А.Н. Горячие точки в поле внутренних волн в океане // Акуст. журн. 2007. Т. 53. № 3. С. 410–436.

2) Terletska K. , Choi B. H., Maderich V., Talipova T. Classification of internal waves shoaling over slope-shelf topography // Russian Journal of Earth Sciences, Vol. 20, ES4002.

3) Каган Б.А., Софьина Е.В., Тимофеев А.А. Сравнение пространственных распределений диссипации бароклинной приливной энергии и коэффициента диапикнической диффузии в Баренцевом и Карском морях в целях изучения приливных изменений региональных климатов морских систем // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2017. Т. 10. № 2. С. 5-12.

4) Nakamura T., Awaji T. Tidally induced diapycnal mixing in the Kuril Straits and its role in water transformation and transport: A three-dimensional nonhydrostatic model experiment. J. Geophys. Res. 2004. Vol. 109.

ПРОЯВЛЕНИЯ ВНУТРЕННИХ ВОЛН ВТОРОЙ МОДЫ В МОРЯХ РОССИИ ПО ДАННЫМ КОНТАКТНЫХ И СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Свергун Е.И.[1,2], **Зимин А.В.**[1,2]

[1] *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва*

[2] *Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург*

egor-svergun@yandex.ru

Ключевые слова: короткопериодные внутренние волны, вторая мода, радиолокационные изображения морской поверхности, Баренцево море, Белое море, Черное море, Курило-Камчатский регион, поверхностные проявления.

По современным представлениям в Мировом океане доминирует внутреннее волнение первой моды [1]. Наряду с этим, существование внутреннего волнения второй моды было доказано сначала теоретически, а затем современные данные судовых наблюдений подтвердили теоретические представления в различных районах Мирового океана [2, 3]. Известны также случаи проявления внутренних волн (ВВ) второй моды на космических радиолокационных изображениях морской поверхности [4]. Проявления ВВ второй моды были зарегистрированы вблизи российского побережья Черного моря [5]. В остальных морях России случаи регистрации случаи регистрации ВВ второй моды неизвестны. В данной работе обсуждаются короткопериодные внутренние волны (КВВ) второй моды, зарегистрированные летом 2016 года в Черном море, а также впервые рассматриваются характеристики проявлений КВВ второй моды в данных контактных и спутниковых наблюдений в Белом, и Баренцевом морях, а также в Авачинском заливе Тихого океана.

Материалами для данной работы служат высокоразрешающие записи колебаний температуры, полученные в ходе экспедиционных исследований при помощи CTD-зондов SBE 25 (США), CTD90M (Германия), CastAway (США), а также гирлянды из 40 температурных датчиков PME (Великобритания). Измерения выполнялись в Белом море в летний период 2009-2014 годов, в Черном море в июне 2016 года, в Баренцевом море в августе 2016 года, а также в Авачинском заливе Тихого океана в сентябре 2018 года. Продолжительность непрерывных записей варьируется от 6 до 18 часов. На записях колебаний температуры проявления второй моды ВВ детектировались как противофазные по вертикали колебания, выделяющиеся на фоне синфазных ВВ. Для колебаний второй моды определялись высота и период.

Для детектирования поверхностных проявлений ВВ второй моды использованы радиолокационные изображения (РЛИ) Sentinel 1 (A, B) в C-диапазоне с режимами съемки IW и EW с разрешением 20 и 40 метров, соответственно, охватывающие период экспедиционных исследований в Черном и Баренцевом морях, а также близ мыса Шипунский. В работе использовано более 30 РЛИ. ВВ второй моды проявляются на РЛИ как пакеты чередующихся дугообразных полос. Если для проявлений ВВ первой моды характерно чередование светлых и темных полос, то проявления ВВ второй моды инвертированы, лидирующему гребню соответствует темная полоса. Для поверхностных проявлений ВВ второй моды определяются: положение проявления, длина волны, длина дуги лидирующего гребня в пакете, направление распространения, количество волн в пакете.

Во всех районах проведения экспедиционных исследований зарегистрированы проявления ВВ второй моды в виде одиночных колебаний, или групп из 2-3 колебаний. В соответствии с классификацией [6], все зарегистрированные ВВ второй моды являются выпуклыми, то есть верхний слой смещается вверх, а нижний - вниз. Период колебаний во всех районах имеет схожие значения и варьируется от 10 до 30 минут. Минимальная высота КВВ второй моды наблюдается в Черном море и составляет около 2 метров. Волны с максимальной высотой в 6 метров регистрируются в Западной Соловецкой Салме Белого моря. Было рассчитано отношение в процентах

времени наблюдения КВВ второй моды к общему времени наблюдения всех КВВ на каждом полигоне - перемежаемость КВВ второй моды. Минимальное значение перемежаемости наблюдается на полигоне в проливе Горло Белого моря и составляет 0,5%, а максимальное - в Черном море (5%). Высокая перемежаемость ВВ второй моды в Черном море обусловлена тем, что суммарная продолжительность записей в Черном море минимальна и составляет 800 минут, из которых 46 минут регистрируются ВВ второй моды. Расчет перемежаемости показал, что даже на достаточно продолжительных по времени записях КВВ второй моды проявляются редко.

По результатам анализа РЛИ было детектировано только 2 поверхностных проявления ВВ второй моды в Баренцевом море. Проявления имеют в среднем длину лидирующего гребня около 20 км, длину волны около 700 метров.

По результатам анализа данных экспедиционных исследований прошлых лет впервые зарегистрированы проявления ВВ второй моды и получены их характеристики в Белом и Баренцевом морях, на акватории близ тихоокеанского побережья Камчатского полуострова. На РЛИ Баренцева моря удалось зарегистрировать поверхностные проявления ВВ второй моды. Дальнейшие усилия авторов будут направлены на выявление источников генерации зарегистрированных проявлений.

Данная работа выполнена в рамках государственного задания № 0128-2021-0014 и при поддержке гранта РФФИ №20-35-90054 Аспиранты

Список литературы

1) Сабинин К.Д., Серебряный А.Н. Горячие точки в поле внутренних волн в океане // Акуст. журн. 2007. Т. 53. № 3. С. 410–436.

2) Yang Y.J., Fang Y.Ch., Chang M.H., Ramp S.R., Kao Ch.Ch., Tang T.Y. Observations of second baroclinic mode internal solitary waves on the continental slope of the northern South China Sea // Journal of Geophysical Research. 2009. V. 114. C10003.

3) Konyaev K.V., Sabinin K.D., Serebryany A.N. Large amplitude internal waves at the Mascarene Ridge in the Indian Ocean // Deep Sea Res. I. 1995. V. 42. P. 2075– 2091.

4) Серебряный А.Н. Внутренние волны 2-ой моды: особенности их проявлений на поверхности моря доклада // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции с международным участием «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 ноября. 2020. ИКИ РАН, 2020.

5) Серебряный А.Н., Химченко Е.Е. Внутренние волны второй моды в Чёрном море // Доклады Академии наук. 2019. Т. 488. № 5. С. 555-559.

6) Yang, Y. J., Fang, Y. C., Tang, T. Y., and Ramp, S. R.: Convex and concave types of second baroclinic mode internal solitary waves, Nonlin. Processes Geophys., 17, 605–614.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОД АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО БАССЕЙНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОЦЕДУРЫ ДВУНАПРАВЛЕННОГО НЕСТИНГА

Сендеров М.В., Мизюк А.И.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

senderovmaxim@gmail.com

Ключевые слова: численное моделирование, Черное море, высокое пространственное разрешение, нестинг.

В данной работе была адаптирована процедура двунаправленного нестинга, что позволило изучить прибрежную динамику и субмезомасштабные вихри.

При использовании нестинга, предполагается использование двух (или более) сеток: бассейновой (родительской, глобальной), имеющей относительно грубое пространственное разрешение, и вложенной(-ых) (дочерней, локальной) сетки с пространственным шагом, кратным шагу бассейновой [1]. При этом численные расчеты на дочерней сетке выполняются с шагом по времени, также кратным временному шагу родительской. Вдоль границы вложенной сетки определяется область так называемых «мнимых ячеек». Она служит для определения граничных условий (ГУ) на открытой границе. Процедура может быть однонапрвленной, если обмен результатам между доменами происходит в одну сторону (от глобального к локальному) или двунаправленной, если обмен происходит в обе стороны(от глобального к локальному и обратно) [2, 3]. Для создания сетки «дочернего» домена в данной работе использовалось программное обеспечение AGRIF (Adaptive Grid Refinement in Fortran) [1, 4].

Для адаптации процедуры двунаправленного нестинга был проведен численный эксперимент, где в качестве «родительского» домена использовалась глобальная конфигурация, описанная в работе [5], с пространственным разрешением 1/24 градуса, а в качестве «дочернего» был выбран домен с пространственным разрешением 1/72 градуса (коэффициент 3 для шага «родительского домена»), аналогичный конфигурации из [6] (эксперимент 2, «родительский домена»- 2a, «дочерний домен» - 2b). Результаты этого эксперимента сравнивались с проведенными ранее экспериментами для глобальной конфигурации [5] и региональной (эксперименты 1 и эксперимент 3 соответственно). Так как региональная конфигурация представляет собой вложенный домен, то необходимо задавать граничные условия на жидких боковых границах. Поэтому в эксперименте 3 использовались следующие схемы для граничных условий, для температуры, солености и бароклинных скоростей была выбрана схема релаксации потоков, а для уровня - схема Флетэра. Все расчеты выполнялись с 1 января 2008 года по 31 ноября 2008 года.

Во всех проведенных экспериментах воспроизводядтся основные особенности, характерные для выбранного региона исследования. В частности, проникновение азовоморских вод в черноморский бассейн и их запирание в Феодосийском заливе. Эти процессы хорошо проявляются в полях поверхностной температуры и солености. Поверхностная соленость отличается как в региональных конфигурациях (эксперименты 3 и 2b), так и в глобальных (эксперименты 1 и 2a). До середины мая в эксперименте 2a и 1 поля достаточно близки, но дальше они начинают значительно отличаться.

Анализируя кинетическую энергию (КЭ), следует отметить, что в расчете 2 значения КЭ выше чем в экспериментах 1 и 3. Также видно, что значения энергии в «родительском домене» и «дочернем домене» близки (из-за работы двунаправленного нестинга), но из-за увеличенного пространственного разрешения «дочернего домена» на протяжении нескольких месяцев КЭ больше.

Сравнивая вихревую кинетическую энергию, видно, что в эксперименте с двунаправленным нестингом вихри более интенсивные, чем в эксперименте 3. Также значительные отличия в вихревой КЭ видны между расчетами 1 и 3, что является следствием увеличения пространственного

разрешения. Видно, что начиная с середины мая в эксперименте 2a происходит увеличение вихревой КЭ по сравнению с первым экспериментом. Стоит отметить увеличение значений энергии под конец расчетного периода в эксперименте 2 по сравнению с другими расчетами (эксперименты 1 и 3).

Изучая пространственное распределение вихревой КЭ, видно, что в экспериментах с высоким пространственным разрешением (3 и 2b) воспроизводится большее число мезомасштабных вихрей и они более интенсивны, чем в расчетах глобальных конфигураций (эксперименты 1 и 2a). В большей степени оличия вихревой КЭ наблюдаются в прибрежной зоне и в местах меандрирования основного черноморского течения.

В данной работе была адаптирована процедура двунаправленного нестинга. Результаты численного моделирования в эксперименте 2 показали увеличение интенсивности вихрей в прибрежной зоне. Также использование этой процедуры позволило улучшить качество воспроизводимых термохалинных полей в «родительском домене».

Работа выполнена по теме гос. задания № 0555-2019-0002 «Междисциплинарное численное моделирование и высокопроизводительные вычисления».

Список литературы

1) Laurent Debreu, Christophe Vouland, Eric Blayo. AGRIF: Adaptive Grid Refinement in Fortran // Computers & Geosciences, Elsevier. – 2008. – Vol 34. – Iss. 1. – pp. 8-13.

2) Jorge Urrego-Blanco, Jinyu Sheng, Frédéric Dupont Performance of One-Way and Two-Way Nesting Techniques Using the Shelf Circulation Modelling System for the Eastern Canadian Shelf // Atmosphere-Ocean. – 2016. – Vol 54. – Iss. 1. – pp. 75-92.

3) Sheng J., Greatbatch R. J., Zhai X. et al. A new two-way nesting technique for ocean modeling based on the smoothed semi-prognostic method // Ocean Dynamics. – 2005, – Vol 55. – Iss. 3-4. – pp. 162–177.

4) Madec G. and NEMO System Team NEMO ocean engine // Scientific Notes of Climate Modelling Center. Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL). – 2016. – Iss. 27. – P. 412.

5) Мизюк А.И., Коротаев Г.К., Григорьев А.В., Пузина О.С., Лишаев П.Н. Долгопериодная изменчивость термохалинных характеристик Азовского моря на основе численной вихреразрешающей модели // Морской гидрофизический журнал. – 2019. – № 5. – С. 496 – 510.

6) Senderov M.V. The impact of different types of open boundary conditions in numerical simulation of the Black Sea coastal circulation // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 386, conference 1. – 012024.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛЬДА НА ВЕТРО-ВОЛНОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В УСЛОВИЯХ ЛАБОРАТОРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Сергеев Д.А., Кандауров А.А.,Троицкая Ю.И.

Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород

kimo2021@mail.ru

Ключевые слова: лед, волнение, ветер, лабораторное моделирование

В последнее десятилетие освоение полярных зон мирового океана приобретает все более важное значение, с точки зрения добычи полезных ископаемых на шельфе (в первую очередь нефти и газа), а также морского транспорта (северный морской путь). Именно в Арктике отмечается наибольшее расхождение между результатами прогноза моделей метеорологической обстановки и ветрового волнения с данными наблюдений. Расхождения особенности велики в районах прикромочной зоны морского льда [1]. Поэтому разрабатываются численные модели, использующие в качестве граничных условий на морской поверхности параметрические зависимости потоков импульса, тепла, влаги, учитывающие влияние ледяного покрова. Например, в текущей версии программы WAVEWATCH III возможен учет влияния льда посредством подключения параметризаций, описывающих затухание волн под его действием (IC) (см. [2]), а для моделирования атмосферных явлений в полярных условиях создана модификация мезомасштабной модели атмосферной циркуляции WRF-ARW: Polar-WRF (см [3]). Используемые в них параметризации базируются главным образом на эмпирических данных, качество которых, в конечном счете, влияет на качество прогноза. Детальное исследование влияния льда на процессы ветро-волнового взаимодействия в натурных условиях сильно затруднены, в особенности для формирующегося льда, в том числе pancake или блинчатый (этот тип льда является весьма распространенным и исследуемым см. например [4,5]). Хорошей альтернативой здесь является проведение лабораторных экспериментов. Ранее выполнялись лишь исследования влияния плавучего льда на эволюцию волнения, которое генерировалось волнопродукторами, эксперименты выполнялись на прямых бассейнах ограниченной длинны (см [6, 7]). Исследований в котором волнение на поверхности воды, где присутствовал настоящий или искусственный лед, индуцировалось бы воздушным потоком, по нашим сведениям еще не проводилось. В настоящей работе представлены предварительные результаты исследований выполненных на кольцевом ветроволновом канале AELOTRON университета Гейдельберга. На канале сечением воздушного потока 0.6×1.4 м, глубина налитой воды 1 м, радиус 5 м. впервые было смоделировано взаимодействие ветра с водной поверхностью в присутствии элементов искусственного льда, в качестве которых использовались шайбы из резины диаметром 7 см и толщиной 1 см плотностью около 0.8 кг/м^3. В условиях постоянно присутствующих на поверхности твердых элементов льда нельзя было использовать контактные струнные волнографы. Поэтому измерения возвышения взволнованной поверхности выполнялись с помощью лазерного волнографа с частотой до 100 Гц. При этом в записях проводилась фильтрация участков записей (изображений), соответствующих прохождению шайб через лазерный луч волнографа. Измерения выполнялись на чистой воде и при трех концентрациях искусственного льда максимальной, 2/3 от максимальной, 1/3 от максимальной. При максимальной концентрации лед покрывал около половины поверхности. Измерения проводились в диапазоне частот вращения вентилятора канала от 16 до 28 Гц, что соответствовало диапазон эквивалентных скоростей ветра U10 от 7 до 16 м/с. Исследования проводились следующим образом, вначале на минимально допустимой скорости воздушного потока (частота вентилятора 6 Гц) проводился равномерный засев искусственным льдом. Затем скорость скачкообразно увеличивалась до нужной величины. Если в условиях для чистой воды во всем диапазоне устанавливаемых скоростей ветра наблюдался постепенный выход на стационарное состояние волнения (чем больше скорость тем больше времени, от 1 до 6 минут), то в присутствии льда картина эволюции в зависимости от скорости ветра и концентрации

сильно различалась. Был получен пороговый характер возбуждения длинных волн (длина много больше среднего размера элементов льда и расстояния между ними). Т.е. при фиксированной концентрации льда до определенных скоростей развитие длинных волн не наблюдалось при сколь угодно долгом ожидании. При установлении скорости выше порогового значения, вначале общая картина волнения была похожа для условий слабого ветра, однако по прошествии определенного времени происходило спонтанное развитие длинных волн и ситуация приближалась к условиям чистой воды (параметры волнения оказывались близкими). Чем выше плотность, тем выше был порог по скорости.

Работа выполнена при поддержке РФФИ проект № 18-05-60299 - Арктика.

Список литературы

1) Tjernstrom M., Zagar M., Svensson G. et al. Modelling the arctic boundary layer: An evaluation of six arcmip regional-scale models using data from the Sheba project // Boundary-Layer Meteorology. 2005. V. 117, No. 2. P. 337-381

2) Rogers W. E., Zieger S. New Wave-Ice Interaction Physics in WAVEWATCH III // Proceedings 22nd IAHR International Symposium on Ice. Singapore. 2014.

3) http://polarmet.osu.edu/PWRF

4) Wadhams P. Ice in the Ocean. CRC Press. 2000. 364 p.

5) Wilkinson J. P. Ice dynamics in the central Greenland Sea //Journal of Geophysical Research. 2007. V.111. C12022.

6) Martin S., Kauffman P. A field and laboratory study of wave damping by grease ice, Journal of Glaciology. 1981. V. 27. P. 283-313.

7) Newyear K., Martin S. A comparison of theory and laboratory measurements of wave propagation and attenuation in grease ice // Journal of Geophysical Research. 1997. V. 102. 25091–25100.

ВЗАИМОСВЯЗИ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГИДРОФИЗИЧЕСКОГО РЕЖИМА МИРОВОГО ОКЕАНА И ГЛОБАЛЬНОЙ АТМОСФЕРНОЙ ОСЦИЛЛЯЦИИ

Серых И.В.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

iserykh@gmail.ru

Ключевые слова: прогноз Эль-Ниньо, Индоокеанский диполь, температура, соленость, дальние связи, чандлеровское колебание, Полюсные приливы, влияние внешних сил.

Исследовано, имеются ли в Тихом, Индийском и Атлантическом океанах крупномасштабные структуры пространственных и временных вариаций температуры и солености воды, которые являются аналогичными структуре Глобальной атмосферной осцилляции (ГАО) [1, 2]. Для этого проанализированы ставшие доступными лишь недавно данные ECCO-V4r4 и GECCO2 о распределении температуры и солености в толщах этих океанов. Найдено, что такая аналогичность действительно имеет место. Вариации температуры воды в диапазоне временных масштабов от года до примерно десятилетия оказались синхронными с соответствующими вариациями приповерхностной температуры над акваториями океанов, свойственными ГАО.

ГАО была найдена как сопутствующая чередованию Эль-Ниньо и Ла-Нинья в динамике океана и атмосферы в приэкваториальной полосе Тихого океана. Оказалось, что формально очень небольшие отклонения оси вращении Земли от ее номинального положения (чандлеровское колебание полюсов и лунно-солнечная нутация), а также очень небольшие периодические изменения солнечной активности, заметно воздействуют на динамику глобальной климатической системы [3-5]. Эти воздействия осуществляются таким образом, что самые разнородные процессы, происходящие в районах Земли, зачастую весьма удаленных друг от друга, синхронизируются между собой и с процессами Эль-Ниньо - Южного Колебания во временном масштабе от двух до примерно восьми лет.

Было предположено, что так называемый Полюсный прилив, возбуждаемый чандлеровским колебанием оси вращения Земли (главный период равен примерно 1.2 года), отражаясь от тихоокеанских берегов Северной Америки, трансформируется в прибойную волну. Эта волна, в силу конфигурации тихоокеанского побережья Северной Америки, распространяется в сторону Панамского перешейка. Там она приводит в движение в сторону экватора очень теплую поверхностную воду, которая всегда существует у побережья Панамского перешейка. Если в это же время (осенью северного полушария) Зона Внутритропической Конвергенции начинает смещаться в сторону экватора, то масса приводимых в движение теплых вод оказывается столь велика, что возникают положительные аномалии температуры воды у поверхности, характерные для Эль-Ниньо.

Полюсные приливы распространяются с запада на восток противофазно в обоих полушариях и не только в океанах, но и в атмосфере. Потенциально они способны влиять на все крупномасштабные процессы, происходящие в глобальной климатической системе не только в тропиках, но и во внетропических широтах. Однако каковы механизмы таких воздействий было неизвестно до тех пор пока не было показано [3], как отраженная волна северотихоокеанского Полюсного прилива способствует возникновению Эль-Ниньо.

В данной работе продемонстрировано, что вариации температуры воды в приэкваториальной зоне Тихого океана на глубинах до примерно 150 метров ведут себя так же, как вариации уровня моря и температуры водной поверхности. На глубинах от 150 до примерно 1000 метров вариации температуры воды обнаруживают «полосчатую» структуру, не свойственную ГАО. Но общее подобие между вариациями температуры водной поверхности при ГАО и вариациями температуры воды на больших глубинах сохраняется.

Вариации температуры воды распространяются с востока на запад вдоль экватора. Одним из периодов этого восточно - западного распространения является период в 14 месяцев. Это позволяет думать, что это распространение управляется Полюсными приливами, которые, в свою очередь, вызываются чандлеровским колебанием полюсов Земли. Поверхностный северотихоокеанский Полюсный прилив был найден ранее ответственным за возбуждение Эль-Ниньо в Тихом океане [3]. Глубинные Полюсные приливы в южной Атлантике и Южном Индийском океане, по-видимому, являются триггерами атлантического Эль-Ниньо и так называемого Индоокеанского Диполя (ИД) соответственно. При этом противофазное поведение ИД и тихоокеанского Эль-Ниньо можно объяснить 180-градусной разницей в долготах этих феноменов.

Основываясь на западно-восточном распространении Полюсных приливов и ГОА предложен индекс-предиктор для прогноза Эль-Ниньо и Ла-Нинья с заблаговременностью в 12 месяцев [6]. С помощью кросс-вейвлетного анализа выявлен диапазон временных масштабов (2-7 лет), внутри которого имеют место их наиболее тесные взаимосвязи.

Список литературы

1) Serykh I.V., Sonechkin D.M., Byshev V.I., Neiman V.G., Romanov Yu.A. Global Atmospheric Oscillation: An Integrity of ENSO and Extratropical Teleconnections // Pure and Applied Geophysics. 2019. Vol. 176. No. 8. pp 3737–3755.
2) Serykh I.V., Sonechkin D.M. Interrelations between temperature variations in oceanic depths and the Global atmospheric oscillation // Pure and Applied Geophysics. 2020. Vol. 177. No. 12. pp 5951–5967.
3) Serykh I.V., Sonechkin D.M. Nonchaotic and globally synchronized short-term climatic variations and their origin // Theoretical and Applied Climatology. 2019. Vol. 137. No. 3-4. pp 2639–2656.
4) Серых И.В., Сонечкин Д.М. Сопоставление временных энергетических спектров индексов Эль-Ниньо – Южного колебания и глобальных полей температуры и атмосферного давления в приповерхностном слое // Фундаментальная и прикладная климатология. 2017. Т. 2. С. 144-155.
5) Серых И.В., Сонечкин Д.М. Хаос и порядок в атмосферной динамике: Часть 1. Хаотические вариации погоды // Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. 2017. Т. 25. № 4. С. 4-22.
6) Вакуленко Н.В., Серых И.В., Сонечкин Д.М. Хаос и порядок в атмосферной динамике. Часть 3. Предсказуемость Эль-Ниньо // Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. 2018. Т. 26. № 4. С. 75-94.

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ ЯПОНСКОГО МОРЯ, ВЫЗВАННЫЕ ТАЙФУНАМИ МАЙСАК И ХАЙШЕН В СЕНТЯБРЕ 2020 Г.

Смирнова Д.А.[1], **Медведев И.П.**[2],[3], **Рабинович А.Б.**[2],[4], **Шепич Я.**[5]

[1]*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова*

[2]*Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

[3]*Институт прикладной геофизики имени Е.К. Федорова, г. Москва*

[4]*Институт наук об океане, Сидни, Британская Колумбия, Канада*

[5]*Институт океанографии и рыболовства, Сплит, Хорватия*

dasha@a-smirnov.com

Ключевые слова: тайфун, колебания уровня, инфрагравитационные волны, сейши, штормовые нагоны.

Со 2 по 9 сентября 2020 г. на побережье Японского моря обрушилось два сильных тайфуна, Майсак и Хайшен. Помимо сильного ветра и обильных осадков, причиной масштабных разрушений стали значительные колебания уровня моря. От тайфунов пострадало население Японии, Кореи и России, была нарушена связь между населенными пунктами, во Владивостоке сорвало плавучий док, северокорейское судно было выброшено на берег, а японское - унесено в море. Оба тайфуна двигались с юга через Корейский пролив в юго-западную часть Японского моря. Цель работы - исследовать колебания уровня моря, вызванные тайфунами Майсак и Хайшен.

Для анализа колебаний уровня были взяты минутные данные 11 станций: 7 российских (Владивосток, Находка, Посьет, Преображение, Рудная Пристань, Советская Гавань, Сосуново) [4] и 4 зарубежных (Нагасаки, Пусан, Сайго, Хамада) [5], за 3.5 месяца - с 1 июня по 16 сентября 2020 г. В каждом пункте изменения уровня имеют свои особенности из-за морфометрии бухт и заливов и из-за ослабления силы тайфунов по мере их перемещения. Степень защищенности самописцев уровня моря от волн центральной части акватории также влияет на характер данных о колебаниях уровня моря. В суммарных колебаниях уровня моря можно выделить несколько составляющих: инфрагрвитационные волны с периодом 3-5 минут, сейши с периодом несколько десятков минут [1] и штормовые нагоны с периодом от нескольких часов до полутора суток [2]. Приливная составляющая в ходе гармонического анализа исключалась и описывалась отдельно. Для сравнения по станциям были взяты основные гармоники: суточные O_1 и K_1 и полусуточные M_2, N_2 и S_2. Основная задача заключалась в обработке остаточных рядов данных, в которых была выделена высокочастотная составляющая и осредненный с помощью скользящего среднего низкочастотный ряд, представляющий собой штормовой нагон. Для каждого пункта были посчитаны статистические параметры (максимальное, минимальное и среднее значения, медиана и стандартное отклонение) для общего и для остаточного уровней, а также максимальные и минимальные значения для выделенных составляющих остаточного ряда для каждого тайфуна. На основе спектрального анализа посчитаны периоды основных собственных мод каждого залива или бухты. Wavelet-анализ позволил проследить изменение энергетических спектров во времени в течение 10 дней, во время которых побережье Японского моря испытывало воздействие тайфунов. Для выявления взаимосвязи между ветровыми и инфраграватационными волнами были использованы данные о высоте ветровых волн реанализа ERA 5 [3].

Основным результатом работы является разделение отдельных типов колебаний уровня моря и оценка их амплитудного и энергетического вклада в суммарные колебания в каждом пункте. При анализе следует учитывать, что на российском побережье моря влияние тайфунов наблюдалось на сутки позже, чем на корейском и японском. В Пусане зафиксировано резкое падение уровня после прохождения обоих тайфунов и штормовой нагон имеет продолжительность меньше суток, тогда как в Преображении и Рудной Пристани падение уровня, сопровождавшееся сильным высокочастотным колебанием, продолжалось дольше, чем подъем, и длительность нагона составляет

около полутора суток. В Нагасаки, как и во Владивостоке, хорошо прослеживаются сейши, которые усиливаются во время штормовых нагонов. В Посьете, Владивостоке и Рудной Пристани заметно явное понижение уровня моря перед вторым нагоном, вызванным тайфуном Хайшен. Высокочастотные колебания в Преображении и Рудной Пристани проявляются и в энергетических спектрах в виде «белого шума» для периодов меньше 10 минут. Между стандартным отклонением высокочастотной составляющей уровня в этих пунктах и высотой ветровых волн, взятых из реанализа ERA 5, прослеживается достаточно высокая корреляция - больше 0.8. Это говорит о прямом участии ветровых волн в формировании прибойных биений, вызванных инфрагравитационными волнами.

Таким образом, тайфуны сгенерировали спектр различных колебаний уровня в Японском море: штормовой нагон, сейши и инфрагравитационные волны. В каждом пункте колебания уровня имеют уникальный характер, определяемый морфометрией бухты или залива, удаленностью от траектории движения и силы тайфунов, рельефа дна и степени защищенности порта от волн открытого моря. Однако по общим закономерностям составляющих общего уровня можно выделить 4 группы, которые подчиняются географическому распределению, кроме одной, включающей в себя как российские станции, так и японскую (Хамада).

Список литературы

1) Рабинович А. Б. Длинные гравитационные волны в океане: захват, резонанс, излучение. – 1993.
2) Pugh D., Woodworth P. Sea-level science: understanding tides, surges, tsunamis and mean sea-level changes. – Cambridge University Press, 2014.
3) https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5 (Дата обращения: 07.11.2020)
4) http://rtws.ru/sea-level/ (Дата обращения: 16.09.2020)
5) http://www.ioc-sealevelmonitoring.org (Дата обращения: 16.09.2020)

АДВЕКТИВНЫЙ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОС ЧЕРЕЗ КАРСКОЕ МОРЕ

Соколов А.А.[1], **Иванов В.В.**[2]

[1]*Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург*
[2]*Московский государственный университет, г. Москва*

a.sokolov@aari.ru

Ключевые слова: Карское море, адвективный тепломассоперенос

В настоящее время циркуляция вод Арктического бассейна представляет наибольший интерес в изучении ледяного покрова Арктики. В работе проанализирован среднемноголетний (1993 - 2018) тепломассоперенос через Карское море на основе данных океанского реанализа Global Ocean Physics Reanalysis GLORYS12V1(GLOBAL_REANALYSIS_PHP_001_030) (URL: http://marine.copernicus.eu/). В работе представлены результаты анализа среднемноголетних интегральных переносов объема тепла и соли через проливы, соединяющие Карское море с сопредельными акваториями. Потоки характеристик рассчитывались по методике, описанной в работе [1]. Для оценки результатов среднемноголетних интегральных переносов объема тепла и соли через проливы соединяющее Карское море с сопредельными акваториями, было выполнено сравнение с ранее проведенными исследованиями других авторов [2]. Полученные результаты показывают высокую степень согласованности с приведенной выше статьёй.

В ходе статистического анализа интегральных потоков объема тепла и соли для всех проливов, соединяющих Карское море с сопредельными акваториями, было выявлено, что наиболее значительное поступление воды в Карское море происходит между Новой Землей и Землей Франца-Иосифа и составляет 1.65 Св (1 Св = 10^6 м^3/с). Основной сток из Карского моря происходит в Арктический бассейн через желоб Св. Анны (1.92 Св) и желоб Воронина (0.21 Св). В целом, за исследуемый интервал времени (1993-2018) средний многолетний приток воды в Карское море через западные проливы составляет 1.84 Св. Средний многолетний сток воды в северной и восточной частях Карского моря за этот же временной интервал составил 2.4 Св. Значимый положительный тренд в среднемесячной изменчивости потока воды (при уровне значимости 5%) отмечается для разрезов Карские Ворота, желоб Св. Анны и желоб Воронина. Для разрезов 4 и 5 наоборот, отмечается ослабление потоков. По оценкам тренда было установлено, что за 26 лет общий поток воды через западную границу Карского моря увеличился на 22% (от среднего значения), а через желоб Св. Анны - на 23%. Наиболее существенное усиление потока выявлено для пролива Карские ворота - 31%. В целом, усиление потока воды отмечается для всех проливов Карского моря.

Наибольшее поступление тепла в Карское море происходит через его западную границу. В проливе Карские ворота, среднемноголетний приток тепла составил 1.59 ТВт, тогда как через границу между Новой Землей и землей Франца-Иосифа эта величина примерно в 4 раза больше, 8.56 ТВт. Основной сток тепла отмечается в желобе Св. Анны с величиной -8.06 ТВт. Наименьший среднемноголетний сток тепла наблюдается в желобе Воронина -0.18 ТВт. По оценкам тренда оказалось, что за 26 лет поток тепла, проходящий через западную границу Карского моря, в проливе между Новой Землей и ЗФИ возрос на 51%, в желобе Св. Анны - на 41%. Увеличение потока тепла также отмечается в проливе Вилькицкого - на 38%., тогда как в желобе Воронина, наоборот, произошло ослабление потока на 28%.

Среднемноголетний перенос соли в Карское море имеет наибольшее значение через границу Новой Земли и Земли Франца Иосифа и составляет 59.52 x 10^6 кг/с. Сток соли из Карского моря в Арктический бассейн СЛО через желоба Св. Анны и Воронина, составил -76.64 x 10^6 кг/с, в проливе Вилькицкого поток соли составил -9.28 x 10^6 кг/с. По оценкам тренда оказалось, что за 26 лет поток соли через западную границу Карского моря в проливе между Новой Землей и Землей Франца Иосифа увеличился на 22%, а в желобе Св. Анны - на 23%. Наибольшее возрастание

потока соли отмечается в проливе Карские ворота - на 31 %. Указанные тенденции могут свидетельствовать о том, что в течение 26 лет произошло усиление Нордкапского течения, которое оказывает влияние на распределение температуры и солености воды в проливе Карские Ворота [3].

Наиболее значимая внутригодовая изменчивость потока тепла отмечается в западной части Карского моря в проливе Карские ворота, а также в проливе между Землей Франца-Иосифа и Новая Земля и в желобе Св. Анны. В проливе Вилькицкого и в желобе Воронина также присутствует внутригодовая изменчивость, но в меньшей степени. Поток тепла между Землей Франца-Иосифа и Новой Землей увеличивается в апреле достигает максимума в сентябре. В желобе Святой Анны указанные фазы запаздывают на 2 месяца. В проливе Карские ворота поток начинает увеличиваться в мае и достигает максимума в октябре. Данная тенденция изменения внутригодового хода потока тепла определяется как скоростью течений, так и температурой воды.

Список литературы

1 Heat, salt, and volume transports in the eastern Eurasian Basin of the Arctic Ocean from 2 years of mooring observations / A. V. Pnyushkov [et al.] // Ocean Science. – 2018. – Vol. 14. – № 6. – P. 1349-1371.

2 On climatological mass, heat, and salt transports through the Barents Sea and Fram strait from a pan-Arctic coupled ice-ocean model simulation / W. Maslowski [et al.] // Journal of Geophysical Research: Oceans. – 2004. – Vol. 109. – № 3.

3 Соколов А.А., Гордеева С.М. Изменение адвекции тепла в Баренцевом море// Российская Арктика 2019, № 4. С.34-44.

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА НА ИЗМЕНЧИВОСТЬ ДАТ ПОЛНОГО ОЧИЩЕНИЯ ОТО ЛЬДА В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ

Сумкина А.А. [1,2], **Иванов В.В.** [2,3], **Киввa К.К.** [1]

[1] *ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», г. Москва*

[2] *МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва*

[3] *ФГБУ «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт», г. Санкт-Петербург*

alexandrasumkina@gmail.com

Ключевые слова: морской лед, Арктика, даты полного очищения ото льда, изменение климата

Баренцево море является одним из важнейших районов мониторинга климатических изменений в Арктике [1]. За последние 40 лет в Арктике, в частности, в Баренцевом море (БМ) наблюдаются значительные изменения. Среднее положение кромки морского льда в восточной части Баренцева моря за последние три десятилетия отступило примерно на 240 км, а максимальная площадь льда достигла самых низких уровней за последние 60 лет [6]. Ежегодно сокращается продолжительность ледового сезона на акватории Баренцева моря [1, 6]. Основными факторами, воздействующими на межгодовые изменения концентрации морского льда и даты полного очищения ото льда (ДПО) являются изменчивость теплового баланса на поверхности океана и адвекция тепла Атлантической водой. Ранее нами проводилась оценка влияния адвекция тепла в океане на ДПО. В данном исследовании проводится изучение влияния теплового баланса на ДПО.

В исследовании использованы данные о концентрации льда Climate Data Record (CDR) NOAA/NSIDC [4] с 1979 по 2019 гг. Данные на полярной стереографической сетке с горизонтальным разрешением 25 км, имеют суточную дискретность. Для удаления синоптической изменчивости исходный массив сглажен 7-дневным скользящим средним. Использован подход порогового значения [5], однако в нашем исследовании ДПО в заданный год в каждом узле сетки определен как день с концентрацией льда ниже 15 %, после которого продолжительность периода с концентрацией льда менее 15 % была наибольшей. Тепловой баланс (ТБ) рассчитан на основании часовых данных ERA-5 [3] с горизонтальным разрешением 25 км с 1979 по 2019 гг. Для расчета ТБ использовалось 4 параметра: явный поток тепла (surface sensible heat flux), скрытый поток тепла (surface latent heat flux), длинноволновая радиация (surface net thermal radiation), коротковолновая радиация (surface net solar radiation). Для дальнейшего анализа использовались среднесуточные данные ТБ.

Был выполнен кластерный анализ на основании данных ДПО. С помощью метода кластерного анализа HDBSCAN [2], который сгруппировал узлы сетки за 1979-2008 гг. (30 значений). Анализ выполнялся для узлов, где за выбранный период было не менее 15 лет со значениями ДПО. Проводились численные эксперименты с указанием различных параметров HDBSCAN [2]. В зависимости от изменения параметров HDBSCAN меняется количество кластеров и их границы. Финальный вариант выбран таким образом, чтобы полученные группы отражали географические особенности акватории.

В результате, выделено 6 районов с однородной динамикой ДПО, которые находятся в центральной, северной и восточной частях акватории Баренцева моря. Рассчитан средний по пространству тепловой баланс для каждого из выделенных районов. Для северного района, находящегося между арх. Шпицбергеном и арх. Землей Франца-Иосифа (ЗФИ), заметно возрастание отрицательных значений с 2007 г. С 2005 г. наблюдается полное освобождение ото льда в апрелемае, тогда как до 2005 г. полное освобождение ото льда происходило в июле-августе.

Список литературы

1) Arthun M. Dense water formation and circulation in the Barents Sea / M. Arthun, R.B. Ingvaldsen, L.H. Smedsrud [et al.] // Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers. – 2011. – Vol. 58. – № 8. – P. 801-817.

2) Campello R.J.G.B., Moulavi D., Sander J. (2013) Density-Based Clustering Based on Hierarchical Density Estimates. In: Pei J., Tseng V.S., Cao L., Motoda H., Xu G. (eds) Advances in Knowledge Discovery and Data Mining. PAKDD 2013. Lecture Notes in Computer Science, vol 7819. Springer, Berlin, Heidelberg

3) Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Rozum, I., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Dee, D., Thépaut, J-N. (2018): ERA5 hourly data on single levels from 1979 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). (Accessed on < DD-MMM-YYYY >), 10.24381/cds.adbb2d47 (дата обращения: 20.10.2020)

4) Meier W. N., F. Fetterer, M. Savoie, S. Mallory, R. Duerr, and J. Stroeve. 2017. NOAA/NSIDC Climate Data Record of Passive Microwave Sea Ice Concentration, Version 3. Boulder, Colorado USA. NSIDC: National Snow and Ice Data Center. doi: https://doi.org/10.7265/N59P2ZTG.

5) Peng G., Steele M., Bliss A.C., Meier W.N., Dickinson S. Temporal Means and Variability of Arctic Sea Ice Melt and Freeze Season Climate Indicators Using a Satellite Climate Data Record. Remote Sens. 2018, Vol. 10(9), P. 1328.

6) Smedsrud L.H., Esau I., Ingvaldsen R.B. The role of the Barents Sea in the Arctic climate system // Reviews of Geophysics. – 2013. – Vol. 51. – № 3. – P. 415-449.

АНАЛИЗ ЛИНЕЙНЫХ ТЕНДЕНЦИЙ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕРХНЕГО СЛОЯ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ В РАЗНЫЕ СЕЗОНЫ ПО ДАННЫМ РЕ-АНАЛИЗА ORA-S3 ЗА 1959-2011 ГГ.

Сухонос П.А.

Институт природно-технических систем, г. Севастополь

pasukhonis@mail.ru

Ключевые слова: верхний квазиоднородный слой, линейный тренд, Северная Атлантика

Исследование изменений теплозапаса океана показывает значимое потепление Мирового океана за последние десятилетия. Долгопериодные изменения теплозапаса Северной Атлантики (СА) составляют около 30% от 50-ти летнего глобального тренда теплозапаса океана. Эту тенденцию связывают с глобальным потеплением [1]. При этом эффективность, с которой океан поглощает тепло, имеет большое влияние на скорость глобального потепления. Поэтому в данной работе исследуются линейные тенденции изменчивости температуры и толщины верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) СА в отдельные сезоны [2].

Используются среднемесячные данные о температуре океана и толщине ВКС взятые из массива ре-анализа океана ORA-S3 за доступный период 1959-2011 гг. Преимущество этого массива данных заключается в том, что величины толщины ВКС получены на основе полуэмпирической теории турбулентности [3], а не градиентных или пороговых критериев. Толщина ВКС соответствует глубине, на которой число Ричардсона достигает критического значения, принимаемого в ре-анализе 0.3. Методика определения глубины залегания нижней границы ВКС по числу Ричардсона оправдана с физической точки зрения. Оценки максимальной толщины ВКС в центральной части моря Лабрадор, полученные на основе имеющихся данных наблюдений за 1993-2014 гг. и приведенные в статье [4], согласуются с оценками величины толщины ВКС, полученными на основе критерия Ричардсона. По данным ре-анализа океана ORA-S3 для каждого месяца с 1959 по 2011 г. рассчитывается средняя температура в пределах переменной по пространству и времени толщины ВКС. Далее рассчитывались линейные тренды временных рядов температуры и толщины ВКС в каждом узле пространственной сетки. Параметры линейного тренда рассчитываются с помощью метода наименьших квадратов.

Большая часть СА характеризуется положительным линейным трендом температуры ВКС. Наибольшие коэффициенты линейного тренда температуры ВКС отмечаются в области перехода Гольфстрима в Североатлантическое течение. Их величины составляют 0.05, 0.08, 0.04, и 0.04°C/год в январе, апреле, июле и октябре соответственно. Отмечается заметное превышение величин коэффициентов линейных трендов в холодный период года по сравнению с теплым, что соответствует положению о более сильном потеплении в зимний период. Во внутренней части субполярного круговорота отмечаются отрицательные величины коэффициентов линейного тренда температуры ВКС, за исключением октября. Вклад дисперсии линейного тренда в суммарную дисперсию температуры ВКС превышает 30% в широтной полосе 0-10° N к востоку от 40° W (за исключением апреля), в области перехода Гольфстрима в Североатлантическое течение (за исключением июля) и в окрестности Восточно-Гренландского течения в июле. Вклад дисперсии линейного тренда в суммарную дисперсию температуры ВКС в целом для всей акватории СА составляет 13.8, 9.4, 15.4 и 20.7% в январе, апреле, июле и октябре соответственно.

В тропических и субтропических широтах отмечаются области, в которых толщина ВКС в зимние месяцы характеризуется незначимым положительным линейным трендом за 1959-2011 гг. В высоких широтах выявлены значимые отрицательные линейные тренды толщины ВКС за исследуемый период. Величины коэффициента линейного тренда толщины ВКС в области интенсивной конвекции в море Лабрадор составляют -30 м/год в январе, что приводит к почти 2-кратному

уменьшению средней толщины ВКС (с 3 до 1.5 км). Величины толщины ВКС и коэффициенты линейного тренда в летние месяцы малы по сравнению с этими величинами в зимние месяцы. Таким образом, основной вклад в низкочастотную изменчивость толщины ВКС в СА вносят процессы в высоких широтах. В целом в СА отмечается уменьшение толщины ВКС, которое наиболее выражено в холодный период года.

Таким образом, в период 1959-2011 гг. ВКС СА характеризуется потеплением и уменьшением его толщины. Последнее происходит в основном за счет ослабления конвективного перемешивания в высоких широтах. Это может быть связано с повышением температуры океана в Арктике и усилением таяния ледников Гренландии и выноса распресненных вод из Северного Ледовитого океана во второй половине 20-го века [1].

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме «Фундаментальные исследования процессов в климатической системе, определяющих пространственно-временную изменчивость природной среды глобального и регионального масштабов» (№ госрегистрации АААА-А19-119040490047-7) и частично поддержана грантом РНФ № 17-17-01295.

Список литературы

1) IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K. et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324

2) Сухонос П.А., Дианский Н.А. Связи долгопериодных мод изменчивости температуры и толщины верхнего квазиоднородного слоя Северной Атлантики с индексами климатической изменчивости // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. 2020. Т. 56. № 3. С. 347-359. https://doi.org/10.31857/S0002351520030116

3) Pacanowski R.C., Philander S.G.H. Parameterization of vertical mixing in numerical models of tropical oceans // J. Phys. Oceanogr. 1981. V. 11. № 11. P. 1443–1451.

4) Kieke D., Yashayaev I. Studies of Labrador Sea Water formation and variability in the subpolar North Atlantic in the light of international partnership and collaboration // Prog. Oceanogr. 2015. V. 132. P. 220–232. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2014.12.010

ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕННОГО СТОКА АРКТИЧЕСКИХ РЕК НА ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИЛЕГАЮЩИХ АКВАТОРИЙ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

Тарханова М.А.

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск

tarhanova_m@mail.ru

Ключевые слова: Северный Ледовитый океан, речной сток, теплосодержание, численное моделирование.

Анализ данных наблюдений с начала 21 века показывает повышение теплосодержания Северного Ледовитого океана и его шельфовых морей [1]. Это может оказывать влияние на другие связанные с изменением климата процессы, например сокращение морского льда, изменение морских экосистем и круговорот углерода. Атлантические воды считаются одним из основных источников тепла для Северного Ледовитого океана. В основном полагают, что наблюдаемое с конца 1980-х годов повышение температуры атлантических вод вызывает увеличение вертикального теплового потока к поверхности океана на евразийской части арктического бассейна [2]. Однако другие механизмы, которые могут быть ответственными за потепление арктических вод, изучены недостаточно широко. В некоторых недавних исследованиях предполагается, что одним из таких механизмов является арктический речной сток, который по данным мониторинга рек постепенно увеличивается с начала измерений (с 1936 года на евразийских реках и с 1970-х годов на реках Северной Америки) [3]. Например, в работе [4] выделена необходимость учета поступления тепла речных вод при моделировании климата Арктики в связи с тем, что по результатам модельных расчетов увеличение притока тепла с речными водами в последнее десятилетие привело к потеплению обширных участков арктического шельфа. Это в свою очередь способствовало усилению теплообмена между океаном и атмосферой и уменьшению толщины морского льда зимой по сравнению с 1980-ми годами.

В докладе рассматриваются вопросы, связанные с влиянием повышенного стока арктических рек на формирование термохалинной структуры вод за пределами арктического шельфа и, в частности, на изменчивость теплосодержания глубоководной части Северного Ледовитого океана. Исследование проводится на основе трехмерной численной модели океана и морского льда SibCIOM (Siberian Coupled Ice-Ocean Model) [5, 6], разработанной в ИВМиМГ СО РАН для исследования климатической изменчивости Северного Ледовитого океана, и данных реанализа атмосферы NCEP/NCAR (https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html).

Для выявления чувствительности модельных полей к интенсивности стока рек численные эксперименты предполагают включение вариаций речных расходов при неизменных остальных условиях, начиная с 2000 года. Рассматриваются отклонения среднемесячных величин в расчетах с повышенными расходами наиболее полноводных арктических рек от результатов базового эксперимента, проведенного при задании среднемесячных климатических значений стока.

В ходе анализа полученных результатов при увеличении расхода наиболее полноводных сибирских рек (Обь, Енисей, Лена) в 1.3 раза выделено повышение придонной температуры Карского моря и последующее повышение температуры вод подповерхностного слоя, распространяющихся вдоль материкового склона и заполняющих Евразийский бассейн, а также повышение теплосодержания верхнего 200-метрового слоя Восточной части Евразийского бассейна. Сохранению тепла, поступающего в глубоководную часть через проливы Карского моря, способствовало повышение устойчивости стратификации и сокращение глубины перемешанного слоя на 5-10 м на материковом склоне Евразийского бассейна. Аналогичный процесс с задержкой по времени (6-7 лет) и в меньших масштабах развивается на материковом склоне Амеразийского бассейна и на шельфе Чукотского моря.

В численном эксперименте с увеличенным расходом реки Маккензи отклонения в теплосодержании и содержании пресной воды в море Бофорта проявляются в течение первых двух лет, однако их значения слишком малы в соответствии с небольшим расходом реки по сравнению с расходом сибирских рек. Через пять лет расчета для моря Бофорта изменения, вызванные превышением расхода сибирских рек, уже больше, чем последствия повышения расхода Маккензи.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 20-05-00536 А.

Список литературы

1) Mayer M., Haimberger L., Pietschnig M., Storto A. Facets of Arctic energy accumulation based on observations and reanalyses 2000-2015 // Geophys. Res. Lett. 2016. V. 43(19), P. 10420-10429. doi:10.1002/2016GL070557

2) Polyakov I. V., et al. Arctic Ocean Warming Contributes to Reduced Polar Ice Cap // J. Phys. Oceanogr. 2010. V. 40, P. 2743–2756. doi:10.1175/2010JPO4339.1

3) Holmes R. M., Shiklomanov A. I., Suslova A., Tretiakov M., McClelland J. W., Spencer R. G. M., Tank. S. E. River Discharge [in "State of the Climate in 2018"] // Bull. Amer. Meteor. Soc. 2019. V, 100 (9), P. 161–163. doi:10.1175/2019BAMSStateoftheClimate.1

4) Park H., Watanabe E., Kim Y., Polyakov I., Oshima K., Zhang X., Kimball J. S., Yang D. Increasing riverine heat influx triggers Arctic sea ice decline and oceanic and atmospheric warming // Science Advances. 2020. V. 6, N. 45, eabc4699. doi:10.1126/sciadv.abc4699

5) Golubeva E.N., Platov G.A. On improving the simulation of Atlantic Water circulation in the Arctic Ocean // J. Geophys. Res. 2007. V. 112, C04S05, doi:10.1029/2006JC003734

6) Голубева Е.Н. Численное моделирование динамики атлантических вод в Арктическом бассейне с использованием схемы QUICKEST // Вычислительные технологии. 2008. Т. 13, № 5, С. 11-24.

КИНЕТИЧЕСКАЯ И ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ ТЕЧЕНИЙ ВОД В АКВАТОРИИ ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЫ

Травкин В.С., Белоненко Т.В.

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

nikvart1999@mail.ru

Ключевые слова: Лофотенская котловина, кинетическая энергия, потенциальная энергия, межгодовая изменчивость, Лофотенский вихрь.

Лофотенская котловина, расположенная в центральной части Норвежского моря, является одной из наиболее энергетически активных точек в Арктическом регионе. Данная котловина топографически обособлена на юге и востоке континентальным склоном Норвегии и платом Воринг, тогда как с западной и северной стороны она ограничена хребтами Ян-Майен и Мона. Лофотенская котловина также является важнейшим транспортным регионом, через который теплые и соленые атлантические воды проникают в Арктический бассейн. Кроме того, данный район характеризуется локальным максимумом уровня, интенсивными потерями тепла в зимний период, а также наличием глубокой зимней конвекции. Одной из особенностей Лофотенской котловины является квазипостоянная внутрипикноклинная антициклоническая линза - Лофотенский вихрь с ядром в точке 70° с.ш. и 4° в.д. и на глубинах порядка 300−1000 м. По результатам натурных измерений установлено, что ядро данного вихря в течение года двигается по циклонической траектории с диаметром порядка 128 км, что обусловлено топографическим вкладом [1]. Установлено, что вихрь имеет средний радиус порядка 37 км, а также орбитальную скорость 30 см/с. В зимние месяцы происходит подпитка ядра вихря поверхностной водой, проникающей на глубины более 1 км, что приводит к обновлению и последующей регенерации вихря. Еще одним механизмом, поддерживающим Лофотенский вихрь, является его слияние с мезомасштабными вихрями, которые отрываются от Норвежского склонового течения [2]. Данный процесс способствует резкому увеличению доступной потенциальной и вихревой кинетической энергии, солености и температуры в районе месторасположения Лофотенского вихря, оказывая положительное влияние на его стабильность.

Целью нашей работы является изучение доступной и средней потенциальной энергии (APE и MPE соответственно), средней и вихревой кинетической энергии (MKE и EKE соответственнно) в акватории Лофотенской котловины по данным реанализа GLORYS12V1.

Указанная цель достигается путем использования данных за 2010-2018 гг. массива «GLORYS12V1». G это глобальный вихреразрешающий реанализ, основой которого является численное моделирование ассимилированных спутниковых данных и натурных наблюдений. Горизонтальная дискретность равна 1/12°, временная дискретность равна суткам, а вертикальная дискретность составляет 50 уровней. Данный массив доступен на портале Copernicus Marine Environment Monitoring Service (https://resources.marine.copernicus.eu/). Модельной компонентов GLORYS12V1 является платформа NEMO, для которой граничные условия на поверхности задаются с помощью реанализа ECMWF ERA-interim. Для наших исследований массив GLORYS12V1 был проинтерполирован по глубинам от 0 до 1000 м с шагом, равным 50 м.

Полученные результаты свидетельствуют, что ядро Лофотенского вихря характеризуется увеличенными значениями вихревой кинетической энергии, в сравнении со средней кинетической энергией. Вертикальные профили свидетельствуют об усилении активности мезомасштабных вихрей в зимний период, по сравнению с летним периодом, при этом вихревая компонента доминирует в обоих случаях. Установлено наличие ярко выраженного положительного линейного тренда доступной потенциальной энергии в районе месторасположения Лофотенского вихря, тогда как для

временной изменчивости вихревой кинетической энергии не обнаружено наличие значимого линейного тренда. Наибольший вклад в доступную потенциальную энергию вносит промежуточный слой от 600 до 900 м, тогда как наибольший вклад в вихревую кинетическую энергию вносит слой от 0 до 400 м.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 18-17-00027).

Список литературы

1) Белоненко Т.В., Волков Д.Л., Норден Ю.Е., Ожигин В.К., Циркуляция вод в Лофотенской котловине Норвежского моря// Вестник СПБГУ, Науки о Земле № 7 (2). 2014. С. 108-114

2) Travkin V. S., Belonenko T. V., Seasonal variability of mesoscale eddies of the Lofoten Basin using satellite and model data// Russian Journal of Earth Sciences. 2019. 19. 5. ES5004. doi: 10.2205/2019ES000676

ИЗМЕНЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ КАСКАДИНГА В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ В СВЯЗИ С СОКРАЩЕНИЕМ ПЛОЩАДИ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА

Тузов Ф.К.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

fedor-tuz@mail.ru

Ключевые слова: каскадинг, Северный ледовитый океан, численное моделирование

Каскадинг — это процесс возникновения вод с отрицательной плавучестью на мелководных участках акватории, с последующим стеканием в виде вдольсклоновых гравитационных течений на большую глубину. Несмотря на глобальное распространение, каскадинг является локальным процессом с короткой продолжительностью по времени (дни или недели) [1].

В Северном Ледовитом океане возможность прохождения каскадинга зависит от ледовой обстановки на шельфе. Если ледяной покров присутствует круглый год, температура воды у поверхности близка к точке замерзания и поток тепла из океана в атмосферу в основном расходуется на ледообразование. Кроме того, вклад изменений температуры в плотностные изменения существенно меньше соленостного вклада вследствие малой величины коэффициента термического расширения при низких температурах. Рассол, выделяющийся в воду в процессе ледообразования, увеличивает соленость и плотность подледного слоя. На мелководных шельфах глубина конвекции оказывается ограниченной дном, а в глубоком океане стационарным слоем скачка солености или плотности. Соленостная конвекция в Северном Ледовитом океане интенсивно развивается именно в свободных ото льда зонах. По этой причине распространяющаяся до дна шельфовая конвекция, как правило, наблюдается в квазистационарных полыньях, которые формируются на шельфе в зимний сезон под действием ветра и имеют горизонтальные масштабы от десятков до сотен километров.

Существует альтернативный механизм формирования плотных вод в субарктических морях с сезонным ледяным покровом. Он связан с неравномерным ледообразованием в прикромочной зоне. Отличительной чертой прикромочной зоны является близкое соседство покрытой льдом акватории, где температура воды близка к точке замерзания, и свободного ото льда пространства, где температура поверхностного слоя существенно выше. На освободившихся после ветрового выноса льда участках шельфа интенсифицируется ледообразование, сопровождающееся осолонением воды. Таяние льда в теплой глубоководной зоне и его образование на шельфе способствуют быстрому формированию плотностных градиентов между шельфом и глубоким морем. Этот процесс особенно эффективен, поскольку в отличие от полыньи, ограниченной со стороны глубокого моря дрейфующим льдом и существующей весьма ограниченное время (порядка нескольких дней), в прикромочной зоне отсутствует ограничение на время действия указанного механизма, которое зависит лишь от метеорологических условий.

В предложенном исследовании использована модель NEMO (Nucleus of European Modelling of the Ocean), с пространственным шагом $1/12^\circ$ и временным интервалом выдачи результатов расчета 5 суток для бассейна СЛО. Модельный расчет выполнен для периода 1986 - 2010 гг. Сравнение данного модельного расчета с реальными данными наблюдавшегося каскадинга в море Бофорта и Чукотском море показало возможности для воспроизведения каскадинга при приведенных выше параметрах расчета [2].

Для выявления каскадинга по данным моделирования был разработан алгоритм проверки данных в узлах модельной сетки, на условия наличия каскадинга [3]. Для установления взаимосвязи динамики ледяного покрова на шельфе и склоне, и случаев прохождения каскадинга отобраны узлы модельной сетки с глубиной до 500 м в географических границах морей СЛО. Затем была рассчитана площадь акваторий морей с глубиной до 500 м и получены данные о изменении площади ледяного покрова в выбранных узлах. Для каждого моря было получено количество случаев

каскадинга и площадь ледяного покрова в % от общей площади исследуемой акватории. В докладе представлены результаты расчета площадей ледяного покрова арктических морей, количество случаев каскадинга и линейные тренды характеристик за весь период модельного расчета. Для Баренцева моря количество случаев каскадинга увеличилось с 17 до 21, при этом площадь ледяного покрова снижается с 38% до 20%. Такая же динамика наблюдается в морях Бофорта и Лаптевых. В море Бофорта площадь ледяного покрова сокращается с 82% до 75%, а количество случаев каскадинга с 50 до 70. В море Лаптевых площадь ледяного покрова сокращается с 75% до 70%, при этом количество случаев каскадинга увеличивается с 60 до 80. В других морях СЛО увеличение количества случаев каскадинга при сокращении площади ледяного покрова не наблюдается, так в Чукотском море площадь ледяного покрова сокращается с 72% до 60%, однако количество случаев каскадинга снижается со 125 до 115. В Восточно-Сибирском море площадь ледяного покрова уменьшается с 85% до 77%, при этом количество случаев каскадинга сокращается с 150 до 120. В Карском море, Гренландском море, районе Канадского арктического архипелага и Гренландии количество случаев каскадинга мало и не превышает 12 в отдельные пятидневные периоды. Площадь ледяного покрова в Карском море снижается с 72% до 65%, а вдоль побережья Канадского арктического архипелага с 95% до 90%.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №19-35-90124 "Аспиранты".

Список литературы

1) Shapiro G. I., Huthnance J. M., Ivanov V. V. Dense water cascading off the continental shelf // Journal of Geophysical Research: Oceans. 2003. Vol. 108, iss. C12. P.1-19. doi:10.1029/2002JC001610

2) Luneva M, Ivanov V. V., Tuzov F. K. et al. Hotspots of dense water cascading in the Arctic Ocean: implications for the Pacific water pathways. // Journal of Geophysical Research: Oceans. 2020. Vol. 125, iss. 10. doi:1e2020JC016044.

3) Тузов Ф. К. Качественная и количественная оценка каскадинга по модельным данным для бассейна СЛО //Комплексные исследования Мирового океана. – 2020. – С. 181-182.

ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ КОНВЕКЦИЯ В ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЕ НОРВЕЖСКОГО МОРЯ

Федоров А. М.[1,2,3], **Новоселова Е.В.**[2], **Башмачников И.Л.**[2,3], **Белоненко Т. В.**[2]

[1] *ФГБУ «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт»*

[2] *ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»*

[3] *Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена»*

amfedorov97@gmail.com

Ключевые слова: Лофотенская котловина, зимняя конвекция, теплоотдача, композитные поля

Интенсивная океаническая конвекция играет решающую роль в изменчивости глобального климата [1-5]. В данной работе мы исследовали экстремальные конвективные события, в Лофотенской котловине (ЛК) Норвежского моря на основе данных буев Арго. Глубина верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) - основной параметр, отражающий интенсивность конвекции [6].

В настоящей работе конвекция считается экстремальной, если значение ВКС превышает на 1 СКО (∼150м) среднее многолетнее зимне-весеннее значение ВКС (∼200м) в исследуемом регионе. Значение ВКС превышало 1000м в марте-апреле и декабре 2010 г. в районе Лофотенского вихря (ЛВ), тогда как среднее значение ВКС по всей котловине составляет около 200 м и редко превышает 400м. Мы связываем события экстремальной конвекции с объемом воды, образовавшимся в центре ЛК между глубиной 1000м и изостерической поверхностью s07 (аномалия удельного объёма равна $0.7*10^{-7}$ $м^3кг^{-1}$). Полученные по аналитическим формулам оценки глубины перемешивания демонстрируют полное соответствие измеренным значениям ВКС, при этом изменение потока плавучести и стратификации является основной причиной изменчивости ВКС в бассейне. Эта изменчивость объясняется теплоотдачей в акватории ЛК. Мы дали описание атмосферных условий во время явлений экстремальной конвекции по данным реанализа ERA-Interim. Было выяснено, что северные ветры так же распространены при экстремальной конвекции, как и юго-западные ветры, обычно преобладающие в климатической картине зимой-весной. Мы проанализировали 32 случая экстремальных конвективных событий. Были рассмотрены основные композитные поля атмосферной циркуляции (поля давления на уровне моря и геострофические компоненты приземного ветра) над Северной Атлантикой, характерные для определенной фазы индексов EAP, SCAN и NAO, а также их комбинации, на предмет соответствия композитному распределнию указанных параметров при экстремальной конвекции.

Исследование позволило описать состояние атмосферы, которое способствует экстремальной конвекции в бассейне. Наиболее характерным для экстремальной конвекции в ЛК является усиление ветров северных румбов, которое способствует теплоотдаче и перемешиванию в центральной части бассейна. Основные барические центры Северного полушария при событиях интенсивной океанической конвекции хорошо соответствуют композитному полю давления и приземного ветра при комбинации индексов NAO $^-$ / EAP $^-$ в Северной Атлантике, в то время как отрицательные фазы NAO преобладают в климате зимой-весной. Теплоотдача является основной причиной экстремальной конвекции в ЛК. Установлено, что во время экстремальных конвективных явлений в ЛК, теплоотдача в среднем в два раза сильнее, по сравнению со средними многолетними значениями.

Исследование выполнено при поддержке РНФ, проект № 18-17-00027.

Список литературы

1) Rhein M., Kieke D., Hüttl-Kabus S., et al. Deep water formation, the subpolar gyre, and the meridional overturning circulation in the subpolar North Atlantic // Deep Sea Research Part II:

Topical Studies in Oceanography. № 58(17), 2011. С. 1819-1832. https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2010.10.061.

2) Башмачников И.Л., Федоров А.М., Весман А.В., Белоненко Т.В., Духовской Д.С. 2019. Термохалинная конвекция в субполярных морях Северной Атлантики и Северо-Европейского бассейна СЛО по спутниковым и натурным данным. Часть 2: индексы интенсивности конвекции // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. № 16 (1), 2019. С. 191–201. doi: 10.21046/2070-7401-2019-16-1-191-201.

3) Башмачников И.Л., Федоров А.М., Весман А.В., Белоненко Т.В., Колдунов А.В., Духовской Д.С. Термохалинная конвекция в субполярных морях Северной Атлантики и Северо-Европейского бассейна СЛО по спутниковым и натурным данным. Часть 1: локализация областей конвекции // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. №15 (7), 2018. С. 184–194. doi: 10.21046/2070-7401-2018-15-7-184-194.

4) Федоров А.М., Башмачников И.Л., Белоненко Т.В. 2018. Локализация областей глубокой конвекции в морях Северо-Европейского бассейна, Лабрадор и Ирмингера // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. №63(3), 2018. С. 345–362. https://doi.org/10.21638/spbu07.2018.306.

5) Федоров А.М., Башмачников И.Л., Белоненко Т.В. Зимняя конвекция в Лофотенской котловине по данным буев ARGO и гидродинамического моделирования // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле, №64(3), 2019. С. 491–511. https://doi.org/10.21638/spbu07.2019.308

6) Kantha L.H., Clayson C.A. Small Scale Processes in Geophysical Fluid Flows // International Geophysics Series. Academic Press, San Diego. №67, 2000. 888.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ШТОРМОВ НА МАССОВЫЙ ВЫБРОС МОРСКОГО МУСОРА НА БЕРЕГ САМБИЙСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Фетисов С.В.[1], **Чубаренко И.П.**[2]

[1]*Балтийский федеральный университет имени И.Канта, г. Калининград*

[2]*Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

mr.fetiss@gmail.com

Ключевые слова: морской мусор, реанализ, Балтийское море, микропластик

Проблема загрязнения пляжей морским мусором с каждым годом становится все более актуальной и активно изучается учеными по всему миру. Вместе с морским мусором каждый год на берег выбрасывается тонны мусора антропогенного характера. Особое внимание уделяется загрязнению отходами синтетических полимеров (пластика), поскольку они в естественных условиях практически не разлагаются, но представляют угрозу как морским организмам, так и равновесию целых экосистем [2]. Загрязнение пляжей Балтийского моря активно сопровождается выбросами антропогенного мусора совместно с биотой в виде водорослей (преимущественно *Furcellaria lumbricalis*) на пляжи Самбийского п-ова [5]. Цель данной работы: проанализировать метеорологические и гидрофизические факторы, которые способствуют выбросу мусора, а также определить влияние шторма на эти явления.

Ученые из института океанологии им. П.П, Ширшова уже более 10 лет осуществляют мониторинг пляжей Самбийского п-ова и за это время накопилась база данных из более чем 250 случаев наблюдения выброса морского мусора, которые были взяты за основу в данной работе [1]. В качестве испытательного полигона для исследования был выбран берег пос. Куликово Калининградской области протяженностью 2330 м, который расположен в бухте между мысом Гвардейским и корнем Куршской косы. За время наблюдения на берегу пос. Куликово наблюдалось более 58 случаев выброса пятен морского мусора. Это максимальное значение среди других пляжей Самбийского п-ова. В данной работе было выбрано 6 случаев для более детального анализа.

Далее были собраны метеорологические и гидрофизические данные: скорость и направление ветра, высота и направление волны, скорость и направление поверхностного течения. Данные скорости и направления ветра были сняты с датчиков, расположенных на нефтедобывающей платформе Д-6 (20.67° в.д., 55.28° с.ш.) с дискретностью измерения 1 час. Ветер на платформе измеряется на высоте 32 метра. И, хотя в метеорологии стандартная высота измерения 10 метров над уровнем моря, для данной работы использовались реальные, а не приведённые значения. В качестве значений высоты и направления значительной волны использовались данные реанализа ERA5 [3], который предоставляет ежечасные оценки большого количества переменных климата, атмосферы, суши и океана. Данные скорости и направления течений брались из открытой базы данных Copernicus (Copernicus Marine environment monitoring service).

Для каждого из 6 проанализированных случаев выброса были рассмотрены временные промежутки 240 часов (10 суток) до момента наблюдения выброса и выявлены следующие закономерности:

- Наличие шторма или длительное время повышенной скорости ветра (более 8 м/с)
- В период 72 часа до наблюдения выброса наблюдалось повышение волнения ($\sim$1.39 м) и скорости ветра ($\sim$17.3 м/с)
- Выброс наблюдается во время фазы стихания шторма при средней высоте значительных волн $\sim$0.3м.

События массовых выбросов морского мусора на побережье Балтийского моря традиционно связываются с направлением ветра. Поэтому до начала анализа конкретных случаев выброса, в том числе тех, которые использовались в данной работе, предполагалось, что ключевой фактор, влияющий на выброс мусора из моря на берег - это направление ветра. Однако, в данной работе, при анализе направления ветра для рассматриваемых случаев не было выявлено явных закономерностей, влияющих на выброс морского мусора. Также, по итогам анализа, было отмечено, что гидрофизические данные высоты и направления значительных волн, скорости и направления поверхностных течений соответствуют такому явлению, как разрывные течения [4]. В будущих работах планируется детально оценить влияние данного явления на выброс морского мусора на берег Самбийского п-ова.

Исследования выполнены при поддержке программы повышения конкурентоспособности БФУ им. И. Канта на 2016-2020 годы (проект 5-100) государственной поддержки ведущих университетов Российской Федерации «5-100». Данные метеонаблюдений собираются в рамках государственного задания АО ИО РАН № 0149-2019-0013. Наблюдения за выбросами морского мусора на побережья проводятся в рамках проекта РНФ № 19-17-00041.

Список литературы

1) Chubarenko I., Esiukova E., Bagaev A., Isachenko I., Demchenko N., Zobkov M., Efimova I., Bagaeva M., Khatmullina L. Behavior of Microplastics in Coastal Zones // Microplastic Contamination in Aquatic Environments (Chapter 6). Elsevier. Editor(s): Eddy Y. Zeng. 2018. P. 175-223

2) Wibowo Y.G., Maryani A.T.,Dewi Rosanti D., Rosarina D. Microplastic in Marine Environment and Its Impact // Sainmatika, 16 (1), 2019. p. 81-87. http://dx.doi.org/10.31851/sainmatika.v16i1.2884

3) Copernicus Climate Change Service (C3S) ERA5 Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate // Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS), 2017 (https://cds.climate.copernicus.eu).

4) Schönhofer J, Dudkowska A. Rip currents in the southern Baltic Sea multi-bar nearshore zone // Continental Shelf Research, Volume 212, 2021.

5) Esiukova E., Chubarenko I., Volodina A., Bykanova T. Littering of marine coasts after severe storms // Book of abstracts of the Baltic Sea Science Congress (BSSC), Stockholm, 19-23 August 2019, Sweden. - Stockholm, 2019. - P. 243.

СОВМЕСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛН И ВОЛНОВОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ

Фокина К.В.[1], **Булгаков К.Ю.**[2]

[1]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

[2]*Российский государственный гидрометеорологичесий университет, г. Санкт-Петербург*

fokinakarina@yandex.ru

Ключевые слова: волновой пограничный слой, ветровые волны, волновой поток импульса, численное моделирование, взаимодействие ветра и волн

Взаимодействие ветра и волн играет важную роль в передаче энергии и импульса между атмосферой и океаном. Волновой пограничный слой (ВПС) и верхняя часть океана имеют общую границу раздела, и исследования их взаимодействия требует изучения процессов, которые действуют через связанные пограничные слои. Движения свободной поверхности влияют на общий поток импульса, добавляя вызванные волнами возмущения к уже существующей турбулентной составляющей [1].

Основные механизмы взаимодействия ветра и волн сосредоточены очень близко к движущейся границе раздела, что затрудняет проведение прямых экспериментальных измерений в море, особенно при больших скоростях ветра. Таким образом, наиболее надежный подход к изучению проблемы взаимодействия ветра и волн заключается в объединении волновой динамики и динамики ВПС по средствам математического моделирования. Кроме того, особый интерес представляет оценка учета отклонения профиля ветра в нижней части ВПС от логарифмического и его влияние на эволюцию волн.

В работе была использована одномерная модель волнового пограничного слоя, ранее описанная в [2]. Уравнения одномерной модели ВПС были получены путем осреднения двумерных уравнений движения Рейнольдса. Специфику ВПС составляет появление волнового потока импульса t_w, методика расчета которого подробно приведена в [2] и который вызывает отклонение от логарифмического профиля скорости ветра. В нижней части ВПС распределение скорости снова становится логарифмическим, с учетом локального сопротивления. Процесс развития волн воспроизводится с помощью нелинейной модели [3], включающей параметризации для притока энергии и обрушения волн. Рассматриваются периодические одномерные волны.

Уравнения обеих моделей записаны в конформных координатах и приведены к безразмерному виду с использованием соответствующих масштабов: длины - L, времени - $L^{1/2}g^{-1/2}$ и скорости - $(Lg)^{1/2}$ (g - ускорение свободного падения).

Объединенная модель включает в себя два основных компонента: волновую модель и модель волнового пограничного слоя. Обе модели запускаются и производят расчеты одновременно, обмениваясь информацией. Волновая модель предоставляет модели ВПС волновой спектр, который впоследствии используется при расчете продуцируемого волнами потока импульса. Развитие волнового поля происходит под действием притока энергии, диссипации и нелинейного взаимодействия между волнами и ветром. При этом приток энергии осуществляется за счет изменения поверхностного давления. Использование аппроксимации для b-функции [4] и рассчитанного в модели ВПС профиля скорости ветра, позволяет получить значения поверхностного давления.

Расчеты по объединенной модели проводились при количестве волновых чисел M = 2048 и числе точек сетки N=8196, с шагом по времени Δt=0,001 в течение 2500 безразмерных единиц времени. Начальное волновое поле (последовательность волн Стокса), рассчитываемое методом, описанным в [5], задавалось с крутизной ak=0,15. Моды волны Стокса располагаются на следующих волновых числах: 500, 1000, 1500, 2000.

Решение зависит от начальных условий, а именно от значения обратного возраста волны W, который в свою очередь определяет значение безразмерной скорости на верхней границе ВПС. Были проведены эксперименты для значений W в диапазоне от 2 до 11 (от молодых волн до развитого волнения). В каждом случае рассматривалось два варианта: в одном учитывалось отклонение скорости ветра от логарифмического профиля, в другом профиль ветра считался полностью логарифмическим.

По результатам проведенных экспериментов были проанализированы изменения значений характерной высоты волны в различные моменты времени. Учет волнового потока импульса оказывает непосредственное влияние на профиль скорости ветра, что, как следствие, приводит к изменению значений характерной высоты волны. В каждом из экспериментов для случая, где профиль ветра отклоняется от логарифмического, значения высоты волны оказались выше тех же значений для случая логарифмического профиля ветра. Наиболее заметные отличия наблюдаются для обратного возраста волны в диапазоне от 4 до 6. Так, для W=4 максимальная разница в значениях характерной высоты волны достигала 18%, в среднем - 8%, для значений W=6 16% и 10% соответственно. Для других значений W разница для двух вариантах была незначительной и составила в среднем 3-4%. Отмечено, что учет волнового потока импульса не оказывает заметного влияния на высоты молодых волн (при W от 7 до 11) и развитого волнения (при W=2 и W=3), но оказывается необходимым для среднеразвитого волнения.

Неочевидным результатом исследования стало резкое обрушение волны в начале расчетного периода, связанное с интенсивным притоком энергии от ветра к уже развитым волнам (при W от 2 до 7), причем с увеличением обратного возраста волны амплитуда роста волны и время, за которое происходит обрушение, уменьшаются.

Описанная объединенная модель позволяет рассчитать совместную динамику волн и ветра. Благодаря своей простоте одномерная совместная модель ветра и волн позволяет исследовать множество проблем, в частности, зависимость высоты характерной высоты волны от учета волнового потока импульса в уравнениях, описывающих ВПС. Полученные результаты показывают, что включение в прогностические волновые модели параметризаций волновых потоков импульса может улучшить качество прогноза ветрового волнения.

Список литературы

1) Xuanting H., Tao C., Zixuan Yang, Tianyi L., Lian Sh.. Simulation-based study of wind-wave interaction // Procedia IUTAM, V. 26, 2018, P.162-173
2) Чаликов Д.В., Булгаков К.Ю. Структура приводного слоя атмосферы // Фундаментальная и прикладная гидрофизика, 2019. Т.12, №2. С. 50-65
3) Chalikov D., Rainchik S. Coupled numerical modelling of wind and waves and the theory of the wave boundary layer // Boundary-Layer Meteorol. 2010. Vol. 138. Iss 1. P. 1–41. doi:10.1007/s10546-010-9543-7
4) Chalikov D., Babanin A.V. Parameterization of wave boundary layer // Atmosphere. 2019. Vol 10. Is. 11
5) Monin A.S., Yaglom A.M. Statistical fluid mechanics: mechanics of turbulence // Cambridge, M.I.T. Press, Vol. 1., 1971. 770 p.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА МАЛЬВИНСКОГО (ФОЛКЛЕНДСКОГО) ТЕЧЕНИЯ

Фрей Д.И., Кречик В.А., Фофанов Д.В., Сильвестрова К.П.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова, г. Москва

dima.frey@gmail.com

Ключевые слова: Циркуляция океана, ADCP-измерения, спутниковая альтиметрия

Мальвинское (Фолклендское) течение является одним из наиболее интенсивных течений Юго-Западной Атлантики. Течение определяет положение Субантарктического фронта (САФ) и является ответвлением северной ветви Антарктического циркумполярного течения (АЦТ). Началом течения принято считать резкий поворот САФ к востоку от банки Бердвуд (55° ю.ш., 55° з.д.) [1], далее течение следует вдоль континентального склона Южной Америки вплоть до 38° ю.ш., где оно встречается с Бразильским течением, формируя термохалинный фронт с резкими градиентами температуры и плотности [2].

Пространственная структура течения систематически изучалась с помощью различных методов, включая спутниковые данные, измерения термохалинной структуры (CTD-разрезы, буи АРГО), проводились расчеты геострофических течений и численное моделирование циркуляции в этом районе. Однако, прямых наблюдений скорости течений судовыми акустическими доплеровскими профилографами скорости (Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP) ранее практически не проводилось. Одним из единственных примеров подобных измерений является выполненный в 1992 году зональный разрез вдоль 45°S (Piola et al., 2013). Стоит отметить, что измерения выполнялись судовым ADCP, работающим на частоте 150 кГц, что позволило измерять верхний слой океана до максимальной глубины 390 метров. В связи с этим, в 2016 - 2020 гг. нами были проведены измерения кинематической структуры течения на серии поперечных разрезов, начиная от пролива Дрейка и до 46° ю.ш, с использованием профилографа с большим диапазоном измеряемых глубин (до 700 метров). Измерения включали в себя непрерывную запись судовым ADCP и зондирования, выполненные в точках локальных максимумов скорости течения. В точках зондирования измерялась как термохалинная структура вод, так и скорости течений от поверхности до дна с помощью погружного ADCP.

Полученные данные позволили исследовать структуру течения с высоким пространственным разрешением на серии поперечных разрезов. Было установлено, что течение состоит из двух ветвей: помимо основной ветви, расположенной над изобатой около 1400 метров, стабильно обнаруживается вторая береговая ветвь, расположенная в районе изобаты 200 метров. Примечательно, что обе ветви просматриваются также на данных спутниковой альтиметрии, что позволяет исследовать их пространственную и временную изменчивость. На основе натурных и спутниковых данных были определены различные параметры ветвей течения, определена их вертикальная структура, посчитаны объемные переносы вод. Проведенная работа содержит как новую информацию о структуре самого Мальвинского (Фолклендского) течения, так и открывает возможности по дальнейшему анализу циркуляции данного района на основе данных спутниковой альтиметрии.

Разработка подхода к валидации расчетных геострофических скоростей по данным судового акустического профилографа скорости поддержана грантом МК-1492.2021.1.5.

Список литературы

1) Artana, C., Ferrari, R., Koenig, Z., Saraceno, M., Piola, A. R., Provost, C. Malvinas Current variability from Argo floats and satellite altimetry // Journal of Geophysical Research: Oceans, 121(7). 2016. 4854–4872. https://doi.org/10.1002/2016JC011889

2) Piola, A. R., Franco, B. C., Palma, E. D., & Saraceno, M. (2013). Multiple jets in the Malvinas Current. Journal of Geophysical Research: Oceans, 118(4), 2107-2117.

3) Saraceno, M., Provost, C., Piola, A. R., Bava, J., & Gagliardini, A. Brazil Malvinas Frontal System as seen from 9 years of advanced very high resolution radiometer data // Journal of Geophysical Research: Oceans, 109(C5), 2004.

МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЗИМНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ И ГАЛОКЛИНА В АРКТИЧЕСКОМ БАССЕЙНЕ

Чернявская Е.А., Тимохов Л.А., Малиновский С.Ю.

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург

cherni_ka@mail.ru

Ключевые слова: Перемешанный слой, галоклин, линейная регрессия.

Арктический поверхностный слой и подстилающий его пикноклин, который в Арктическом бассейне зависит от распределения солености и совпадает с галоклином, являются важными компонентами термохалинной структуры Северного Ледовитого океана (СЛО). Состояние поверхностного слоя оказывает влияние на поток тепла от океана в атмосферу через ледяной покров и во многом определяет тепловой баланс поверхности СЛО. Именно с его толщиной, термохалинными характеристиками и характеристиками подстилающего галоклина, связывают образование и устойчивость ледяного покрова СЛО [1]. Оценки параметров поверхностного слоя и галоклина важны для валидации крупномасштабных климатических моделей и улучшения моделирования арктической системы атмосфера−лед−океан.

Поскольку площадь морского ледяного покрова в летний период значительно сократилась в последние годы [2], поверхностный слой СЛО стал более доступен для непосредственного воздействия ветра и солнечной радиации. Такое изменение условий окружающей среды не могло не сказаться на термохалинной структуре поверхностного слоя, которая в последние годы действительно претерпела значительные изменения [3].

Для оценки влияния новых условий на состояние поверхностного слоя были использованы более 9000 вертикальных профилей солености, собранных в Арктическом бассейне в зимний период (март-май) 1950-1993 гг. и 14600 профилей, полученных в 2007-2013 гг. В связи с малочисленностью натурных данных за период 1994-2006 гг. для заполнения пробела были использованы данные модели ECCO2 [4]. На основе этих океанографических данных были произведены расчеты толщины и солености перемешанного слоя Северного Ледовитого океана, а также толщины и солености слоя галоклина за период 1950-2013 гг.

Критерием для определения границ поверхностного слоя и галоклина служили точки перелома генерального хода солености с глубиной (экстремумы второй производной от солености по глубине). Первый перелом (первый максимум второй производной от солености по глубине) весьма четко отделяет поверхностный слой. Второй перелом хода солености (второй экстремум второй производной от солености по глубине) определяет нижнюю границу галоклина.

Анализ межгодовой изменчивости перечисленных параметров среди макромасштабных изменений позволил выделить аномальное распреснение верхнего перемешанного слоя Амеразийского суббассейна с 2005-2007 гг., не наблюдавшееся в таких масштабах за всю историю наблюдений с 1950 гг. [5]. Наблюдения также показывают прогрессирующее ослабление галоклина в Евразийском суббассейне, начавшееся с 1970-х гг. [6]. В целом же по бассейну толщина перемешанного слоя увеличилась за последние годы с 30-35 м в 1950-70-х годах до 40-44 м в 1980-2000-х годах. Толщина галоклина, наоборот, уменьшилась с 65 м в 1950-90-х годах до 50 м в 2000-х годах. В то же время соленость перемешанного слоя и соленость галоклина в 2000-е годы стали ниже примерно на 0,5 ‰ по сравнению с 1950-90-ми годами.

Целью данного исследования являлся не только анализ макромасштабной структуры поверхностного слоя, но и уточнение причин и получение оценок межгодовой изменчивости состояния перемешанного слоя и галоклина Арктического бассейна.

Были выделены три квазидвадцатилетних периода с различными конфигурациями полей параметров поверхностного слоя, которые соответствуют климатическим стадиям с разными режи-

мами атмосферной циркуляции. Но, конечно, атмосферная циркуляция не является единственной причиной произошедших изменений состояния поверхностного слоя. Для выявления других причин этих изменений использовались статистические методы анализа временных рядов параметров поверхностного слоя СЛО, в частности, корреляционный и мульти-регрессионный анализ. Были получены уравнения линейной регрессии, которые позволили установить, что изменчивость толщины и солености перемешанного слоя практически в равной степени определяется изменениями атмосферной циркуляции и флуктуациями водообмена с соседними океанами, а также речным стоком и ледовыми процессами. Толщина и соленость слоя галоклина, в свою очередь, сильно коррелируют с параметрами перемешанного слоя, и, поскольку у слоя галоклина нет прямого контакта с атмосферой, изменчивость его параметров определяется в основном состоянием перемешанного слоя и подстилающими водами Атлантики.

Список литературы

1) Захаров В.Ф. Морские льды в климатической системе. СПб.: Гидрометеоиздат. 1996. 213 с.
2) Kwok R., Rothrock D.A. Decline in Arctic sea ice thickness from submarine and ICESat records: 1958–2008// Geophysical Research Letters. 2009. №36(15).
3) Фролов И.Е., Ашик И.М., Кассенс Х., Поляков И.В., Прошутинский А.Ю, Соколов В.Т., Тимохов Л.А. Аномальные изменения термохалинной структуры Северного Ледовитого океана// Доклады Академии наук. 2009. Т. 429. № 5. С. 688–690.
4) Menemenlis D., Campin J-M., Heimbach P., Hill C., Lee T., Nguyen A., Schodlok M., Zhang H. ECCO2: High Resolution Global Ocean and Sea Ice Data Synthesis // AGU Fall Meeting Abstracts. 2008. V. 31. P. 13–21.
5) Cherniavskaia E., Sudakov I., Golden K., Strong C., Timokhov L. Observed winter salinity fields in the surface layer of the Arctic Ocean and statistical approaches to predicting large-scale anomalies and patterns//Annals of Glaciology. 2018. V. 59. P. 83–100. doi:10.1017/aog.2018.10
6) Polyakov I.V., Rippeth T.P., Fer I., Alkire M.B., Baumann T.M., Carmack E. C., Padman, L. Weakening of cold halocline layer exposes sea ice to oceanic heat in the eastern Arctic Ocean// Journal of Climate. 2020. doi: 10.1175/JCLI-D-19-0976.1.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПЛОЩАДИ И ТОЛЩИНЫ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА В ЗАПАДНОМ СЕКТОРЕ АРКТИКИ

Шапкин Б.С.[1], **Рубченя А.В.**[1], **Иванов Б.В.**[1,2,3], **Ревина А.Д.**[2]

[1]*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург*

[2]*Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург*

[3]*Институт физики атмосферы РАН, г. Москва*

shap99boris@gmail.com

Ключевые слова: Западный сектор Арктики, ледовитость, толщина ледяного покрова, изменения, изменчивость

Одна из важнейших особенностей современной глобальной климатической системы - Арктическое усиление. Суть Арктического усиления состоит в том, что изменения приземной температуры в Арктическом регионе имеют более высокую скорость по сравнению с изменением глобальной приземной температуры. Стоит отметить, что Арктическое усиление - это региональное проявление более глобального процесса - полярного усиления, однако Антарктическое усиление более слабее Арктического. Арктическое усиление в основном связано со следующими обратными связями: первая - относительно большой и положительный градиент обратной связи, возникающей из-за различных вертикальных распределений температуры в верхних и нижних широтах. Вторая - отрицательная обратная связь Планка, которая возникает из-за разности ПТВ в более холодных и более теплых регионах. И третья связь - большая положительная обратная связь альбедо поверхности, когда таяние арктических морских льдов ускоряется при наличии воды на его поверхности [1].

В нынешних условиях, когда площадь ледяного покрова в Артике резко сокращается, обратная связь альбедо поверхности особенна важна. Потепление климата вызывает усиленное таяние морского льда, что приводит к обнажению новых участков открытой воды, которые имеют гораздо более низкое альбедо, что приводит к увеличению поглощения солнечной коротковолновой радиации. Это, в свою очередь, вызывает дальнейшее таяние морского льда. Эти процессы образуют виток положительной обратной связи, которая усиливает потепление. Дополнительный вклад в эту обратную связь вносят талые пруды (снежницы), образованные тающим снегом на поверхности морского льда [1].

В последние десятилетия XX - начале XXI в. отмечается уменьшение средней толщины льда, главным образом, вследствие уменьшения площади многолетнего льда и его замещения однолетним льдом. Наиболее значительное уменьшение толщины льда произошло в Центральной Арктике, бассейне Нансена и проливе Фрама. В районе к северу от Гренландии осадка льда не изменилась с 1980-х гг. вследствие торошения, вызванного особенностями крупномасштабной циркуляции льдов. Анализ изменений толщины припая, выполненный по данным измерений в районе Баренцева моря, евразийских арктических морей и Канадской Арктики, выявил устойчивое уменьшение толщины припайного льда на 0.11 м за десятилетие в районе о. Хопен (норв. Hopen) (в юго-восточной части архипелага Шпицберген) [2].

Анализ особенностей межгодовой и сезонной изменчивости основных элементов ледового режима проведен на основе расчетной информации, полученной в Мировом центре данных по морскому льду «Арктического и антарктического научно-исследовательского института» [3]. Для анализа толщин использовались данные содержащие оценки толщины и сплоченности морского льда в Арктике, надводного борта и шероховатости поверхности, а также плотности и глубины снежного покрова, полученные с помощью интерферометрического радиолокационного высотомера ESA CryoSat-2 с синтезированной апертурой (SIRAL). Данные предоставляются ежедневно на сетке 25 км за период с сентября по апрель, с апреля 2010 года [4]. Также использовались данные с высокоширотных воздушных экспедиций “Север”, проводившиеся с 20-ые по 80-ые годы прошлого

столетия [5]. В данной работе, мы будем придерживаться понятий зимнего (ноябрь-апрель) и летнего сезонов (май-октябрь) года, что в целом соответствует наблюдаемым в Арктике природным условиям и используется в многочисленных работах российских исследователей.

По результатам проведённой работы отчётливо заметен отрицательный тренд в изменчивости ледовых условий в исследуемом районе. При этом в водах Карского моря, а также в северной части Баренцева моря и в прилегающих районах Арктического бассейна наблюдается увеличение амплитуды колебаний ледовитости с 2006 года, что в свою очередь может свидетельствовать о крупномасштабной смене ледового режима в Западной Арктике и перестройке атмосферной и океанической циркуляции в исследуемом районе.

Был проведен сравнительный анализ современных спутниковых данных [4] и данных с экспедиций “Север” [5] по толщине льда, по результатам которого можно с уверенностью говорить о уменьшении толщины ледяного покрова в Западном секторе Арктики.

Авторами доклада были выявлены 5-6 летние циклы колебаний ледовитости в районе Западного сектора Арктики. Факторы, связанные с взаимодействием в системе «океан - морской лед - атмосфера», ответственны в большей степени за колебания с периодами 20 лет и менее. Для ледовитости и толщины льда в морях Западной Арктики (Гренландское, Баренцево, Карское) статистически значимый характер имеют колебания как с периодами порядка 60, так и 5-7 лет.

На рубеже 2002-2004 гг. и в дальнейшем в центральной части Арктического бассейна стало наблюдаться преобладание однолетних льдов по сравнению с многолетними [6]. В это же время произошли значимые изменения в ледовом режиме фиордов Западного Шпицбергена (значительное распреснение поверхностных вод, последующие периоды с отсутствием устойчивого припая и т.п.). Все вышеперечисленные факты указывают на крупномасштабные и не до конца объяснимые процессы, зафиксированные в различных частях полярной климатической системы в первом десятилетии XXI века.

Список литературы

1) М.М. Латонин, И.Л. Башмачников, Л.П. Бобылев, Явление арктического усиления и его движущие механизмы // фундаментальная и прикладная гидрофизика. т. 13, № 3, С. 3-24, 2020
2) В.Ю. Александров, О.М. Йоханнессен Изменения толщины льда в Арктике с конца XIX века // Проблемы Арктики и Антарктики. № 4 (94), С. 63 – 73. 2012.
3) http://wdc.aari.ru/datasets/–Мировой центр данных по морскому льду ААНИИ.
4) Kurtz, N. and J. Harbeck. 2017. CryoSat-2 Level-4 Sea Ice Elevation, Freeboard, and Thickness, Version 1. Boulder, Colorado USA. NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center. doi: https://doi.org/10.5067/96JO0KIFDAS8.
5) Keri Webster, Alexander Machado, and Florence Fetterer Morphometric Characteristics of Ice and Snow in the Arctic Basin: Aircraft Landing Observations from the Former Soviet Union, 1928-1989, Version 1
6) А.В. Юлин, Н.А. Вязигина, Е.С. Егорова, Межгодовая и сезонная изменчивость площади льдов в Северном Ледовитом океане по данным спутниковых наблюдений // Российская Арктика. № 7. С. 28-40. 2019.

ОПЕРАТИВНАЯ ОКЕАНОЛОГИЯ ЧЕРНОГО МОРЯ (СЕВЕРО-ВОСТОЧНАЯ ПРИБРЕЖНАЯ ОБЛАСТЬ): ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Шаповал К.О.[1], **Григорьев А.В**[2]

[1] *Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный,*

[2] *Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова, г. Москва*

shapoval@phystech.edu

Ключевые слова: Черное море, моделирование, прогноз, ГМС, спутниковые наблюдения.

В докладе представлен анализ результатов сравнения данных численного моделирования гидродинамики прибрежной северо-восточной области Черного моря, проводимого в рамках оперативной океанологии, с данными контактных и спутниковых наблюдений. Предложены перспективы улучшения технологии.

Моделирование динамики и термохалинных характеристик вод северо-восточной области Черного моря проводилось на основе функционирующей в Государственном океанографическом институте им. Н.Н. Зубова (ГОИН) автоматизированной системы RuReM, являющейся подсистемой разработанной в ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН» Черноморской системы прибрежных морских прогнозов (ЧСПМП). Описание автоматизированной системы диагноза и прогноза характеристик вод Черного моря с использованием региональной модели RuReM, совмещенной с общебассейновой моделью МГИ по технологии «вложенных сеток», приведено, в частности, в работе [1] и ссылках в ней. Разрешение региональной модели, основанной на базовом алгоритме Princeton Ocean model (POM), составляло ∼1 км по горизонтали при 18 слоях в сигма-координатах. В общебассейновой модели с пространственным разрешением ∼5 км по горизонтали и 35 уровнях по вертикали ассимилируются спутниковые данные о температуре морской поверхности и альтиметрии.

Для оценки физической адекватности и качества моделирования проводилось сравнение модельных и натурных данных, полученных в 2012 и 2016 годах. Использовались контактные наблюдения на морских гидрометеостанциях (ГМС) Кавказского побережья Черного моря (Новороссийск, Геленджик, Туапсе, Сочи), и данные измерений зондирующего комплекса Аквалог (Гидрофизический полигон «Геленджик»). В качестве спутниковых данных использовались ежедневные карты температуры морской поверхности, полученные по измерениям сканера MODIS-Aqua, и региональный массив картированных аномалий уровня AVISO [2].

Результаты сравнения показали следующее [1, 2]:

1. Расчеты с использованием региональной модели имеют преимущество в физической адекватности и точности в сравнении с общебассейновой моделью.

2. Различия сравнения для «срочных» (раз в сутки) и среднесуточных модельных и натурных данных оказались невелики. Этот факт может быть вызван значительным влиянием инерционных колебаний на частоте ∼17,5 часов в глубоководной области моря (место постановки комплекса Аквалог, глубина около 260 метров).

3. Модельные расчеты температуры поверхности моря имеют весьма высокую схожесть и коррелированность с данными наблюдений ГМС (более 93%) и спутниковых измерений (SST, более 96%). Столь высокое соответствие обусловлено усвоением спутниковых измерений в общебассейновой модели, данные из которой являются начальными и граничными условиями для региональной модели.

4. Аналогичные оценки для солености в целом оказываются неудовлетворительными. Степень физической адекватности моделирования и точности расчетов солености в районе постановки комплекса Аквалог заметно выше, нежели непосредственно у берега.

5. Коэффициенты корреляции данных спутниковой альтиметрии (SSH), ГМС и моделирования превышают 70%. Этот результат говорит в пользу использования данных SSH и моделирования для слежения за уровнем в прибрежных областях, а также использования данных SSH в алгоритмах их усвоения в численных моделях.

Модельные данные о солености корректируются посредством усвоения данных спутниковой альтиметрии с использованием технологии пересчета в поправки солености, подразумевающей определенную автомодельность ее вертикальных профилей в глубоководных областях моря. В прибрежной зоне на небольших глубинах такой алгоритм оказывается некорректным. Этот вывод подтверждается тем, что модельные значения солености в районе постановки комплекса Аквалог намного ближе к измеренным, нежели у берегов. Возможно, в мелководных областях моря повышение качества усвоения может быть обеспечено при использовании идеологии фильтра Калмана (слежения за эволюцией корреляционных функций ошибок).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ-РГО 17-05-41089.

Список литературы

1) Григорьев А.В., Грузинов В.М., Зацепин А.Г., Воронцов А.А., Кубряков А.И., Шаповал К.О. Оперативная океанография северо-восточной части Черного моря: оценки точности моделирования в сравнении с данными натурных измерений // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2018. № 1 (367). С. 79-96.

2) Григорьев А.В., Кубряков А.А., Кубряков А.И., Шаповал К.О. Оперативная океанография северо-восточной части Черного моря: оценки точности моделирования в сравнении с данными спутниковых наблюдений // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2019. Вып.4. С.33-39.

ВАЛИДАЦИЯ ВЫСОКОРАЗРЕШАЮЩЕЙ МОДЕЛИ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ ПРИ ПОМОЩИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ И КОНТАКТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Шармар В.Д.[1], Ивонин Д.В.[1], Гавриков А.В.[1,2], Салаватова Л.И.[3], Тилинина Н.Д.[1], Гулев С.К.[1,2]

[1] Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

[2] Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

[3] Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), г. Долгопрудный

sharmvit@gmail.com

Ключевые слова: ветровое волнение, измерение волновых колебаний морской поверхности, радиолокационный индикатор ICEVISION, буй-волнограф SPOTTER, wave hindcast, WAVEWATCH III, Северная Атлантика

В августе - сентябре 2020 г. в соответствии с планами работ ИОРАН на Северо-Атлантическом полигоне был проведен 50 рейс НИС «Академик Сергей Вавилов». В этой экспедиции было выполнено шесть гидрофизических разрезов: трансатлантический по 60° с.ш., два меридиональных вдоль срединно-атлантического хребта Рейкьянес и от Фареских островов до 60° с.ш., три зональных, расположенных в Датском, Фареро-Исландском, Фареро-Шетлендском проливах. На каждом из этапов экспедиции проводились натурные эксперименты по измерению характеристик ветрового волнения в условиях открытого океана с борта судна. С использованием радиолокационного индикатора «IceVision» [1] и буя-волнографа «Spoondrift Spotter» [2] одновременно измерялись основные характеристики колебания морской поверхности. В первом случае параметры ветрового волнения были получены с помощью сигналов с датчиков, передающих информацию об окружающей надводной обстановке с судовой радиолокационной станции (РЛС). Датчиками информации об окружающей надводной обстановке для «IceVision» являются установленная на судне РЛС X-диапазона JRC JMA-9110-6XA (со скоростью вращения 27 об/мин) и автоматическая идентификационная система (АИС). «IceVision» также сопрягается с судовым гирокомпасом, лагом и навигационным приемником посредством мультипортовой платы MOXA CP-114. Плата радарного процессора «IceVision» преобразует аналоговую информацию, поступающую от РЛС в цифровую форму. В результате на выходе формируется изображение каждого оборота антенны разрешением 8 бит. Посредством стандартной статистической и спектральной обработки серии изображений были получены частотно-направленные спектры морских волн, информацию о которых можно найти в публикации [6]. Во втором случае регистрировались сигналы с датчика (регистрирующего вертикальное ускорение) возвышений морской поверхности, установленного на буе-волнографе. На основе взаимного сравнения 24 радарных и буйковых натурных измерений обнаружено соответствие интегральных характеристик однопиковых и двухпиковых энергетических спектров (значительной высоты волны, периода энергонесущих волн) для большинства станций (диапазон измерений высот волн составлял 1.2-4.4 м). Точечные измерения буём-волнографом не позволяют получить характеристики частотно-направленного спектра (а только одномерный частотный). Поэтому для сравнения с радиолокационными измерениями был проведен численный эксперимент по восстановлению волновых условий с учётом высокоразрешающего атмосферного воздействия при помощи объединения моделей WAVEWATCH III версии 6.07 [3] и негидростатической атмосферной модели WRF (Weather Research and Forecasting) [4, 5], адаптированной к условиям Северной Атлантики. Целью работы является реконструкция двумерных энергетических спектров волнения по высокоразрешающей модели ветрового волнения с последующей валидацией во всех точках радарных наблюдений частотно-направленных спектров. Численное

гидродинамическое моделирование ветрового волнения выполнено с использованием вложенной регулярной сетки с разрешением 1/30° во внешнем домене с горизонтальным разрешением 0.1°, который допускает возможность эффективного сгущения узлов в области получения натурных данных. Оценка качества результатов моделирования проведена посредством сравнения с данными натурных наблюдений.

Исследования выполнены при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (соглашение № 05.604.21.0210, уникальный идентификатор RFMEFI60419X0210).

Список литературы

1) https://ice.vision/
2) https://www.sofarocean.com/products/spotter
3) The WAVEWATCH III Development Group (WW3DG), (2019): User manual and system documentation of WAVEWATCH III R version 6.07. Tech. Note 333, NOAA/NWS/NCEP/MMAB, College Park, MD, USA, 465 pp. + Appendices.
4) Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J. et al. A description of the Advanced Research WRF Version 3, NCAR Technical Note. 2008. 125 p.
5) Wang W., Barker D., Bray J. et al. User's Guide for Advanced Research WRF (ARW) Modeling System Version 2. 2008. 226 p. (www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide_V3/ARWUsersGuideV3.pdf).
6) Д.В. Ивонин, А.В. Гавриков, В.Д. Шармар, Л.И. Салаватова, Н.Д. Тилинина, С.К. Гулев Мониторинг состояния поверхности моря в Северной Атлантике с использованием средств судовой навигации // Океанология, 2021, том 61, № 3, с. 1–3

ПРИЛИВНЫЕ И СОБСТВЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ ВЕЛИКИХ ОЗЕР ПО ДАННЫМ ДЛИТЕЛЬНЫХ ПРИБРЕЖНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Шишкова П.О., Медведев И.П.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

shishkova.polina@inbox.ru

Ключевые слова: колебания уровня, приливы, сейши, Великие озера.

Приливы - один из наиболее распространенных и изученных видов колебаний уровня в Мировом океане. Формирование приливов зависит от приливообразующих сил Солнца и Луны. Приливные колебания в замкнутых водоемах являются собственными колебаниями, так как отсутствует влияние приливных волн, приходящих из других водоемов. Размеры и форма бассейна, а также его ориентация относительно сторон света и географическая широта - факторы, определяющие формирование собственного прилива [1]. Сейши представляют собой свободные колебания жидкости в замкнутых или полузамкнутых водоемах. На амплитуды и частоты сейшевых колебаний влияют форма акватории и глубина бассейна, а также ряд метеоусловий.

Одной из крупнейших систем замкнутых водоемов являются Великие озера - пять обособленных озер разной площади, формы, глубины. Ранее сейши и приливы в этой системе озер были исследованы в работах [2, 3], однако при анализе использовались короткие временные ряды (временной промежуток от месяца до 3 лет). По двадцатилетним качественным сериям наблюдений при помощи современных методов анализа временных рядов в данной работе были выявлены пространственные свойства приливов в крупнейших замкнутых водоемах планеты, а также пространственные и частотные свойства собственных колебаний уровня, была приведена сравнительная характеристика этих параметров между всеми озерами системы. Результаты, полученные по длительным временным рядам, сравнивались с результатами в [2] и [3].

Для анализа были взяты длительные ряды данных о состоянии уровня озер в сантиметрах, полученные с мареографов прибрежных станций и представленные в системе Fisheries and Oceans Canada. Каждый ряд представляет собой ежечасные измерения с января 2001 по октябрь 2020 года. Замеченные в данных пропуски были заполнены методом линейной интерполяции, что не повлияло на качество дальнейшего анализа, так как отсутствовали короткие временные промежутки. Средний процент пропусков для всех рассмотренных станций - 2%. Обнаруженные выбросы разного типа были исключены из рядов, а оставшиеся пропуски были также заполнены методом линейной интерполяции.

С помощью спектрального, гармонического, а также взаимного спектрального анализов для каждого озера были получены характеристики приливных и сейшевых колебаний. Спектры считались с помощью быстрого преобразования Фурье методом Уэлша. С помощью спектрального, гармонического, а также взаимного спектрального анализов для каждого озера были получены характеристики приливных и сейшевых колебаний. Спектры считались с помощью быстрого преобразования Фурье методом Уэлша. С помощью спектрального анализа с высоким разрешением выделены основные суточные и полусуточные приливные составляющие.

С помощью гармонического анализа приливов были рассчитаны амплитуды и фазы основных волн. Показано, что в целом отношение амплитуд различных гармоник соответствует теоретическим соотношениям из статической теории приливов. При помощи методов спектрального анализа выделены основные моды собственных колебаний уровня озер и на основе фазовых и передаточных функций построены их пространственные распределения. Результаты анализа данных достаточно хорошо согласованы с результатами численного моделирования собственных колебаний уровня моря, а также с результатами, полученными на более коротких рядах.

Список литературы

1) Медведев И.П., Куликов Е.А., Рабинович А.Б. Приливы в Каспийском море // Океанология № 3(57). 2017. С. 400-416
2) As-Salek Junaid A., Schwab David J. High-Frequency Water Level Fluctuations in Lake Michigan // Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, January/February 2004
3) Trebitz Annet S. Characterizing Seiche and Tide-driven Daily Water Level Fluctuations Affecting Coastal Ecosystems of the Great Lakes // Journal of Great Lakes Research,

ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС СУБПОЛЯРНОЙ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ

Яковлева Д.А.[1], **Башмачников И.Л.**[1,2]

[1]*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург*

[2]*Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена», г. Санкт-Петербург*

dianayak47@mail.ru

Ключевые слова: потоки тепла, теплосодержание, Северная Атлантика.

В данной работе рассматриваются балансы потоков тепла за период 1993-2018 гг. (апрель-март) в трех регионах: в Субполярном круговороте, к западу от хребта Рейкьянес (район 1), в области к востоку от хребта Рейкьянес, до берегов Британских островов и Скандинавского полуострова (район 2) и в Норвежском море (район 3). Район 2 является основной областью перераспределения приповерхностных потоков океанического тепла между областями Субполярного круговорота и Северо-Европейским бассейном, и происходящие там процессы перераспределения потоков океанического тепла оказывают влияние на потоки океанического тепла в Арктику [1, 2]. В статье [3] авторы описывают усиление/ослабление океанических потоков тепла через Срединно-Атлантический хребет (граница между районами 1 и 2) в зависимости от 4х режимов атмосферной циркуляции (два из них - положительное и отрицательное NAOI). В данной работе исследуется характер межгодовой изменчивости потоков тепла в умеренных и субполярных районах Атлантики.

Баланс потоков тепла для верхнего 500-метрового слоя рассчитывался как сумма океанической адвекции тепла, потоков тепла океан-атмосфера (скрытый и явный), радиационного баланса и вертикального турбулентного теплообмена на нижней границе приповерхностного слоя. Верхний 500-метровый слой охватывает слой Атлантических вод, приходящих в моря Северо-Европейского бассейна [4, 5], а также ядро теплого течения Ирмингера [6]. Для расчета океанических потоков тепла, теплосодержания (верхнего 500-метрового слоя) и вертикального потока тепла на нижней границе слоя был использован массив среднемесячных данных ARMOR-3D (http://marine.copernicus.eu) с горизонтальным разрешениям $0.25\times0.25°$. Месячные значения атмосферных (из океана в атмосферу) потоков тепла (скрытый и явный) были получены из базы данных OAFlux (http://oaflux.whoi.edu) с пространственным разрешением 1°. Радиационный баланс получен по данным реанализа ERA-Interim (https://www.ecmwf.int). Месячные значения NAOI были загружены с сайта NOAA (http://www.cpc.ncep.noaa.gov).

В районе 1 среднеквадратическое отклонение (СКО) теплосодержания составляет 36 ТВт, а средний баланс потоков тепла отрицателен и равен -23 ТВт. СКО теплосодержания 36 ТВт получено в районе 2, при среднем значении баланса потоков тепла 186 ТВт. В районе 3 баланс потоков тепла положителен и составляет 47 ТВт, тогда как СКО теплосодержания 16 ТВт. В районе 1 наибольший вклад в баланс потоков тепла вносят скрытый поток тепла в атмосферу (-100 ТВт) и радиационный баланс (97 ТВт). В районе 2 преобладают океаническая адвекция тепла (270 ТВт) и поток скрытого тепла в атмосферу (-134 ТВт). В районе 3 наибольший вклад вносят океаническая адвекция (113 ТВт) и скрытый поток тепла в атмосферу (-55 ТВт). В районах 1 и 2 межгодовая изменчивость теплосодержания и баланса потоков тепла схожи; корреляции значимы и составляют 0.67 (теплосодержание запаздывает на год) и 0.57 (при нулевом сдвиге), соответственно. Это говорит о том, что основные потоки тепла, влияющие на изменчивость теплосодержания, учтены в анализе.

Между районами 1 и 2 корреляция изменчивости теплосодержания положительна и составляет 0.72, что определяется схожей межгодовой изменчивостью. Между районами 2 и 3 корреляция

теплосодержаний верхнего слоя океана отрицательна и незначима, тогда как и корреляция балансов потоков тепла отрицательна и значима. Это говорит о том, что изменчивость теплосодержания верхнего слоя в Норвежском море напрямую не связана с изменчивостью теплосодержания верхнего слоя к югу от региона. Причина отчасти лежит в достаточно высокой связи теплосодержания верхнего слоя океана с фазой Северо-Атлантической Осцилляции в районах 1 и 2 (корреляции -0.56 и -0.50, соответственно), при отсутствии такой связи в районе 3.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 18-17-00027).

Список литературы

1) Yashayaev I., Clarke A. Evolution of North Atlantic water masses inferred from Labrador Sea salinity series // Oceanography. – 2008. – V. 21. – №. 1. – P. 30-45.
2) Sarafanov A. et al. Mean full-depth summer circulation and transports at the northern periphery of the Atlantic Ocean in the 2000s // Journal of Geophysical Research: Oceans. – 2012. – V. 117. – №. C1.
3) Barrier N. et al. Heat budget in the North Atlantic subpolar gyre: Impacts of atmospheric weather regimes on the 1995 warming event // Progress in Oceanography. – 2015. – V. 130. – P. 75-90.
4) Björk G., Gustafsson B. G., Stigebrandt A. Upper layer circulation of the Nordic seas as inferred from the spatial distribution of heat and freshwater content and potential energy // Polar Research. – 2001. – V. 20. – №. 2. – P. 161-168.
5) Blindheim J., Osterhus S. The Nordic Seas, main oceanographic features // Geophysical Monograph-American Geophysical Union. – 2005. – V. 158. – P. 11.
6) Yashayaev I. Hydrographic changes in the Labrador Sea, 1960–2005 // Progress in Oceanography. – 2007. – V. 73. – №. 3-4. – P. 242-276.

ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БИОМАССЫ ВОДОРОСЛЕЙ В ТОЛЩЕ ЛЬДА ПРОЛИВА ВЕЛИКАЯ САЛМА БЕЛОГО МОРЯ В РАННЕ-ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД

Аксенова В.А., Белевич Т.А.

Биологический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, г. Москва

white-out@yandex.ru

Ключевые слова: фитопланктон, ледовая флора, Белое море.

Долгое время флору льдов Арктики изучали, концентрируясь на нижнем слое льда и подлёдной воде. Однако водоросли, как и другие организмы, населяют всю толщу льда, от поверхности до границы с водой. Так, во льдах Центральной Арктики в нижнем (20 - 40 см) слое биомасса криофлоры составляла только 34% от интегральной биомассы в толще льда [1]. Таким образом, для получения полного представления о параметрах обилия и составе сообществ ледовых водорослей необходимо исследовать всю толщину льда.

Сообщества криофлоры условно подразделяют на несколько типов по их месту обитания: сообщества поверхности льда, толщи льда и нижней поверхности льда. На поверхности льда развивается так называемое сообщество ледовых ванн, в котором преобладают зеленые водоросли рода *Chlamydomonas.* При подтоплении льда и поступлении на его поверхность морской воды, в верхней части ледовой толщи может формироваться инфильтрационное сообщество, по составу сходное с сообществом нижней части льда [2]. В толще льда в каналах и капиллярах развивается интерстициальное сообщество, в котором преобладают колониальные и одиночные пеннатные диатомеи. На нижней поверхности льда формируется особое сообщество с доминированием водорослей, образующих большие нитевидные колонии, «свисающие» в воду. Доминирование в таких сообществах центрической диатомеи *Melosira arctica* характерно для многолетних арктических льдов [3]. В ряде случаев отмечаются сообщества с доминированием зеленой водоросли *Ulothrix implexa* [4].

Во льдах Кандалакшского залива Белого моря распределение водорослей в толще льда изменяется по сезону. В январе криофлора распределена равномерно, в феврале-марте более высокое обилие водорослей отмечается в верхней части льда, в апреле - в нижней части. Видовой состав криофлоры и набор водорослей, дающих основной вклад в суммарную биомассу, в верхнем и нижнем слоях существенно не различаются. Для Белого моря характерна пространственно-временная вариабельность распределения обилия водорослей в толще льда [5].

Наблюдаемое в последние десятилетия потепление Арктики ведёт к уменьшению общей площади ледового покрова, его толщины и увеличению доли однолетних льдов. Эти изменения могут повлиять на состав и структуру ледовых сообществ [4]. Поэтому исследования биоты однолетних льдов, а такими как раз и являются сезонные льды Белого моря, приобретают все большую значимость.

Настоящее исследование было выполнено в марте 2013-2014 гг. в проливе Великая Салма Кандалакшского залива Белого моря на базе Беломорской биологической станции им. Н.А. Перцова. Каждый год исследования проводили на 5 станциях. Керны льда, по одному на каждой станции, вырезали кольцевым буром и распиливали на части в соответствии со структурой льда, определявшейся визуально. Части кернов растапливали, талую воду концентрировали и фиксировали раствором Люголя.

В 2013 г. толщина льда колебалась от 21,5 до 70,5 см, в 2014 — от 26 до 58 см; число выделенных слоёв варьировало от 2 до 6. На двух станциях в 2013 и в 2014 году на нижней поверхности льда визуально выявлено коричневое окрашивание, что свидетельствовало о повышенной биомассе

водорослей. Интегральная биомасса в 2013 году составляла от 2,14 до 76,07 мгС/м^2, в 2014 - от 3,77 до 68 мгС/м^2.

Вертикальное распределение биомассы водорослей в толще льда различалось от станции к станции. В основном максимальная биомасса отмечалась в средних слоях льда, в отдельных случаях - в нижнем и верхнем. Вклад водорослей нижнего слоя льда в интегральную биомассу составил от 15 до 80 %.

Диатомовые водоросли вносили основной вклад в биомассу: в среднем он составил 53% в разных слоях, максимально достигая 99%. Водоросль *Nitzschia frigida*, типичный доминант ледовых сообществ, встречалась во всех слоях льда, и давала значительный вклад (до 54%) в биомассу. Высокое обилие *N. frigida* было приурочено к верхнему либо к нижнему слою льда. *Melosira arctica* давала самый высокий вклад в биомассу (14%) в среднем слое льда. В верхнем и средних слоях в составе сообществ криофлоры выявлено высокое обилие зеленой водоросли *Ulothrix* sp. (до 24%). Вклад пиководорослей (эукариоты и цианобактерии с размерами клеток <3 мкм) существенно различался по слоям. Наибольшее относительное обилие мельчайших фотоавтотрофов (83%) выявлено в слоях, где биомасса нано- и микроводорослей была невысокой.

Различия между сообществами верхних, средних и нижних слоёв льда статистически недостоверны. Однако кластерный анализ показывает, что на двух станциях в 2013 и в 2014 году состав сообществ в верхнем слое льда был ближе к таковому в нижнем слое, чем в средних, что может быть следствием подтопления льда и поступления подлёдной воды в верхние слои льда.

Таким образом, в проливе Великая Салма Кандалакшского залива в ранне-весенний период наблюдается значительная пространственная неоднородность вертикальной структуры сообществ ледовой флоры. В это время начинается «цветение» ледовых водорослей, но происходит это не одновременно на всей исследованной акватории, и в разных точках можно наблюдать примеры как зимней, так и весенней вертикальной структуры сообществ. Подтопление льда и поступление подлёдной воды на его поверхность могут влиять на вертикальное распределение водорослей в толще льда.

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова часть 2 (Структура и биологическая продуктивность планктонных сообществ морских и пресноводных экосистем).

Список литературы

1) Gradinger R. Vertical fine structure of the biomass and composition of algal communities in Arctic pack ice // Marine Biology. 1999. Vol. 133. P. 745-754

2) Сажин А.Ф., Ратькова Т.Н., Кособокова К.Н. Население прибрежного льда Белого моря в ранне-весенний период // Океанология. 2004. Т. 44. С. 92-100.

3) Booth B.C., Horner R.A. Microalgae on the Arctic Ocean Section, 1994: species abundance and biomass // Deep-Sea Res. 1997. V. 44. P. 1607-1622.

4) Мельников И.А., Дикарев С.Н., Егоров В.Г., Колосова Е.Г., Житина Л.С. Структура прибрежной экосистемы льда в зоне взаимодействия река-море // Океанология. 2005. Т. 45. С. 542-550.

5) Ильяш Л.В., Житина Л.С., Федоров В.Д. Фитопланктон Белого моря. М.: Янус-К, 2003. 168 с.

ПОКАЗАТЕЛИ СИСТЕМЫ АНТИОКСИДАНТНОЙ ЗАЩИТЫ У ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ

Анцыфорова Л.Ю.[1], Войкина А.В.[1,2], Бугаев Л.А.[2], Жарынина И.И.[2,3], Лисовская В.В.[2,3], Кириченко О.В.[2,3]

[1] Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону

[2] Азово-Черноморский филиал ФГБНУ "ВНИРО" ("АзНИИРХ"), г. Ростов-на-Дону

[3] Южный федеральный университет

ancyforova.lyudmil@yandex.ru

Ключевые слова: моллюски, супероксиддисмутаза, каталаза, антиоксидантная система

В настоящее время выращивание моллюсков, включая тихоокеанскую устрицу *Crassostera gigas*, является одним из приоритетных направлений марикультуры во всем мире, что связано с их ценными пищевыми качествами и экономической выгодой. При этом культивирование моллюсков на морских фермах и адаптация их к условиям Черного моря во многом зависит от температуры, солености, обеспеченности пищей. Для этого важно знать физиологическое состояние моллюсков, которое хорошо характеризуется следующими показателями - ферменты белкового и углеводного обмена, антиоксидантные ферменты, отражающие функционирование неспецифической защитной системы, а также параметры интенсивности окислительных процессов, свидетельствующие о восприимчивости организма к действию неблагоприятных факторов и способности противостоять им [1].

Нейтрализация активных форм кислорода и поддержание окислительно-восстановительного статуса - важнейшая составляющая метаболизма клеточных систем. Она достигается при участии специфических ферментных комплексов (семейств каталаз и супероксиддисмутаз, пероксиредоксинов, глутатионовой и тиоредоксиновой систем и др.), а также группы низкомолекулярных соединений: аскорбиновой кислоты, α-токоферола, каротиноидов.

Особый интерес представляют организмы, подверженные значительной естественной окислительной нагрузке. К ним относятся двустворчатые моллюски, аккумулирующие в тканях разнообразные группы ксенобиотиков. Они имеют высокоэффективный антиоксидантный ферментный комплекс [2].

Поэтому целью исследования являлось определение активности ферментов антиоксидантной системы защиты организма - супероксиддисмутазы и каталазы в тканях тихоокеанской устрицы *Crassostrea gigas*.

Для решения поставленных задач в начале и конце летнего периода были отобраны особи тихоокеанской устрицы в мидийно-устричном хозяйстве Краснодарского края, расположенном недалеко от г. Геленджик. Материалом для физиолого-биохимических исследований служили образцы жабр и гепатопанкреаса. Определение активности супероксиддисмутазы и каталазы проводили согласно общепринятым методикам [3,4].

Супероксиддисмутаза — специфический фермент, препятствующий повреждающему влиянию супероксиданион-радикала кислорода на биологические структуры. Супероксиддисмутаза является ключевым ферментом, лимитирующим процессы превращения супероксидного радикала в другие активные формы кислорода (прооксиданты), т.к. катализирует реакцию образования перекиси водорода из супероксидного анион-радикала [5].

Во все исследуемые периоды в жабрах устриц наблюдался широкий диапазон колебаний уровня активности исследуемых ферментов. В начале летнего периода средний уровень активности супероксиддисмутазы в жабрах составлял 14,51$\pm$2,23 у.е./мг белка/мин, в конце летнего периода - 5,50$\pm$0,84 у.е./мг белка/мин. Уровень активности супероксиддисмутазы в гепатопанкреасе устриц был в 1,5-2 раза ниже, чем в жабрах и составлял 7,44$\pm$0,99 у.е./мг белка/мин в весенне-летний

период и 3,38±0,09 у.е./мг белка/мин в конце летнего периода. Следует отметить, что жабры более чувствительны к содержанию в окружающей среде супероксид-иона.

Каталаза - фермент класса оксидоредуктаз, входящий в состав антиоксидантной системы клетки и выполняющий функцию антиперекисной защиты. Каталаза метаболизирует пероксид водорода, предотвращая его накопление в клетке, с образованием воды и кислорода. Это высокоактивный фермент, не требующий энергии для активации [5].

В жабрах во все исследуемые сезоны уровень активности фермента каталаза достоверно не различался и в среднем составлял 52,76±11,70 мкмоль/мг белка/мин в начале летнего периода и 50,97±11,75 мкмоль/мг белка/мин в конце летнего периода. В гепатопакреасе устриц в начале летнего периода уровень активности каталазы был в 2,2 раза выше, чем в конце летнего периода и составлял 414,83±27,29 мкмоль/мг белка/мин и 185,16±5,61 мкмоль/мг белка/мин соответственно.

Выявление причинно-следственных связей между экзогенными и эндогенными факторами и активностью антиоксидантных ферментативных систем устриц затруднено, так как антиоксидантная система является составляющей неспецифической защиты моллюсков. Данная система стереотипно реагирует на совершенно разные факторы внешней и внутренней среды. Тем не менее, накопление статистического материала по активности ферментов антиоксидантной защиты, привязанного к конкретным количественным показателям действующих факторов может позволить получить представление о конкретных адаптационных механизмах, активизируемых в ответ на изменения среды.

Работа проводилась в рамках государственного задания ФГБНУ "Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии" № 076-00005-20-02 от 14.02.2020 г.

Список литературы

1) Скуратовская Е.Н., Дорохова И.И., Вялова О.Ю., Ковыршина Т.Б., Завьялов А.В., Самотой Ю.В., Шайда В.Г., Руднева И.И. Характеристика базовых показателей состояния гигантской устрицы Crassostera gigas в условиях культивирования в голубом заливе (Кацивели, Крым) / Материалы международной научной конференции (г. Ростов-наДону, 1–3 октября 2014 г.). – Ростов н/Д: Издательство ЮНЦ РАН, 2014. – 356 с.

2) Солдатов А.А., Гостюхина О.Л., Бородина А.В., Головина И.В. Глутатионовый антиоксидантный комплекс и качественный состав каротиноидов тканей двустворчатого моллюска (Tokunaga, 1906) // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 2017. т. 53. № 4. С. 257-264

3) Fried R. Enzymatic & non-enzymatic assay of superoxidedismutase // Biochem.–1975. – 57, №5. –P.657–660

4) Королюк М.А., Иванова Л.И., Майорова И.Г., Токарев В.Е. Метод определения активности каталазы // Лаб. дело, № 1, – 1988. – С. 16-19.

5) Безручко Н. В., Рубцов Г. К., Ганяева Н.Б., Козлова Г. А., Садовникова Д. Г. Каталаза биологических сред организма человека и ее клинико-биохимическое значение в оценке эндотоксикоза // Вестник ТГПУ. 2012. №7 (122).

МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ ПОПУЛЯЦИЙ УСТРИЦ В ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ РОССИЙСКОГО СЕКТОРА ЧЁРНОГО МОРЯ

Баяндина Ю.С., Челебиева Э.С., Кирин М.П.

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

kimo2021@mail.ru

Ключевые слова: устрицы, Crassostrea gigas, Ostrea edulis, Черное море, генетическая изменчивость, баркодирование.

В Черном море аборигенным видом устриц является - *Ostrea edulis*, в начале XX века устриц этого вида активно добывали и выращивали, однако к середине XX века их запасы заметно сократились. В настоящее время популяция *Ostrea edulis* находится в устойчивом депрессивном состоянии, она занесена в Красные книги Украины, России, Крыма и Севастополя. Для развития устрицеводства в 80-е годы в Чёрное море была интродуцирована устрица *Crassostrea gigas*, которая быстро адаптировалась к новым условиям [1]. После 2000 года на побережье Крыма и Кавказа стали появляться фермерские хозяйства, завозившие спат устриц из питомников Дальнего Востока, Франции, Ирландии, Португалии и др. стран. Устрицы размножались на фермах, личинки переносились течением и оседали на твёрдый субстрат − шёл постоянный процесс неконтролируемой «интродукции» в Чёрное море. Его результатом стало появление немногочисленных поселений неаборигенных устриц, таксономическая принадлежность которых пока не имеет генетического подтверждения. Это могут быть как широко используемые в марикультуре *Crassostra gigas*, так и близкий ей вид *Crassostrea angulate*, или их гибриды, родители которых были доставлены из различных морей Атлантики и Тихого океана [2]. Для таксономической идентификации этих «новых» устриц и выяснения источников формирования их естественных поселений проводили ДНК баркодирование по двум молекулярным маркерам митохондриальной цитохромоксидазы (COI) и 16S рДНК.

Отбор устриц проводили вручную вдоль побережья Крыма и Кавказа. Около побережья г. Керчи было отобрано 12 экз, побережья Севастополя: бухте Стрелецкой 2 экз, на выходе из Балаклавской бухты - 4 экз, бухте Голубой - 4 экз, Инкерманской бухте -10 экз, Карантинной бухте - 10 экз, побережья Кавказа около г. Геленджика - 6 экз. Общий объем выборки составил 48 экз.

Сразу после доставки в лабораторию устриц фотографировали с измерительной линейкой, такни замораживали и хранили в морозильной камере при -20 °C. Тотальную ДНК выделяли из мышцы аддуктора при помощи набора QIAamp DNA Mini Kit. Концентрацию ДНК определяли флюориметром Qubit 4.0 (Thermo Fisher Scientific). Для ПЦР-амплификации гена COI были выбраны универсальные праймеры (LCO1490 и HCO2198), 16S − праймеры (16S.ar и16S.br) Исследование нуклеотидной последовательности COI и 16S проводили по протоколу [3].

Секвенирование полученного материала позволит провести видовую идентификацию, оценить параметры генетической изменчивости и определить популяционную структуру естественных популяций устриц в прибрежных водах российского сектора Чёрного моря.

Работа выполнена в рамках Государственного задания АААА-А18-118020890074-2

Список литературы

1) Золотницкий А. П. и др. К вопросу организации крупномасштабного культивирования устриц в озере Донузлав //Труды Южного научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии. – 2008. – Т. 46. – С. 48-54.

2) Пиркова А. В., Ладыгина Л. В., Холодов В. И. Биологические и биотехнические аспекты организации и функционирования устричного питомника на Чёрном море. – 2020

3) Слынько Ю. В. и др. Баркодинг митохондриальной ДНК тихоокеанской устрицы Crassostrea gigas (Thunberg, 1793) (Mollusca: Bivalvia: Ostreidae), культивируемой в Черном море //Генетика. – 2018. – Т. 54. – №. 12. – С. 1419-1425

ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ СОСТАВ БАКТЕРИАЛЬНОГО СООБЩЕСТВА ГЛУБОКОВОДНЫХ РАЙОНОВ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

Беззубова Е.М., Романова Н.Д.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, г. Москва

elena.m.bezzubova@gmail.com

Ключевые слова: бактериопланктон, море Лаптевых, континентальный склон, метагеномика, 16S рРНК.

Наибольший интерес в оценке функционирования бактериального сообщества Арктических морей представляют зоны его наибольшей активности: области смешения речных и морских вод и области континентального склона. Континентальный склон, представляющий собой область повышенной биологической продуктивности, играет важнейшую роль во взаимодействии шельфовых экосистем с экосистемами открытого океана [1, 2]. Данные о таксономическом составе бактериальных сообществ Арктических морей носят фрагментарный характер и чаще дают представление о составе прокариотных сообществ, ассоциированных с морским льдом или с верхними слоями донных осадков [3]. В данной работе представлены результаты исследования таксономического состава свободноживущих и прикрепленных к взвеси прокариот моря Лаптевых с использованием метагеномного подхода.

Материал был собран в ходе 72 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в конце августа - начале сентября 2018 года. Пробы для анализа таксономического разнообразия свободноживущих прокариот были отобраны в 6 точках: в поверхностном и придонном слоях шельфа моря Лаптевых и пролива Вилькицкого, и в поверхностных водах глубоководных районов области континентального склона. Отбор проб для оценки состава сообщества прикрепленных (агрегированных) бактерий производился на нескольких горизонтах двух соседних станций над континентальным склоном. Определение таксономической принадлежности организмов осуществлялось методом метагеномного секвенирования 16S рРНК V3—V4 (Illumina MiSeq 250PE). Для анализа сходства состава сообществ был использован последовательный кластерный анализ методом среднего присоединения на основе матрицы индексов сходства Жаккара.

Среди свободноживущих прокариот поверхностных и придонных вод шельфа континентального склона преобладали представители типа *Proteobacteria*, составлявшие от 59.7% (придонные воды) до 83.4% всех прокариот. Наиболее многочисленными классами свободноживущих протеобактерий были *Gammaproteobacteria* (от 36.3 до 48%) и *Alphaproteobacteria* (15.8-32%). Представители класса *Betaproteobacteria* не превышали 2.5%, *Epsilonproteobacteria* практически полностью отсутствовали. Следующим по многочисленности среди свободноживущих прокариот был тип *Bacteroidetes* (12-19.1%), представленный по большей части классом *Flavobacteriia* (9.6-15.4%) и в намного меньшей степени классами *Cytophagia* (не более 1.7%) и *Sphingobacteriia* (менее 0.3%). Интересно отметить, что преобладание *Flavobacteriia*, *Gamma-* и *Alphaproteobacteria* отмечалось как в поверхностных водах, так и в морском льду и осадках Евразийского бассейна Северного Ледовитого океана [3]. В исследованных нами точках также отмечался значительный вклад бактерий типа *Actinobacteria*, играющих важную роль в разложении и включении в цикл углерода таких органических веществ, как хитин [4]. В придонных водах шельфовых районов были обнаружены представители *Nitrospinae*, отсутствовавшие в водах поверхностных слоев. Анализ сходства сообществ свободноживущих планктонных прокариот обнаружил большее различие между водными слоями, чем между районами отбора. Сильнее всего различались сообщества придонных вод шельфа моря Лаптевых (глубина 60-61 м) и поверхностных вод области над континентальным склоном.

Среди прикрепленных к взвеси прокариот также преобладали представители *Proteobacteria*, составлявшие более 90% всех прокариот на глубине 500-800 м. Бактерии типа *Bacteroidetes*, до-

ля которых уменьшалась в несколько раз по мере увеличения глубины, практически полностью были представлены классом *Flavobacteriia*. Доля *Actinobacteria* напротив возрастала на больших глубинах. Анализ вертикальной структуры таксономического состава сообщества прикрепленных прокариот показал заметную зональность. Наибольшее сходство было характерно для сообществ прикрепленных бактерий верхнего 18-метрового слоя вод. Выделялось таксономическое сходство сообществ на глубинах от 38 до 50 м. Интересно, что сообщества прикрепленных прокариот придонных вод (глубина 1529 м) были в наибольшей степени схожи с сообществом, обитавшим на горизонте 450 м соседней станции.

Полученные данные демонстрируют, что различия в таксономическом составе сообществ как свободноживущих, так и прикрепленных прокариот моря Лаптевых и области континентального склона были ассоциированы с различными водными слоями, и позволяют предположить связь таксономического разнообразия с разницей в форме и биодоступности органических соединений на определенных глубинах. Доминирование таксонов *Flavobacteriia, Alpha-* и *Gammaproteobacteria* на всех горизонтов и во всех районах объясняется их разнообразием, метаболической универсальностью и высокой адаптивностью к широкому спектру условий.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-35-90057.

Список литературы

1) Springer A.M., Mcroy C. P., Flint M.V. The Bering Sea Green Belt: Shelf-edge processes and ecosystem production // Fisheries Oceanography. 1996. V. 5. P. 205-223.
2) Bluhm B. A., Kosobokova K. N., Carmack E. C. A tale of two basins: An integrated physical and biological perspective of the deep Arctic Ocean // Progress in Oceanography. 2015. V. 139. P. 89-121.
3) Rapp J. Z. et al. Effects of ice-algal aggregate export on the connectivity of bacterial communities in the central Arctic Ocean // Frontiers in microbiology. 2018. T. 9. C. 1035.
4) Goodfellow M., Williams S. T. Ecology of actinomycetes // Annual review of microbiology. 1983. V. 37. №. 1. P. 189-216.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЗРОСЛЫХ ОСОБЕЙ И ЛИЧИНОК СВЕТЯЩИХСЯ АНЧОУСОВ РОДА LAMPANYCTUS В ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ЗАПАДНОЙ ЧАСТЯХ ЮЖНОЙ ПАЦИФИКИ

Большаков Д.В., Большакова Я.Ю.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН Москва

dbolshakov85@yandex.ru

Ключевые слова: светящиеся анчоусы, распределение, биогеографические границы, лампаниктыы

Род *Lampanyctus* - один из наиболее многочисленных родов семейства Myctophidae, включающий более 40 видов. По крайней мере 15 видов взрослых представителей *Lampanyctus* были обнаружены среди светящихся анчоусов, собранных в западной и центральной частях Южной Пацифики [1, 2, 3, 4]. Представительная фаунистическая коллекция личинок и взрослых рыб была получена на трех разрезах между 27° ю.ш. и 48° ю.ш.: на разрезе по 158° з.д., 126° з.д. и между 135° и 143° з.д. в южную часть Тихого океана в январе-марте 1985 г. Большая часть тралений была проведена в слое 200-0 м в темное время суток. Семь видов лампаниктов были пойманы: взрослые особи и/или личинки *L. achirus*, *L. australis*, *L. intricarius*, *L. macdonaldi*, *L. pussilus*, *L. gibbsi/wisneri* и *L. sp. D*.

L. achirus. Это самый многочисленный вид рода *Lampanyctus* в пробах - было поймано 618 экз. взрослых на 14 станциях и 102 личинки на 8 станциях в нотальной зоне. Личинки встречались от 45-46° ю.ш. на западе района исследований до 37°-48° ю.ш. на востоке района исследований. Одиночные личинки этого вида были обнаружены в субтропической фронтальной зоне на 126° з.д. Взрослые особи встречались в более широком диапазоне по сравнению с личинками в восточной части разреза - от 38° до 53° ю.ш. Этот вид является индикатором нотальных вод, хотя встречается также и в субтропической фронтальной зоне и на периферии центральной водной массы.

L. sp. D. Личинки этого вида самые многочисленные в коллекциях 34-й экспедиции НИС «Дмитрий Менделеев». Всего в юго-западной части Тихого океана собрано 110 личинок на 7 станциях в узком диапазоне широт от 38° до 42° ю.ш. в субтропической фронтальной зоне и северной части нотальной зоны.

L. intricarius. 102 личинки и 8 взрослых особей *L. intricarius* были собраны на 9 станциях между 37° ю.ш. и 46° ю.ш. в нотальной зоне и в субтропической фронтальной зоне. Взрослые особи вида встречаются в слое 550-750 м, в то время как молодь на глубине около 75 м. Этим объясняется преобладание личинок в сборах.

L. pussilus. В наших коллекциях найдено 37 личинок и 37 взрослых особей этого вида. Среди массовых видов *L. pussilus* встречался севернее остальных и в наиболее узком диапазоне широт. Личинки и взрослые *L. pussilus* встречались совместно на 5 станциях между 34° и 38° ю.ш. Вид является периферическим, поэтому можно сказать, что станции 3050, 3051, 3052, 3069 находились на периферии субтропического круговорота.

L. australis. Всего в районе исследований обнаружено 14 личинок на широтах от 37° до 46° ю.ш. в субтропической фронтальной зоне (СТФЗ) и нотальной зоне. 50 взрослых особей было поймано в ходе рейса - пределы обнаружения взрослых *L. australis* намного шире - единичные особи встречались до 52° ю.ш. Распространение этого вида связано с субтропической фронтальной зоной, поэтому отсутствие его на станции 3050 говорит о прохождении границы между СТФЗ и периферией субтропического круговорота именно меджу станциями 3049 и 3050.

L. gibbsi/wisneri. Единственная личинка была выловлена в самой северной точке района исследований - в центральной водной массе на 17° южной широты.

L. macdonaldi. Единственная взрослая особь была поймана в нотальных водах на 42° ю.ш. Вид обитает на глубине 550-1200 м, с этим связана единичная находка.

Работа выполнена при поддержке госзадания № 0149-2019-0009 и проекта РНФ грант № 19-14-00026.

Список литературы

1) Беккер В.Э. 1983. Миктофовые рыбы Мирового океана. М.: Наука, 247 с.

2) Беккер В.Э., Евсеенко С.А. 1986. Распределение мезопелагических рыб и биогеографические границы в южной части Тихого океана в январе−феврале 1985 г. // Вопр. ихтиологии. Т. 26. Вып. 6. С. 890–901.

3) McGinnis, R. F. 1982. Biogeography of lanternfishes (Myctophidae) south of 30^0S. Antarctic Res. Ser. 35:1–120.

4) Zahuranec, B. J. 2000. Zoogeography and systematics of the lanternfishes of the genus Nannobrachium (Myctophidae: Lampanyctini). Smithson. Contrib. Zool. 607:69.

МОРФОЛОГИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИЧИНОК СЕМ. STOMIIDAE В ЦЕНТРАЛЬНЫХ ВОДАХ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ

Большакова Я.Ю., Большаков Д.В.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

yanusrunaa@mail.ru

Ключевые слова: стомиевые, ранние стадии развития, Северная Атлантика, морфология, ихтиопланктон

Стомиевые личинки (сем. Stomiidae) уникальны по своей морфологии, при этом они довольно редко встречаются в коллекциях. Меристические признаки сильно перекрываются, поэтому в большинстве случаев идентификация ранних стадий развития до вида практически не возможна. Во многих таксонах характер подбородочного усика является диагностическим признаком, но чаще всего у личинок усик не развит. Описания личинок видов немногочисленны из-за трудности определения, однако для каждого подсемейства в литературе приводится ряд иллюстраций. Основной задачей работы является описание ранее неизвестных личинок стомиевых рыб, сравнение их морфологии с близкими видами и выявление диагностически важных признаков.

Материалом для работы послужили личинки и мальки стомиевых рыб, собранных во время 43-й экспедиции НИС «Академик Вавилов» на разрезе между 30° с.ш. и экватором в октябре 2016 г. и 39-й экспедиции НИС «Профессор Логачев» на полигоне в центральной части северной Атлантики в марте 2018 г. Всего было поймано 13 экземпляров 12-ти видов.

П/сем. Astronesthinae. В районе исследований могут быть обнаружены около 20 видов из 5 родов [1]. В сборах обнаружены личинки 3-х видов (Вавилов, 43, ст. 2675): *Astronestes* sp. 1, *Astronestes* sp. 2 и *Heterophotus ophistoma*. Расположение плавников является диагностическим для подсемейства: спинной плавник начинается немного позади середины тела, начало анального плавника позади спинного, имеется жировой плавник. Личинки *Astronestes* отличаются от остальных видов подсемейства меристическими признаками (числом лучей в анальном плавнике (A) и числом миомеров). Главное отличие между двумя пойманными личинками в пигментации: у *Astronestes* sp. 2 пигментирована свободная часть кишки и конец хвостового стебля, в то время как *Astronestes* sp. 1 практически лишен пигмента - имеются только точечный пигмент на вентральной стороне нижней челюсти и межжаберной перепонке. Личинка *H. ophistoma* отличается от личинок Astronestes большим числом миомеров. Она так же практически не пигментирована (имеется только посторбитальный меланофор и интерорбитальный пояс).

П/сем. Malacosteinae. В Северной Атлантике обитают, по крайней мере, 9 видов из 3 родов [1]. В наших сборах обнаружены личинки 2-х видов: *Aristostomias* sp. (Логачев, 39, ст. 182) и *Photostomias* sp. (Вавилов, 43, ст. 2617). Личинки имеют меланофоры по дорсальной и вентральной сторонам тела. Личинка *Aristostomias* sp. отличается *Photostomias* sp. меньшим числом лучей в спинном плавнике (D), более длинной частью свободной секции кишки, сопоставимой с длиной тела, и более длинным уплощенным рылом. Личинка *Photostomias* sp. уже имеет фотофоры, по числу лучей в D (28) личинка наиболее близка к *P. goodyeari*.

П/сем Melanostominae. В районе исследований обитают порядка 90 видов, принадлежащих 16 родам [1]. В наших сборах обнаружены личинки следующих 7 видов: *Bathophilus* sp. 1 (2 экз.: Вавилов, 43, ст. 2675, Логачев, 39, ст. 215), *B.* sp. 2, *Echiostoma barbatum* (Вавилов, 43, ст. 2638), *Eustomias* sp. 1 (Логачев, 39, ст. 182), *E.* sp. 2 (Логачев, 39, ст. 182), *E.* sp. 3 (Логачев, 39, ст. 233), *Leptostomias* sp (Вавилов, 43, ст. 2656). Личинки *Bathophilus* spp. наиболее короткотелые в подсемействе, имеют 44-45 миомеров и небольшое число лучей в спинном и анальном плавниках (D 14-15, A 15). У личинок имеются дорсальные и вентральные меланофоры вдоль миомеров, свободная часть кишки короткая и объемная, плавниковыее складки большие, пигментированные

и дорсальная и вентральная у *Bathophilus* sp. 1, только дорсальная у *B.* sp. 2. *E. barbatum* хорошо отличается от остальных представителей подсемейства меристическими признаками (D 13, A 19, 59 миомеров). У личинки *E. barbatum* присутствуют дорсальные меланофоры (по одному на миомер), пигмент присутствует на гипаксиальной части миосепты (1-5 меланофоров / миомер), свободная часть кишки небольшая и пигментирована дорсально одним крупным меланофором. Представители рода *Eustomias* имеют самое большое число лучей в D и A внутри подсемейства. Личинки характеризуются наличием крупных меланофоров только вдоль дорсальной стороны тела, свободная часть кишки составляет 20-40% длины тела, кишка не пигментирована. Наши личинки отличаются количеством медиодорсальных меланофоров: у *E.* sp. 1 их насчитывается 7, у *E.* sp. 2 - 10, у *E.* sp. 3 - 6. Кроме этого, у *E.* sp. 2 и *E.* sp. 3 имеется пигмент на симфизе нижней челюсти, отсутствующий у *E.* sp. 1. Для представителей рода *Leptostomias* характерно самое большое в подсемействе число миомеров (75-83). Для личинки характерно отсутствие дорсальных и вентральных меланофоров, имеется скопление меланофоров на эпаксиальной и гипаксиальной частях миосепт на уровне брюшных плавников. Интенсивно пигментирована голова, терминальный отдел кишечника, птеригофоры спинного и анального плавников. На дорсальной плавниковой складке есть 3 крупных меланофора и в задней трети рассеяны точечные, вентральная плавниковая складка пигментирована только под уровнем свободной части кишки.

Данные, представленные в этом исследовании, значительно дополнят имеющиеся данные о развитии видов и диагностических признаках ранних стадий развития видов сем. Stomiidae.

Работа выполнялась по программе госзадания № 0149-2019-0009 и гранта РНФ проект № 19-14-00026.

Список литературы

1) Fricke, R., Eschmeyer, W. N. & R. van der Laan (eds) 2021. ESCHMEYER'S CATALOG OF FISHES: GENERA, SPECIES, REFERENCES.(http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp).

ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ КОЛЬЧАТЫХ ЧЕРВЕЙ (ANNELIDA) АРКТИКИ

Борисова П.Б.[1], **Будаева Н.Е.**[1]

[1]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, Москва*

salixhastata@ya.ru

Ключевые слова: Annelida, ДНК-баркодинг, биоразнообразие, Арктика, COI, бентос

Кольчатые черви являются важным компонентом морских бентосных сообществ и часто доминируют по биомассе и/или численности. Традиционно в этой группе описано много космополитных или широко распространенных видов. До 1970-х годов в научном сообществе доминировала идея, что кольчатые черви отличаются от других групп морских беспозвоночных своим широким распространением и не имеют выраженной биогеографической структуры. Однако детальное изучение морфологии (в частности фокус на деталях строения щетинок) показало большее видовое разнообразие и сократило число видов с широким распространением. Использование молекулярных методов выявило в аннелидах большое число криптических видов. При этом, широко распространенные виды все же существуют среди кольчатых червей, но их число гораздо меньше, чем предполагалось ранее. Таким образом, реальное биоразнообразие аннелид остается неясным и, вероятно, истинное разнообразие этой группы выше, чем оцененное на основе только морфологических данных.

Фауна аннелид Арктики изучена относительно хорошо и на данный момент насчитывает около 700 видов, большая часть которых описана на основе только морфологии. При этом молекулярные данные известны для небольшого числа видов и не для всех регионов. Баркодинг аннелид в канадском секторе Арктики [1] выявил наличие нескольких генетических линий у четверти ранее описанных таксонов, что показывает высокую долю скрытого генетического разнообразия. Данные о генетическом разнообразии большинства видов аннелид из Сибирской Арктики отсутствуют.

В нашей работе мы исследуем генетическое разнообразие кольчатых червей в арктических водах с использованием маркера COI. Оригинальный материал был собран в Карском и Лаптевом морях (72 рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш»). Дополнительный материал из Гренландского, Норвежского и Баренцева морей был изучен в коллекции Музея Университета Бергена (Норвегия). В общей сложности было успешно получено более 500 баркодов из 24 семейств, которые предварительно группируются в 73 MOTU (Molecular Operational Taxonomic Unit). Для нескольких часто встречающихся таксонов, таких как *Aglaophamus*, *Micronephtys*, *Lumbrineris*, *Pholoe* были построены сети гаплотипов. Эти таксоны характеризовались высоким разнообразием гаплотипов и не имели географической структуры в пределах исследуемой территории, что указывает на наличие широко распространенных видов в исследуемой зоне. Сравнение наших данных с опубликованными библиотеками баркодов из Канадской Арктики и Аляски, а также неопубликованными данными из Северо-Восточной Атлантики (Музей Университета Бергена) поможет понять закономерности взаимосвязи между фаунами Арктического, Северо-Атлантического и Северо-Тихоокеанского бассейнов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 18-05-60228

Список литературы

1) Carr C. M. et al. A tri-oceanic perspective: DNA barcoding reveals geographic structure and cryptic diversity in Canadian polychaetes // PLoS one.№ 6(7). 2011. C. e22232.

ВИРИО- И БАКТЕРИОПЛАНКТОН ОСЕННЕГО ПЕРИОДА В БЕССТОКОВЫХ РАЙОНАХ ДВУХ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

Венгер М.П.[1], **Болтенкова М.А.**[1], **Махотин М.С.**[2]

[1]*Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск*

[2]*Арктический и антарктический НИИ, г. Санкт-Петербург*

venger@mmbi.info

Ключевые слова: вириопланктон, бактериопланктон, Карское море, Баренцево море

С приходом осени в арктических морях снижается интенсивность синтеза нового органического вещества (ОВ) и в экосистемах пелагиали начинают доминировать деструкционные процессы. Их основная часть протекает при участии микробной пищевой сети, при этом вирусы за счет т.н. шунта могут способствовать ее частичному размыванию. Сравнительно малая изученность вирио- и бактериопланктона этого периода в северных морях России [1] и обусловила актуальность наших исследований. Их цель включала определение количественных характеристик наиболее массовых компонентов планктона и особенностей их распределения в водах Карского и Баренцева морей в осенний сезон.

Материал собран *по стандартным горизонтам* в III декаде сентября в 2013 г. (Карское море, разрез вдоль 77° с.ш., от 68 до 88° в.д.) и 2011 г. (Баренцево море, разрез «Кольский меридиан», от 70 до 78° с.ш.). Подсчет вирусных частиц и бактериальных клеток осуществляли стандартным методом эпифлуоресцентной микроскопии с использованием флуорохромов SYBR Green I и DAPI.

В районе карскоморского разреза с глубинами 25-98 м (5 станций) и 500 м (1 станция) толщина прогретого слоя и его температура понижались в восточном направлении (соответственно, от 0-100 до 0-20 м и от 2.7-5.2° до 0.7-1.0° С). Диапазон солености на разрезе составлял 31.8-34.8 епс. Более низкие значения (29.0-31.1 епс) выявлены в водах самой мелководной восточной станции (-0.3. . .-0.1° С) с дрейфующим льдом.

На баренцевоморском разрезе выделено три участка: южный, занятый водами прибрежья (34.2-34.8 епс), центральный - водами Атлантики (34.3-35.1 епс) и северный - водами смешанного генезиса (33.6-34.9 епс), на которых выполнено 4, 10 и 4 станции соответственно. Водная толща южного участка (глубины 250-260 м) была прогрета до 2.5-9.0° С, центрального (280-300 м) - до 1.0-8.9° С, северного (160-190 м) - до 0.7-4.3° С. Температуры ниже нуля отмечены в слое 200 м-дно (станция центральной части разреза) и в слое 50-100 м (4-х северных станций), который подстилали более теплые воды (0.8-1.4° С).

В Карском море количество свободных вирусов (0.3-12.2 млн частиц/мл) превышало обилие бактерий, в среднем в 33 раза (от 1 до 154). Рассчитанное количество контактов между ними (R) составило 0.1-3.3 (среднее 0.9) за сутки. Повышенные концентрации вирусных частиц наблюдались в верхней части водной толщи до глубины 10-25 м, с максимумами на двух станциях - глубоководной (11.3±0.8 млн в 1 мл, слой 0-25 м,) и расположенной во льдах (9.7±1.2 млн в 1 мл, слой 0-10 м). Минимум обилия (3.2±0.7 млн частиц/мл) практически повсеместно характеризовал придонные воды. Численность бактерий на разрезе изменялась от 0.1 до 0.6 млн кл/мл, биомасса - от 0.8 до 10.8 мгС/м^3. Значения параметров достаточно равномерно распределялись по вертикали, и в слое толщиной от 0 до 10-25 м (0.2±0.04 млн кл/мл и 3.5±0.7 мгС/м^3) достоверно не различались с таковыми в слое придонных вод (0.1±0.01 млн кл/мл и 2.2±0.4 мгС/м^3).

В Баренцевом море обилие вирусов изменялось от 0.6 до 46.7 млн частиц/мл, превышая обилие бактерий в среднем в 5 раз (1-11). Величина (R) составляла 0.4-143.3 (среднее 12.7) за сутки. Минимальное количество вирусных частиц отмечено на северном участке разреза, при этом в слое 0-25 м и в слое придонных вод оно было сопоставимо (соответственно, 1.7±0.3 и 1.5±0.1 млн в 1 мл). Максимальная концентрация характеризовала воды слоя 0-25 м на юге и в центре разреза (соответственно, 8.3±1.1 и 11.1±2.0 млн в 1 мл), снижаясь ко дну до 3.5±0.7 и 2.8±0.7

млн в 1 мл соответственно. Численность бактериопланктона составляла 0.3-2.9 млн кл/мл, биомасса 4.1-35.1 мгС/м^3. Повышенные величины этих показателей выявлены в слое 0-25 м на всех участках разреза: 2.0±0.1 млн кл/мл и 25.0±2.1 мгС/м^3 (южный), 1.6±0.1 млн кл/мл и 22.2±1.0 мгС/м^3 (центральный), 1.2±0.2 млн кл/мл и 18.0±2.1 мгС/м^3 (северный). С глубиной значения снижались и в придонных слоях трех участков достоверно не различались между собой, составляя в среднем по станциям 0.5±0.1 млн кл/мл и 7.6±0.6 мгС/м^3.

Сравнение показало, что в конце сентября на двух разрезах повышенным содержанием бактерий выделялся слое 0-25 м. Их численность и биомасса в Баренцевом море снижалась ко дну в среднем в 3 раза и превышала аналогичные величины в водной толще Карского моря, где бактериопланктон распределялся относительно равномерно. По уровню его развития трофический статус вод (по Сорокину, [2]) Баренцева моря (мезотрофный) превышал статус карскоморских вод (олиготрофный). Причина такого различия, вероятно, обусловлена тем, что на большей части акватории Баренцева моря в сентябре состояние фитопланктона оценивается как предосеннее, которому свойственна серия второстепенных пиков в развитии [3]. В Карском море, где годовой цикл пелагических альгоценозов редуцирован, их состояние в конце сентября уже соответствует зимней стадии покоя, при которой численность и биомасса микроводорослей находится в пределах, соответственно, от 250-300 кл/л и 2 мкг/м^3 (восточная часть разреза, данные А.А. Олейника) до 40-104 тыс. кл/л и 25-79 мг/м^3 (северо-западная часть моря, [4]).

Торофность вод, контролируя метаболизм хозяина, лишь косвенно влияет на продукцию вирусных частиц. Являясь наиболее массовым компонентом планктона, они имели сопоставимые диапазоны обилия в водах двух разрезов. Количество вирусов повсеместно превышало количество бактерий. Величина этого показателя в олиготрофных карскоморских водах превосходила таковую в более продуктивных баренцевоморских - в 6 раз и соответствовала значениям в поверхностных водах Арктики летом [5]. Повышенная численность вирусов, являясь следствием литической инфекции, может свидетельствовать об их активном влиянии на смертность бактериопланктона в период перехода к зимнему сезону. При этом количество контактов между вирусами и бактериями в Карском море повсеместно было незначительным, чему, вероятно, способствовала повышенная вязкость воды на фоне ее пониженных температур. Также не исключено, что в состав вириопланктона карскоморского разреза частично входили вирусы мелких размерных фракций наннопланктона, доминирующего в этот период в составе арктических альгоценозов [4, 6].

Авторы выражают искреннюю благодарность ст.н.с., к.б.н. Т.И. Широколобовой за оказанную всестороннюю помощь в работе.

Работа выполнена в рамках госзадания ММБИ РАН.

Список литературы

1) Копылов А.И., Сажин А.Ф., Заботкина Е.А., Романова Н.Д., Вириопланктон Карского моря: влияние вирусов на смертность гетеротрофных бактерий // Океанология. 2015. Т. 55, № 4. С. 620–631.

2) Сорокин Ю.И., Вшивцев В.С., Домников В.С. Биологическая структура вод, ее изменчивость и состояние гидробионтов / Техногенное загрязнение и процессы естественного самоочищения. – М.: Недра, 1996. С. 266–312.

3) Планктон морей Западной Арктики. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1997. 352 с.

4) Суханова И.Н., Флинт М.В., Дружкова Е.И., Сажин А.Ф., Сергеева В.М. Фитопланктон северо-западной части Карского моря // Океанология. 2015. Т.55, № 4. С. 605–619.

5) Steward G.F., Fandino L.B., Hollibaugh J. T., Whitledge T. E., Azam F. Microbial biomass and viral infections of heterotrophic prokaryotes in the sub-surface layer of the central Arctic Ocean // Deep-Sea Research I. 2007. V. 54. P. 1744–1757.

6) Wassmann P., Reigstad M., Haug T. et al. Food webs and carbon flux in the Barents Sea // Prog. Oceanogr. 2006 Vol. 71 P. 232–287.

ЛИПИДНЫЙ ПРОФИЛЬ ОКУНЯ-КЛЮВАЧА *SEBASTES MENTELLA* МОРЯ ИРМИНГЕРА В ГРАДИЕНТЕ ГЛУБИН

Воронин В.П.[1], **Мурзина С.А.**[1], **Руоколайнен Т.Р.**[1], **Немова Н.Н.**[1], **Артеменков Д.В.**[2], **Рольский А.Ю.**[3], **Орлов А.М.**[2,4]

[1] *Институт биологии - обособленное подразделение Федерального исследовательского центра "Карельский научный центр Российской академии наук" (ИБ КарНЦ РАН), г. Петрозаводск*

[2] *Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), г. Мосвка*

[3] *Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича (ПИНРО), г. Мурманск*

[4] *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН), г. Москва*

voronen-viktor@mail.ru

Ключевые слова: липиды, жирные кислоты, окунь-клювач, морской окунь, Арктика, Северная Атлантика

Окунь-клювач, или клюворылый окунь *Sebastes mentella* - широко распространённый и массовый промысловый вид рыбы Северной Атлантики, обитающий в диапазоне глубин от нескольких метров до 1441 метров, при этом основная его часть сосредоточена в мезопелагиали (200-1000 метров) [1]. Изучение образа жизни этого вида, способного обитать на больших глубинах в условиях высокого давления, низких температур, абсолютной темноты и других суровых биотических и абиотических факторов [2], приобретает особую актуальность для выявления морфологических и физиологических адаптаций. Вопросам биологии, экологии, особенностям внутривидовой структуры и распространению окуня-клювача посвящен ряд работ [1,3,4]. Однако менее исследованными остаются эколого-биохимические адаптации окуня к обитанию в условиях глубоководной зоны, его способность к совершению вертикальных миграций и биохимические компенсаторные модификации с ними связанные. Изучение состава липидов и их вариаций, как одних из наиболее интегральных и при этом лабильных компонентов организма, позволит внести ясность как в обозначенные вопросы, так и многие другие, связанные с жизнедеятельностью окуня-клювача в Северной Атлантике.

Липидный профиль мышечной ткани самок и самцов окуня-клювача, отловленного на разных глубинах моря Ирмингера, был изучен с помощью различных методов хроматографии. Полученные результаты оценены как статистически, так и с использованием различных алгоритмов машинного обучения.

Установлено, что содержание общих липидов (ОЛ) в мышечной ткани самцов и самок при изменении глубины достоверно не изменяется. При этом показано, что с глубиной ОЛ снижались у самцов, а у самок - увеличивались, что указывает на половые различия компенсаторных реакций на уровне липидов к вертикальному перемещению в толще воды (вертикальная миграция). Подтверждением этому является доминирование эфиров холестерина (ЭХС) по сравнению с триацилглицеринами (ТАГ), а также высокое содержание восков. Для вертикально-мигрирующих видов, к которым относится и окунь-клювач, одним из механизмов биохимической адаптации к обитанию на глубине в условиях сезонного дефицита пищи, а также осуществляющих вертикальные миграции, является высокое содержание восков и ЭХС. Эти липидные классы обеспечивают не только энергетические нужды организма, но и участвуют в поддержании плавучести, обеспечивая независимые по глубине (на сотни метров) и частоте миграции в толще воды в течение суток. Обнаружены количественные вариации отдельных фракций фосфолипидов (ФЛ), структурных липидов: мажорных по количеству - фосфатидилхолина (ФХ) и фосфатидилэтаноламина (ФЭА), а также таких минорых компонентов как фосфатидилинозитол (ФИ) и фосфатидилсерин (ФС) у самок и самцов окуня. Установлена обратная корреляция данных ФЛ у рыб с глубиной, что

указывает на их участие в реорганизации физико-химического состояния биомембран, чем обеспечивается гомеостаз среды для функционирования многих мембраносвязанных ферментов и их ансамблей.

Анализ жирнокислотного (ЖК) спектра позволил выявить высокое количество эссенциальных полиненасыщенных ЖК (ПНЖК): докозагексаеновой ЖК, ДГК, (до 30% от суммы ЖК) и эйкозапентаеновой ЖК, ЭПК, (до 10% от суммы ЖК) в мышцах окуня, при этом содержание этих ЖК у рыб увеличивалось с глубиной. Ранее нами было показано [5], что поддержание ненасыщенности липидов у арктических рыб, достигается за счет ПНЖК, особенно ЭПК и ДГК, в мышцах и связано с повышенной или специфической двигательной активностью организма в определенных условиях (течения, турбулентные потоки, соленость, глубина, температура) местообитаний, что, в конечном счете, направлено на обеспечение гомеостаза внутренней среды для поддержания оптимальной активности мембраносвязанных ферментов при общем повышении уровня метаболизма. Более того, высокое количество ДГК и ЭПК определяет пищевую и лечебно-профилактическую значимость и ценность филе окуня для человека, обеспечивая необходимое поступление «омега-3» ЖК. Известно, что ДГК и ЭПК обладают иммуномодулирующими, общеукрепляющими для человека свойствами, а также эффективно используются в терапии сердечно-сосудистых заболеваний и когнитивных расстройств. Среди мононенасыщенных ЖК (МНЖК) в мышцах окуня были идентифицированы пищевые маркеры зоопланктона (копепод) - 20:1(n-9) и 22:1(n-11), содержание которых в исследуемой ткани было ниже у особей, выловленных на больших глубинах, что указывает на меньший вклад зоопланктона в рацион питания этих рыб, населяющих глубоководные горизонты. С другой стороны, полученные результаты также следует обсуждать с позиции избирательности аккумуляции отдельных ЖК по выполняемой ими компенсаторной функции: использование «зоопланктонных» МНЖК для получения энергии (в составе ТАГ), в то время как имеющие фитопланктонное происхождение ПНЖК - ЭПК и ДГК, которые у окуня с глубиной повышаются, в большей степени связано с их участием в регуляции состояния биомембран.

Исследование выполнено в рамках государственного задания КарНЦ РАН № 0218-2019-0076 и Гранта Президента для молодых докторов наук МД-5761.2021.1.4.

Список литературы

1) Мельников С.П. Океанический окунь-клювач Северной Атлантики: биология и промысел. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2006. – 111 с.

2) Haedrich R.L. Deep-water fishes: evolution and adaptation in the earth's largest living spaces // Journal of Fish Biology. – 1996. – V. 49. – P. 40-53.

3) Magnússon J., Magnússon J.V., Sigurdsson T. On the distribution and biology of the oceanic redfish in March 1995. ICES CM: G40. – 1995. – 14 p.

4) Филина Е.А., Рольский А.Ю., Бакай Ю.И., Попов В.И., Макеенко Г.А. Особенности репродуктивного цикла самок окуня-клювача *Sebastes mentella* (Sebastinae) // Вопр. ихтиологии. – 2017. – Т. 57, № 1. – С. 89-95.

5) Murzina S.A., Pekkoeva S.N., Kondakova E.A., Nefedova Z.A., Filippova K.A., Nemova N.N., Orlov A.M., Berge J., Falk-Petersen S. Tiny but Fatty: Lipids and Fatty Acids in the Daubed Shanny (*Leptoclinus maculatus*), a Small Fishin Svalbard Waters // Biomolecules. – 2020. – V. 10, No. 3. – P. 1-24.

БИОМАРКЕРЫ ПОВЕДЕНЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ МОЛЛЮСКОВ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО БИОМОНИТОРИНГА В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНОЙ СРЕДЫ НЕФТЯНЫМИ УГЛЕВОДОРОДАМИ И БУРОВЫМ ШЛАМОМ

Вышкваркова Е.В., Трусевич В.В., Греков А.Н., Кузьмин К.А., Мишуров В.Ж., Журавский В.Ю.

Институт природно-технических систем, Севастополь

aveiro_7@mail.ru

Ключевые слова: черноморская мидия, поведенческие реакции, автоматизированный биомониторинг.

Необходимым условием организации правильного функционирования автоматизированной системы биомониторинга является исследование особенностей поведенческих реакций в нормальных условиях [1], а также оценка чувствительности аборигенных моллюсков к воздействию компонентов буровых растворов и шламов, нефти и нефтепродуктов.

Цель работы - с использованием разработанного комплекса [2] провести исследование чувствительности черноморской мидии к воздействию дизельного топлива и бурового шлама, содержащего большое количество высокотоксичных компонентов.

Работа проведена в лабораторных условиях с использованием черноморской мидии (Mytilus galloprovincialis Lam. 1819), размером 55-60 мм, добытых из зоны моря, из которой осуществлялась закачка воды для проточного аквариума. Исследовали чувствительность моллюсков к воздействию экстрактов бурового шлама, полученного с буровой платформы (скважина № 26 Черноморнефтегаза). Ежедневно, в течение 2-х часов, на протяжении 3 дней, оценивалась реакция моллюсков на воздействия одной из последовательно возрастающих концентраций экстрактов бурового шлама, соответствующих навескам шлама 25, 50 и 500 мг/литр воды в аквариуме.

В качестве модельного объекта нефтяного загрязнения использовали водную эмульсию дизельного топлива в соотношении 1:1 (объемы 0,0125 и 0,025 мл/л). Эти величины эквивалентны содержанию 0,01 и 0,021 мг/л дизтоплива и соответствует концентрациям 0,25 и 0,5 ПДК, установленных Гигиеническими нормативами РФ для морских вод по нефтяному загрязнению для гидробионтов. Подробное описание экспериментов представлено в работе [3]. Моллюски показали острую реакцию на присутствие в воде токсикантов. На протяжении всего периода присутствия экстрактов бурового шлама и дизельного топлива, после резкого синхронного снижения амплитуды раскрытия створок в первые минуты эксперимента (на 30% при концентрации 25 мг/л, на 40% и 50% при возрастающих концентрациях бурового шлама; снижение до 28 и 17% на разные концентрации дизельного топлива), в дальнейшем, поведение моллюсков, при сниженной амплитуде раскрытия створок, представляет собой несинхронное бессистемное хлопание створок, чередующееся с частыми периодами закрывания створок до уровня 2-3% на непродолжительное время (3-5 минут). После снятия воздействия тосикантов у моллюсков еще до момента полной замены воды в аквариуме отмечается быстрое восстановление амплитуды раскрытия створок. Полное восстановление амплитуды раскрытия створок отмечается через 2-4 часа после снятия воздействия в зависимости от концентрации загрязняющего вещества.

Оценивая характер поведенческих реакций моллюсков в наших экспериментах, можно сделать вывод, что использованные нами концентрации экстрактов бурового шлама и дизельного топлива по своему воздействию следует отнести к токсическим воздействиям невысокой интенсивности.

Выбранные нами в экспериментах концентрации буровых растворов и дизельного топлива, а также продолжительность воздействия не вызывают глубоких, необратимых нарушений метаболизма, но позволяют четко обнаруживать защитную реакцию моллюсков, что и необходимо для

оценки правильности функционирования разработанной нами системы биосенсорного мониторинга

Черноморские мидии демонстрируют высокую чувствительность к появлению в среде обитания экстрактов буровых шламов и дизельного топлива, уже в концентрациях характерных для малотоксичных зон в районах нефте- и газодобычи, и проведения буровых работ. Моллюски остро реагируют на присутствие дизельного топлива в среде на уровне ниже величины 0,25 ПДК.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и города Севастополь в рамках научного проекта № 18-45-920061.

Список литературы

1) Трусевич В.В., Кузьмин К.А., Мишуров В.Ж., Журавский В.Ю., Вышкваркова Е.В. Особенности поведенческих реакций черноморской мидии Mytilus galloprovicialis в естественных условиях обитания // Биология внутренних вод № 1. 2021. С. 12–22

2) Трусевич В.В., Гайский П.В., Кузьмин К.А. Биомаркеры поведенческих реакций черноморской мидии для автоматизированного биомониторинга экологического состояния водной среды // Системы контроля окружающей среды № 1 (21). 2015. С. 13–18

3) Трусевич В.В., Журавский В.Ю., Вышкваркова Е.В., Кузьмин К.А., Мишуров В.Ж. Биомаркеры поведенческих реакций мидий в системах автоматизированного биомониторинга в условиях загрязнения водной среды буровыми шламами и нефтяными углеводородами // Системы контроля окружающей среды № 4 (42). 2020. С.50–57

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТИХООКЕАНСКИХ ВОД В ПЕРИОД ПРЕДАНАДРОМНОЙ МИГРАЦИИ ЛОСОСЕЙ И ОТКОЧЕВКИ ИХ МОЛОДИ В ОТКРЫТЫЕ ВОДЫ

Гордеев И.И., Шевляков В.А.

ФГБНУ "Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии", г. Москва

gordeev_ ilya@bk.ru

Ключевые слова: Берингово море, Охотское море, рыбное хозяйство, морская биология, Onchorhynch

Дальневосточный рыбохозяйственный бассейн является областью интенсивного рыболовства, как в пресных водоемах, так и территориальных водах, исключительной экономической зоне Российской Федерации и в прилегающих акваториях Тихого океана. Около 80% вылова водных биологических ресурсов в России приходится на Дальний восток.

Тихоокеанские лососи являются одними из наиболее ценных промысловых рыб, чей суммарный улов на Дальнем Востоке в последние годы бьет исторические рекорды, достигнув в 2018 году 677 тыс.т. [1]. Благодаря возврату биогенов и биомассы из океана на сушу, жизненный цикл этих анадромных рыб играет немаловажную роль в функционирование не только водных, но и наземных экосистем.

Значительная межгодовая извенчивость таких взаимосвязанных параметров морской среды как ледовитость, температура вод эпипелагиали и продуктивность, делает выживаемость лососей в их морской период жизни сложно прогнозируемым параметром. В особенности это касается горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792), чей жизненный цикл продолжатся всего два года и чьи подходы на нерест сильно варьируют, в том числе между четными и нечетными годами. Для прогнозирования подходов и уловов горбуши, Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО») проводит две масштабные съемки: в период преданадромной миграции лососей в северо-западной части Тихого океана (май-июль), и в период откочевки сеголеток и молоди в места нагула (сентябрь-ноябрь). В процессе съемок, которые проводятся на судах проекта Атлантик-833 (ГДР), производится комплексный сбор информации о состоянии акватории, гидрологические, гидрохимические и метеорологические данные, производится наблюдение за морскими млекопитающими, берутся планктонные пробы, проводятся учетные траления. Биологические исследования включают анализ видового состава, стадии зрелости, состава питания наиболее ценных промысловых видов рыб. В 2018 и 2019 году на борту НИС «Профессор Кагановский» также проводился сбор образцов для изучения особенностей лейкоцитарной формулы и гемопоэза горбуши, кеты и северного одноперого терпуга, а также более 30 видов рыб было обследовано на предмет заражения макропаразитами [2, 3].

В результате проведенных съемок была оценена численность и биомасса всех представителей нектона и макропланктона. Выявлены особенности пространственного распределения массовых представителей эпипелагического нектона и медуз, получены их количественные оценки, определён уровень численности горбуши и других лососей.

Работа выполнены в рамках Госзадания ФГБНУ "ВНИРО" № 076-00005-20-02

Список литературы

1) Гордеев, И.И. Вольный лосось: трудности прогнозирования уловов тихоокеанских лососей / И.И. Гордеев, Н.В. Кловач // Природа. - 2019. - № 3. - С. 22–27.

2) Гордеев, И.И. Траловая учётная съёмка тихоокеанских лососей на НИС «Профессор Кагановский» в северно- западной части Тихого океана (май-июль 2018 г.) / И.И. Гордеев, А.Н. Старовойтов, С.С. Пономарев, В.А. Шевляков, П.А. Милованкин // Труды ВНИРО. - 2018. - № 171. - С. 208-213.

3) Гордеев, И.И. Траловая учётная съёмка тихоокеанских лососей на НИС «Профессор Кагановский» в Беринговом и Охотском морях (сентябрь-октябрь 2019 г.) / И.И. Гордеев, В.А. Шевляков, Д.С. Курносов, С.С. Пономарев, А.В. Кожевников, Т.А. Чистякова, А.О. Безверхняя, А.Е. Жильцов, В.А. Свидерский, А.Ю. Шейбак // Труды ВНИРО. - 2019. - №. 178. - С. 200-205.

ОБЗОР РАЗНООБРАЗИЯ И СОСТОЯНИЯ ИЗУЧЕННОСТИ СИМБИОТИЧЕСКИХ КОПЕПОД, ОБИТАЮЩИХ НА ВОСЬМИЛУЧЕВЫХ КОРАЛЛАХ МИРОВОГО ОКЕАНА

Гришина. Д.Ю., Коржавина О.А., Иваненко В.Н.

Кафедра зоологии беспозвоночных, Биологический факультет, Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия

dairiagrishina00@gmail.com

Ключевые слова: копеподы, кораллы, симбиоз, паразитизм, базы данных, биоразнообразие, специфичность, распространение

Симбиотические копеподы образуют разнообразные ассоциации с широким спектром хозяев среди различных групп беспозвоночных. В то же время микроскопические симбиотические веслоногие ракообразные остаются недостаточно исследованными, что, во многом, связано с нехваткой специалистов, сложностью сбора проб и трудностью определения видовой принадлежности. Данная работа - первый анализ данных известных о разнообразии, а также состоянии изученности симбиотических копепод, обитающих на восьмилучевых кораллах Мирового океана.

В ходе работы было найдено и проанализировано 90 статей, изданных в период с 1858 года по 2020 год. В созданной нами оригинальной базе данных, связанной с ГИС и, частично расположенной на портале GBIF [1], содержатся данные о 883 уникальных находках 235 видов копепод 52 родов 17 семейств 3 отрядов и обитающих на 181 видах 71 родов 27 семейств 3 отрядов восьмилучевых кораллов. Симбиотические копеподы восьмилучевых кораллов были отмечены в 8 из 12 экорегионов Мирового океана [2]. Наибольшее число исследованных акваторий относится к таким экорегионам, как умеренные воды северной Атлантики, центральная Индо-Пацифика и западная Индо-Пацифика. К этим экорегионам относится и наибольшее число находок копепод. Большая часть находок копепод отмечена на глубинах, не превышающих 30 м, что связано с большей изученностью симбионтов мелководных кораллов. Анализ базы данных показал, что кораллы образуют ассоциации с не более чем 5 видами копепод, причем кораллов с 4 или 5 видами копепод, отмечены, как правило, только у 1 или 2 видов каждого семейства кораллов.

Среди многих групп хозяев на предмет установления симбиоза с веслоногими ракообразными изучено довольно мало видов. Только для 7 из 27 семейств процент видов, для которых в ходе работы установлено формирование ассоциаций с копеподами, превышает 15% от общего числа видов. Это может быть связано с недостаточной изученностью симбионтов восьмилучевых кораллов. Анализ выявил отсутствие данных о симбиотических копеподах, обитающих на большинстве из 3470 известных видов октокораллов [3].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-54-34007

Список литературы

1) 1). Grishina D., Korzhavina O., Ivanenko V. Global diversity and distributions of symbiotic copepod crustaceans living on octocorallians. Version 1.5. Lomonosov Moscow State University. // Global Biodiversity Information Facility. 2020. doi: 10.15468/msp4n8
2) 2). Spalding M. D. et al. Marine ecoregions of the world: a bioregionalization of coastal and shelf areas // BioScience. – 2007. – Т. 57. – №. 7. – С. 573-583.
3) 3). WoRMS Editorial Board 2021. World Register of Marine Species. Available from http://www.marinespecies.org

БИОТИЧЕСКИЕ И АБИОТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ПОЛЯ БИОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В ЧЕРНОМ МОРЕ В ЛЕТНИЙ СЕЗОН

Дегтяр И.В.[1], **Евстигнеев В.П.**[1], **Серикова И.М.**[2], **Пионтковский С.А.**[1]

[1]*ФГАОУ ВО "Севастопольский государственный университет", г. Севастополь*

[2]*ФИЦ ИнБЮМ РАН, г. Севастополь*

skuratovskaya95@mail.ru

Ключевые слова: биолюминесценция, зоопланктон, фитопланктон, Черное море, термохалинная структура вод

Биолюминесценция является широко распространенным явлением в океане- от поверхностных вод до батипелагиали и от тропиков, и до полярных широт [1]. Источником биолюминесценции являются разнообразные организмы (бактерии, фито-, зоопланктон, рыбы), испускающие видимый свет при внешнем возбуждении, а также, спонтанно. Феномен биолюминесценции используется для изучения продукционных свойств и устойчивости планктонных сообществ, что имеет важное значение в решении задач рационального использования биоресурсов Мирового океана. Имеющиеся данные регистрации биолюминесценции *in situ* свидетельствуют о том, что, как правило, высокий потенциал поля биолюминесценции (ПБ) относится к высокопродуктивным районам океана [2], в то время как олиготрофные районы характеризуются малыми величинами биолюминесценции. Есть основание полагать, что в масштабах океана, распределение ПБ вполне соответствует распределению биомассы планктона [3]. В частности, отмечено соответствие между крупномасштабными распределением БП и содержанием хлорофилла-а (Хла), как основного показателя биопродуктивности океана [4]. Последнее обстоятельство позволяет считать перспективном создание региональных алгоритмов пересчета-“спутниковый Хла - БП” и наоборот [5]. Однако, в масштабах отдельные регионов, соотношение светящихся автотрофов и гетеротрофов может изменяться, а динамика биолюминесценции может не соответствовать сукцессии доминирующих видов [4]. Черное море различается трофностью вод (например, северо-западный шельф, и глубоководная часть моря) [6], в которых сукцессия планктонного сообщества также имеет региональные различия [7]. Помимо этого, существуют региональные особенности сезонной изменчивости. Например, для глубоководной части Черного моря характерна U-образная кривая изменения биомассы фитопланктона [8], и хлорофилла-а [9], в то время как для северо-западного шельфа отмечаются несколько максимумов биомассы и Хла, чаще всего приуроченные к летне-осеннему периоду. Согласованность поля биолюминесценции со структурно-функциональными характеристиками планктонного сообщества установлена для отдельных сезонов [10].

В настоящей работе предпринята попытка возможность количественной оценки групп зоопланктонного и фитопланктонного сообщества в фотическом слое моря по интенсивности биолюминесценции и наоборот для летнего сезона. Дополнительно исследован вопрос согласования поля биолюминесценции с полем содержания хлорофилла-а в поверхностном слое моря. На основе данных зондирования интегрального биолюминесцентного потенциала (ИБП) водной толщи и проб отбора фитопланктона в поверхностном слое (около 0,2 м) и зоопланктона в толще трех слоев во время экспедиции НИС “Профессор Водяницкий” с 18 по 29 августа 2011 г. в открытых водах Чёрного моря были выявлены типичные вертикальные профили ИБП в разных водных массах, установленных по данным одновременного зондирования температуры и солености. Характерные максимумы интенсивности на профилях биолюминесценции приурочены к слоям естественной стратификации - сезонному термо- и галоклину.

Проведен корреляционный и регрессионный анализ между количественными характеристиками фито- и зоопланктона и параметрами ИБП. Показана значимая линейная связь интенсивности

свечения с общей биомассой динофитовых водорослей и отдельно светящихся видов в приповерхностном слое. В слое от поверхности до горизонтов глубин 30-40 м получена связь ИБП с биомассой разных таксономических групп зоопланктона, однако значимая связь была получена для биомассы копепод.

Для оценки содержания Хла в поверхностном слое были привлечены данные спутникового зондирования MODIS Aqua. Высокие значения выборочных коэффициентов корреляции были получены между содержанием Хла и суммарной численностью фитопланктона, а также биомассой динофитовых водорослей и светящихся видов. Это обусловило тесную корреляционную связь пространственного распределения поля биолюминесценции, измеренного с борта судна, и концентрации Хла, полученного при дистанционных зондированиях.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФИЦ ИнБЮМ РАН (№ АААА-А-18-118020790229-7), а также гранта СевГУ (№ 42-01-09/90/2020- 3).

Список литературы

1) Haddock S. H. D., Moline M. A., Case J. F. Bioluminescence in the sea //Annual review of marine science. – 2010. – Т. 2. – С. 443-493.

2) Piontkovski S. A., Tokarev Y. N., Levin L. A. A comparison of bioluminescence and chlorophyll fields of the world ocean //Bioluminescence And Chemiluminescence. – 2007. – С. 261-264.

3) Lapota D. Long-term and seasonal changes in dinoflagellate bioluminescence in the Southern California Bight. – 1999.

4) Moline M.A., Oliver M.J., Orrico C., Zaneveld R., Shulman I. Bioluminescence in the sea // In: Watson, J. and Zielinski, O. (Eds.), Subsea Optics and Imaging, Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials, 2014. P.134-170.

5) Tokarev Y. et al. Some Theoretical and Applied Aspects of the Oceanic Bioluminescence Registration from Space //Advances in Bioscience and Biotechnology. – 2017. – Т. 8. – №. 09. – С. 283.

6) Заика В. Е. О трофическом статусе пелагических экосистем в разных регионах Черного моря //Морской экологический журнал. – 2003. – Т. 2. – №. 1. – С. 5-11.

7) Mikaelyan A. S. et al. Regional climate and patterns of phytoplankton annual succession in the open waters of the Black Sea //Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers. – 2018. – Т. 142. – С. 44-57.

8) Кривенко О. В., Пархоменко А. В. Пространственная и временная изменчивость биомассы фитопланктона в Чёрном море за период 1948-2001 гг //Морской экологический журнал. – 2010. – Т. 9. – №. 4. – С. 5-24.

9) Финенко З. З., Суслин В. В., Ковалева И. В. Сезонные и многолетние изменения концентрации хлорофилла в Черном море по спутниковым наблюдениям //Океанология. – 2014. – Т. 54. – №. 5. – С. 635-635.

10) Serikova I. M. et al. Comparison of spatial distribution and seasonal variation of the bioluminescence and chlorophyll-a concentration fields in the northern part of the Black Sea //24th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. – International Society for Optics and Photonics, 2018. – Т. 10833. – С. 108335S.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ХАРАКТЕРА ПИТАНИЯ ТРЕХИГЛОЙ КОЛЮШКИ (GASTEROSTEUS ACULEATUS L.) В ПЕЛАГИЧЕСКОЙ И ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНАХ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Демчук А.С., Полякова, Н.В., Иванов М.В., Иванова Т.С., Лайус Д.Л.

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

anndemch@gmail.com

Ключевые слова: трехиглая колюшка; Gasterosteus aculeatus; спектр питания; Белое море

Трехиглая колюшка *Gasterosteus aculeatus* (Linnaeus, 1758) на данный момент самая многочисленная пелагическая рыба Белого моря [1]. Взрослая колюшка проводит большую часть года в пелагиали за исключением нескольких недель в году, когда приходит к берегам на нерест. Под пелагиалью в данном исследовании принимаются все воды, отдаленные от берега более чем на 200 м, и с глубинами более 10 м, т.е. там, где точно не могли нереститься колюшки. Целью данной работы является сравнение спектра питания трехиглой колюшки в пелагической и прибрежной зонах в летний период на примере Кандалакшского залива Белого моря.

Материал собирали в 2019 и 2020 гг. неподалеку от учебно-научной базы (УНБ) СПбГУ в Керетском архипелаге Кандалакшского залива Белого моря. Сбор проб колюшки на нерестилищах осуществляли однократным ловом мальковым равнокрылым неводом длиной 7.5 м, невод заводили на 30 м от берега. Количественные исследования в пелагиали проводили небольшим близнецовым тралом (4 х 1м) в поверхностном слое с длиной протяжки 450 м и скоростью 2,7 км/ч. Кроме проб для изучения питания параллельно собирали пробы зоопланктона для оценки кормовых ресурсов. Пробы зоопланктона отбирали на разных горизонтах в пелагиали (30-40 м, 20-30 м, 10-20 м, 0-10 м) и только в верхнем горизонте в прибрежье. Все пробы собранные для анализа питания и пробы зоопланктона обрабатывали по описанной ранее методике [2,3].

Питание взрослой колюшки на нерестилищах оказалось значительно разнообразнее, чем в пелагиали. Показатели индекса разнообразия Шеннона-Уивера для спектра питания самок в 4 раза больше в прибрежье (0,52 и 1,93), а для самцов в 2 раза (0,79 и 1,57). В период подхода рыб к местам нереста мы наблюдаем увеличение разнообразия пищевых компонентов, а при отходе с нерестилищ, наоборот, наблюдается уменьшения числа компонентов питания. Например, у рыб в пелагиали в начале июня и в августе рацион состоял из 7 и 11 компонентов соответственно, с явным доминированием (до 90%) в спектре питания одного - *Calanus glacialis* в июне и *Podon leuckarti* в августе. В прибрежных пробах в июне-июле число объектов питания доходило до 33 компонентов, снижаясь до 17 в местах временного скопления рыб в открытых акваториях недалеко от мест нереста. Причем, видимо, вследствие значительно большего разнообразия спектра питания рыб в прибрежье, в нем стабильно доминируют два-три компонента, а не один, как в пелагиали.

В зоопланктоне в открытых частях моря в начале июня преобладали мелкие формы, такие как *Microsetella norvegica, Triconia borealis* и др. Однако, в питании колюшек мелкие формы зоопланктона были обнаружены единично, следовательно, можно предположить наличие возможной размерной избирательности рыб в пользу более крупных кормовых объектов. Из всего сообщества пелагического зоопланктона начала июня колюшка активно потребляла два компонента (до 99% спектра питания) — это *Calanus glacialis и Limacina helicina.* Веслоногий рачок *C. glacialis* в поверхностном слое воды был представлен в основном младшими копеподитными стадиями (2-3 ст.), старшие копеподиты и половозрелые особи также присутствовали, но в меньшем количестве и уже преимущественно в горизонтах 20-30 м и 30-40 м. Крылоногие моллюски *L.helicina* в пробах были представлены исключительно ювенильными формами, их так же отмечали на разных

горизонтах, но наиболее массово их скопления были отмечены на горизонте 30-40 м. Также следует отметить *Parasaggita elegans* (щетинкочелюстные), она присутствовала постоянно и в питании рыб, и в зоопланктоне, причём единичные крупные особи, которые и потреблялись рыбами, были отмечены в более глубоких горизонтах, а ближе к поверхности наблюдалось скопление мелких особей численностью до 320 экз./м^3. Базируясь на спектрах питания рыб, экологических особенностях кормовых организмов и их распределении в толще воды на основе зоопланктонных проб можно предположить, что производители колюшки подходят в прибрежную зону не по поверхностности, а на достаточно больших глубинах, близких к термоклину. Когда колюшка приходит в прибрежье на места нереста, она предпочитает бентосное питание планктонному, и довольно легко переключается на наиболее доступные в данный момент источники пищи, демонстрируя таким образом, свою всеядность.

Самцы в прибрежной зоне питаются менее разнообразно, чем самки, очевидно в связи с ограниченной подвижностью вследствие заботы о потомстве. Однако, следует отметить, что это касается не всех особей, поскольку не у всех самцов есть гнезда, и те самцы, у которых гнезд нет, питаются, практически так, как и самки. Судя по рациону самок после нереста, находящихся в расположенных рядом пелагических акваториях, они раньше отходят с нерестилищ, чем самцы, у которых в тех же местах в желудках еще много прибрежных организмов. Различается питание самцов и самок и в открытом море. Судя по содержимому желудков и распределению объектов питания в море, самцы и самки, пойманные в поверхностном слое, могут питаться на разных глубинах. Например, на одной из станций у самок основным компонентом питания был веслоногий рачок *Pseudocalanus sp.,* доля которого в планктонном сообществе значительно выше в нижних горизонтах (20-40 м), а у самцов - ветвистоусый рачок *P. leuckarti*, массово обитающий в верхних горизонтах (0-10 м).

Таким образом, результаты нашей работы свидетельствую о том, что питание взрослой колюшки на нерестилищах значительно разнообразнее, чем в пелагиали, и самцы питаются менее разнообразно, чем самки, к тому же можно предположить, что самцы и самки в пелагиали могут питаться на разных глубинах.

Работа была выполнена при поддержке гранта РНФ 19-14-00092 «Осиная талия» экосистем северных морей: долговременная динамика, популяционная структура и трофические связи массовых пелагических рыб Белого и Балтийского морей». Авторы выражают благодарность администрации УНБ СПбГУ «Беломорская» за возможность круглогодичной научной работы на Белом море.

Список литературы

1) Лайус Д.Л. et al. Трехиглая колюшка Белого моря: популяционные характеристики и роль в экосистеме // Сибирский экологический журнал. 2020. Vol. 2. P. 167–183.

2) Демчук А.С. et al. Питание Беломорской Трехиглой Колюшкии Gasterosteus aculeatus (Linnaeus, 1758) на нерестилищах // Труды Карельского научного центра РАН. 2018. № 4. P. 42–58.

3) Demchuk A. et al. Feeding patterns in seagrass beds of three-spined stickleback Gasterosteus aculeatus juveniles at different growth stages // J. Mar. Biol. Assoc. United Kingdom. 2015. Vol. 95, № 8. P. 1635–1643.

МШАНКИ (BRYOZOA) СУБЛИТОРАЛИ КОЛЬСКОГО ЗАЛИВА (БАРЕНЦЕВО МОРЕ): СТРУКТУРА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ

Евсеева О.Ю.

Мурманский морской биологический институт Российской академии наук, г. Мурманск

olga_luna82@mail.ru

Ключевые слова: мшанки, Bryozoa, колонии, зоарий, условия среды, Кольский залив, Баренцево море.

Кольский залив - самый экологически неблагополучный район Баренцева моря, десятилетиями испытывающий антропогенное загрязнение [1; 2]. Мшанки (тип Bryozoa) - преимущественно морские, колониальные, прикрепленные донные беспозвоночные. Тип грунта и наличие твердых субстратов для прикрепления колоний - главный фактор, определяющий присутствие мшанок в морских биоценозах.

Цель данной работы - изучить влияние различных факторов среды на развитие таксоценозов (сообществ видов в разных биотопах) мшанок в сублиторали Кольского залива. Задача исследования - проанализировать распределение мшанок с различным типом зоария в зависимости от условий среды (гидрологических, гидродинамических, гидрохимических).

Материалом для работы послужили мшанки из проб зообентоса, собранные в ходе экспедиций Мурманского морского биологического института РАН на судне "Викинг-2" в мае-июне 2013г. и на НИС "Дальние Зеленцы" в октябре 2017г. Пробы отбирались в различных биотопах водолазным способом на глубине 10-25м (2013г.) и с помощью дночерпателя ван-Вина (площадь захвата 0.1м^2) на глубине 30-162м (2017г.) в южной, средней и северной частях Кольского залива. Таксономическая идентификация мшанок производилась с помощью определителя мшанок Северных морей [4] с корректировкой в соответствии с современной классификацией.

В собранном материале (17 станций, 83 пробы) идентифицировано 90 видов *Bryozoa*, что составляет 70% от общего числа мшанок (130 видов), зарегистрированных в Кольском заливе [3]. Из них 45 видов новые для фауны региона. Количественные показатели (численность, биомасса), распределение и форма зоария мшанок (обрастающая субстрат, корковая и приподнятая над субстратом, ветвисто-кустистая) зависят, главным образом, от структуры донных осадков (обилия подходящего субстрата), интенсивности осадконакопления и гидродинамики.

Состояние донных осадков южного колена Кольского залива считается экологически неблагополучным [1; 2]. Дно засорено бытовым мусором, шлаком, угольной крошкой и нефтепродуктами. Реки, впадающие в южную часть залива, выносят большое количество взвеси. Под влиянием речного стока здесь отмечается высокое содержание фосфатов (20-80мкг/л) и кремния (превышает 1000 мкг/л) [1]. А повышенная концентрация данных элементов в сочетании с низкой соленостью негативно влияет на развитие мшанок, особенно с известковым скелетом [5]. Ввиду этих факторов южное колено Кольского залива отличается дефицитом (1 вид, биомасса 0.08г/м^2) мшанок. В условиях недостатка твердых субстратов и активного осадконакопления здесь выживает исключительно (100%) мшанка с разветвленной формой колонии (вид рода *Reteporella*). Количество видов возрастает в направлении с юга (от кутовой части) на север (до выхода из залива). Максимальное видовое (76, биомасса 74.30г/м^2) разнообразие мшанок выявлено в северной части залива, а в средней - 62 вида (биомасса 85.76г/м^2).

Донные осадки глубоководных участков среднего (87-162м) и северного (30-116м) колен Кольского залива представлены мягкими субстратами (илисто-глинисто-песчаные с примесью гальки). Как правило, биотопы с такими типами грунтов отличаются небольшим видовым разнообразием и биомассой *Bryozoa*, поскольку мягкие донные осадки не подходят для прикрепления колоний. В среднем колене на данных глубинах выявлено 11 видов (биомасса 2.51г/м^2), из них 73% (8 видов)

имеют разветвленную (ветвисто-кустистую) форму зоария. В северном колене зафиксировано более высокое видовое (39) разнообразие (биомасса 12.72г/м^2), возможно вследствие повышенного содержания в грунте твердых субстратов. Большинство мшанок (62%, 24 вида) здесь также имеют ветвисто-кустистую форму колонии. В условиях усиленного осадконакопления и дефицита подходящего субстрата (грубообломочного материала) для прикрепления колоний разветвленная форма зоария преобладает над корковой.

Грунты мелководных (10-25м) участков среднего и северного колен залива характеризуются большим количеством твердых субстратов (галька, камни, валуны, ракуша, заросли ламинарии). Обилие грубообломочного материала способствует развитию богатых видами сообществ мшанок. В среднем колене на данной глубине отмечено 57 видов (биомасса 83.25г/м^2), из них большинство мшанок (63%, 36 видов) имеют обрастающую субстрат форму колонии. В северном колене выявлено 60 видов (биомасса 61.58г/м^2), из них 57% (34 вида) также имеют корковую форму зоария. В условиях активной гидродинамики и обилия твердых грунтов корковая форма колонии преобладает над кустистой.

Для построения известкового скелета *Bryozoa*, вероятно, получают кальций из воды, где он находится в виде растворимых форм карбонатов, доступных для живых организмов [5]. Максимальные величины (около 110%) насыщенности воды карбонатом кальция отмечены в северной части залива, в зоне распространения морских вод [1]. Возможно, благодаря этому в северном колене выявлено больше всего видов (8, биомасса 10.79г/м^2) с сильно обызвествленным (древовидным) типом зоария, чем в среднем колене (6, биомасса 3.07г/м^2). Мшанки с мягкотелым (необызвествленным) типом зоария (4 вида) зарегистрированы только на мелководьях. Вероятно, пониженная (3-4 °C) температура воды, по сравнению с глубоководными участками (4.8-6.7 °C), а также пониженная соленость (до 32‰) в летне-осенний период [1] являются благоприятными факторами для развития мягкотелых видов.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФГБУН ММБИ КНЦ РАН № 0228-2019-0025 “Донные сообщества Баренцева моря, его водосборного бассейна и сопредельных вод: экология, биоразнообразие, роль чужеродных видов”.

Список литературы

1) Кольский залив: океанография, биология, экосистемы, поллютанты [Текст] / Отв. ред Г.Г. Матишов. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1997. – 265 с.

2) Кольский залив: освоение и рациональное природопользование [Текст] / Отв. ред Г.Г. Матишов. – М.: Наука, 2009. – 381 с.

3) Дерюгин К.М. Фауна Кольского залива и условия ее существования [Текст] / К.М. Дерюгин // Записки Академии наук. – СПб, 1915. – Сер. 8, Т. 34, № 1. – 929 с.

4) Клюге Г.А. Мшанки северных морей СССР [Текст] / Г.А. Клюге. – М.-Л.: Изд. АН СССР, 1962. – 584 с.

5) Ахметчина О.Ю. Исследование факторов среды, влияющих на наличие и распределение мшанок [Текст] / О.Ю. Ахметчина // Исследования арктических экосистем: Матер. XXXVI конф. молодых ученых ММБИ КНЦ РАН, посвященной 40-летию научно-исследовательского судна “Дальние Зеленцы” – Мурманск: ММБИ КНЦ РАН, 2018. С. 12-18.

МИКРООРГАНИЗМЫ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮЖНО-КИТАЙСКОГО МОРЯ

Еськова А. И., Пономарева А. Л., Легкодимов А. А., Калгин В. Ю., Шакиров Р. Б., Обжиров А. И.

Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, Россия

alena-esya@mail.ru

Ключевые слова: Южно-Китайское море, донные отложения, микроорганизмы

Южно-Китайское море — это пассивная континентальная окраина, расположенная на пересечении Евразийской, Тихоокеанской и Индо-Австралийской тектонических плит; является одним из ключевых в понимании геофизических, геологических, океанографических, климатических и биоресурсных процессов, происходящих в юго-западной части Тихого океана. Современная геологическая структура, условия и история формирования этого бассейна, перспективы нефтегазоносности, особенности океанографии в общих чертах уже известны [1,2]. В то же время ряд важнейших аспектов недостаточно изучен: существуют объекты, тесно связанные с природными георесурсами акватории Вьетнама, но исследованные в гораздо меньшей степени, чем мелководный шельф. Эти районы характеризуются положительными признаками обнаружения углеводородных и других полезных ископаемых, их комплексное изучение даст возможность сопоставить современное состояние морского дна с данными, полученными ранее. Различия в характере осадконакопления в бассейнах, изменяющиеся литологические последовательности в глубоких подземных отложениях делают Южно-Китайское море подходящим для изучения гетерогенности среды обитания и формирования сообщества микроорганизмов в морских отложениях.

Исследования проводились в ходе российско-вьетнамской геолого-геофизической экспедиции ТОИ ДВО РАН в 88-м рейсе НИС «Академик М. А. Лаврентьев» (25 октября - 8 декабря 2019 г.). Площадь работ включала привьетнамскую акваторию Южно-Китайского моря (районы бассейна Нам Кон Сон), центрального привьетнамского шельфа и склона (бассейн Фу Хань) и осадочного бассейна Красной реки. Геологическое опробование донных осадков было произведено на глубинах моря от 50 до 2400 м. Образцы керна были получены методом малоглубинного бурения с помощью гравитационного пробоотборника из нержавеющей стали. Всего поднято и проанализировано 55 трубок.

Пробы донных осадков отбирали в соответствии с требованиями ГОСТ [3]. Посев производили в жидкие элективные среды, по составу максимально приближенные к естественным. В работе использовали среды Ворошиловой-Дианової с содержанием 2 % нефти (для углеводородокисляющих микроорганизмов), AMS-NMS (для метанотрофных микроорганизмов), среду для сульфатредуцирующих бактерий с добавлением лактата в качестве единственного источника углерода.

Для анализа содержания метана использовали газовый хроматограф «Кристал-люкс-4000М» (ЗАО «Мета-Хром», г. Йошкар-Ола), оснащенный пламенноионизационным детектором. Для расчетов и систематизации полученных в рейсе данных применялись электронные таблицы MicrosoftExcel. Получаемые данные непосредственно после обработки вводились в геоинформационное приложение ArcGis 10.5 для интерпретации. Визуализацию сульфидных конкреций в высоком разрешении осуществляли с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на базе отделения электронной микроскопии «Национальный научный центр морской биологии им. А. В. Жирмунского» Дальневосточного отделения Российской академии наук. Использовали сканирующий электронный микроскоп Sigma 300 VP CarlZeissAG, Германия.

Углеводородокисляющие микроорганизмы встречались во всех трех районах исследования в основном в поверхностном (окисленном слое). В южном — численность рассматриваемых микроорганизмов больше по сравнению с численностью в пробах, отобранных в центральном и северном районах исследования. Выявлено, что численность углеводородокисляющих микроорганизмов

уменьшается с глубиной. Предположительно, это может быть связано с уменьшением содержания кислорода, необходимого для окисления.

Метанотрофы и сульфатредукторы в основном были зафиксированы в восстановленном слое донных отложений (более 400 м от поверхности дна). Нахождение этих групп микроорганизмов вместе может объясняться тем, что метан может использоваться как субстрат, в котором метанотрофные микроорганизмы активируют молекулу метана, а сульфатредукторы выступают в роли акцептора электронов.

Наибольшая численность метанотрофных микроорганизмов была отмечена на станциях LV88-03GC (район бассейна Нам Кон Сон) и LV88-20GC (район бассейна Фу Хань), эти станции характеризуются самой высокой концентрацией метана в осадках. С увеличением глубины численность метанотрофных микроорганизмов снижалась. В окисленном слое этих групп не отмечено. С глубины моря 2000 м на южном и центральном участках исследования отмечается рост метанотрофов именно в условиях низких температур культивирования.

Высокая численность сульфатредуцирующих микроорганизмов может свидетельствовать о том, что в донных отложениях исследуемых проб идут активные процессы восстановления сульфатов с образованием сероводорода. Вступая в реакцию с ионами металлов, сульфаты могут образовывать включения темного цвета (гидротроилиты), а также марказиты. Марказиты присутствуют практически во всех шлихах станций.

Полученные результаты будут уточняться в последующих экспедициях.

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы «Исследование состояния и изменений природной среды на основе комплексного анализа и моделирования гидрометеорологических, биогеохимических, геологических процессов и ресурсов Дальнего Востока» (регистрационный номер № АААА-А19-119122090009-2. ТОИ ДВО РАН) и гранта РФФИ № 20-35- 70014 «Исследование взаимосвязи газогеохимических полей, тектоники, геодинамической обстановки и нефтегазоносности, определяющих характер геологического развития и углеводородного потенциала региона Северного Вьетнама».

Список литературы

1) Родников А. Г. Глубинное строение континентальных окраин региона Южно-Китайского моря / А. Г. Родников, Л. П. Забаринская , В. А. Рашидов, Н. А. Сергеева, М.В. Нисилевич // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. - 2011. - Вып. 18, № 2. - С. 52-72.

2) Jilan S. Overview of the South China Sea circulation and its influence on the coastal physical oceanography outside the Pearl River Estuary / S. Jilan // Continental Shelf Research. - 2004. - vol. 24, no. 16. - p. 1746-1760.

3) ГОСТ 17.1.5.01-80 Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – с. 1-7.

СОСТОЯНИЕ АНТИОКСИДАНТНОГО ФЕРМЕНТАТИВНОГО КОМПЛЕКСА ТКАНЕЙ ГИГАНТСКОЙ УСТРИЦЫ ИЗ МАРИКУЛЬТУРНЫХ ХОЗЯЙСТВ КРЫМА

Жарынина И.И.[1,3], **Лисовская В.В.**[1,3], **Кириченко О.В.**[1,3], **Войкина А.В.**[1,2], **Бугаев Л.А.**[1]

1 Азово-Черноморский филиал ФГБНУ "ВНИРО" ("АзНИИРХ"), г. Ростов -на-Дону

2 Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону

3 Южный федерльный университет, г. Ростов-на-Дону

zharynina_i_i@azniirkh.ru

Ключевые слова: тихоокеанская устрица, антиоксидантная защита, биохимические показатели, оз. Донузлав, перекисное окисление липидов.

Тихоокеанская (японская, гигантская) устрица (*Crassostrea gigas, Thunberg*) является одним из наиболее важных объектов мировой марикультуры моллюсков. Интерес в данному виду определяется его высокой экологической пластичностью и способностью давать высокий выход товарной продукции в широком диапазоне солености и температур.

Тихоокеанская устрица – эвригалинный вид, переносящий перепады солености в пределах 12-34 ‰ и даже кратковременное опреснение. Оптимальная соленость составляет 18-27 ‰. Устрицы способны переносить значительные изменения температуры воды, от зимовки подо льдом до нагревание воды при отливах свыше 30°С. Оптимальная температура – 18-26°С.[3]

Эффективность культивирования моллюсков на мидийно-устричных хозяйствах зависит от условий среды обитания выращиваемых объектов и их физиологического состояния. В этой связи представляется актуальным определение показателей, которые могут достоверно описывать текущее состояние моллюсков. Большая часть исследований по изучению параметров системы антиоксидантной защиты морских беспозвоночных, в том числе двустворчатых моллюсков, проводится с целью использования этих показателей в качестве биомаркеров для оценки состояния организмов при загрязнении окружающей среды.

Материалом для физиолого-биохимических исследований послужила тихоокеанская устрица *Crassostrea gigas,* отобранная в весенне-летний и осенний периоды в мидийно-устричном хозяйстве, расположенном в Черном море на оз. Донузлав (Р. Крым). Всего было проанализировано 30 экземпляров, все исследования проводились индивидуально. Материалом для анализа служили образцы жабр - органа дыхательной системы моллюсков, и гепатопакреаса - пищеварительной железы, совмещающей функции поджелудочной железы и печени.

Непосредственно после отбора моллюсков из садков особей препарировали на льду, извлекая жабры и пищеварительную железу; фрагменты тканей транспортировали в жидком азоте (-196°С) в лабораторию для дальнейших исследований. Биохимические анализы проводили на следующий день.

Физиолого-биохимический статус определяли по ряду показателей: концентрация белка, содержание восстановленного глутатиона, интенсивность процессов перекисного окисления липидов, активность ферментов супероксиддисмутазы, глутатион-S-трансферазы, каталазы, глутатионредуктазы, глутатионпероксидазы, ацетилэстеразы, содержание каротиноидов согласно общепринятым методикам [1], [2].

Из полученных и проанализированных данных следует, что содержание белка в гепатопанкреасе устриц их хозяйства на оз. Донузлав в осенний сезон увеличилось в 1,4 раза с 2,67±0,12 мг/мл в весенне-летний сезон до 3,70±0,18 мг/мл в осенний сезон, в жабрах - уменьшилось в 1,5 раза в сравнении с весенне-летним сезоном с 1,76±0,14 мг/мл до 1,16±0,07 мг/мл.

Содержание малонового диальдегида, конечного продукта перекисного окисления липидов, в весненне-летний сезон было выше более чем в 2 раза: 2,45±0,15 мкмоль/мг в гепатопанкреасе и

5,65±0,62 мкмоль/мг в жабрах против 1,21±0,13 мкмоль/мг и 3,71±0,34 мкмоль/мг соответственно, что свидетельствовало о развитии токсических эффектов в организме моллюсков.

В осенний сезон уровень активности супероксиддисмутазы в гепатопанкреасе снизился в 2 раза, достигнув 6,41±0,58 у.е./мг белка/мин, в то время как в жабрах увеличился до 16,95±3,12 у.е./мг белка/мин, увеличившись в 3,8 раза, из чего можно сделать вывод, что жабры более чувствительны к содержанию супероксид-иона в клетках и они в первую осередь включаются в работу по его нейтрализации.

Активность фермента каталаза в весенне-летний сезон у всех исследуемых особей из хозяйства на оз. Донузлав была достоверно выше в 2-3 раза, чем в осенний: 264,82±12,48 мкмоль/мг белка/мин в гепатопанкреасе и 181,00±20,21 мкмоль/мг белка/мин в жабрах против 88,44±7,28 мкмоль/мг белка/мин и 77,93±11,93 мкмоль/мг белка/мин соответственно. Активность фермента ацетилэстераза в гепатопанкреасе всех исследуемых особей находилась на одном уровне, в жабрах же в осенний сезон повысилась в 1,3 раза, и составила 1,19±0,10 нмоль/мг белка/мин. Содержание ферментов восстановленного глутатиона и глутатион-S-трансферазы в гепатопанкреасе снизилось в 2-3 раза, а в жабрах увеличилось в 30-35 раз. Содержание восстановленного глутатиона в жабрах в весенне-осенний сезон составляло 32,33±4,02 нмоль/ мг белка/мин, в осенний - 911,41±114,46 нмоль/ мг белка/мин. Содержание глутатион-S-трансферазы изменилось с 13,62±2,45 нмоль/ мг белка/мин в весенне-летний сезон до 490,03±45,27 нмоль/ мг белка/мин в осенний. Из этого можно сделать вывод о том, что ферменты жабр устриц активно участвует в процессах обезвреживания ксенобиотиков различной природы.

Активность ферментов глутатионредуктазы и глутатионпероксидазы в осенний сезон в гепатопанкреасе у отобранных особей увелиилась в 1,3 раза. В жабрах активность фермента глутатионрезуктазы снизилось в 10 раз, с 22,76±4,82 нмоль/ мг белка/мин до 2,06±0,45 нмоль/ мг белка/мин, а глутатионпероксидазы увеличилось в 1,5 раза, с 260,92±81,95 нмоль/ мг белка/мин до 389,01±60,27 нмоль/ мг белка/мин.

Содержание каротиноидов, как одного из низкомолекулярных неферментативных звеньев антиоксидантной защиты, в гепатопанкреасе у устриц из хозяйства на оз. Донузлав в весенне-летний сезон было в 3,3 раза выше, чем в осенний: 95,71±9,20 мкг/г против 29,10±0,18 мкг/г соответственно.

Таким образом, исследование физиолого-биохимических показателей позволяет получить представление о механизмах адаптации моллюсков к изменениям факторов внешней среды. Тем не менее, для использования изученных показателей в экспертной оценке состояния устриц необходима выработка на репрезентативной по объему и качеству выборке нормативных диапазонов для каждого параметра.

Работа проводилась в рамках государственного задания ФГБНУ "Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии" № 076-00005-20-02 от 14.02.2020 г.

Список литературы

1) Карнаухов В.Н. Биологические функции каротиноидов / В. Н. Карнаухов; Отв. ред. Э. А. Бурштейн; АН СССР, Ин-т биол. Физики. - М. Наука. 1988. – 240 с.

2) Покровский А.А., Арчаков А.И. // Современные методы в биохимии. – М.: «Медицина» - 1968. – С. 50-51.

3) Раков В.А, Биологические основы культивирования тихоокеанской устрицы Crassostrea gigas (Thunberg) в заливе Петра Великого: дис. к.б.н. Владивосток. 1984. 187 с.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕЙОБЕНТОСА ГЕЛЕНЖИКСКОЙ БУХТЫ ЧЕРНОГО МОРЯ

Загайнов А. В. [1], **Колючкина Г. А.** [2], **Кондарь Д. В.** [2]

[1] *МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва*

[2] *Институт Океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

kimo2021@mail.ru

Ключевые слова: Чёрное море, Геленджикская бухта, мейобентос, гипоксия, экология

Геленджикская бухта является одним из районов с повышенной антропогенной нагрузкой на Северо-Восточном побережье Чёрного моря. Донные биоценозы Геленджикской бухты испытывают влияние повышенной эвтрофикации. Наличие большого количества паводковых водотоков, в том числе р. Су-Аран, неисправность системы канализации г. Геленджика приводят к поступлению в бухту повышенного количества терригенного материала и биогенов. Гидрологический режим в летний период (антициклоничсекий круговорот в восточной портовой части бухты) может способствовать возникновению сезонной гипоксии в придонном слое [1]. Многие группы мейобентоса могут быть индикаторами стрессовых условий среды обитания, это выражается, как правило, в снижении численности и разнообразия организмов, в первую очередь гарпактикоидных копепод [2]. Цель данной работы - изучение количественного и качественного состава мейобентоса в восточной части Геленджикской бухты в условиях повышенной эвтрофикации и, предположительно, гипоксии.

Пробоотбор осуществлялся на судне «Ашамба» в июле 2020 года. Собран материал с трех станций: в районе впадения р. Су-Аран, на мелководье и ближе к выходу их бухты. Грунт на всех станциях представляет собой песок разной степени заиленности. Материал собран трубчатым пробоотборником с поверхности суммарной площадью 10 см^2 из дночерпателя "Океан" площадью 0,1 м^2. Пробы фиксировали 4% раствором формальдегида, окрашивали красителем - бенгальский розовый. Разделение грунта и животных осуществляли центрифугированием. Подсчёт многоклеточного мейобентоса производили по основным таксономическим группам.

В районе впадения Су-Аран обнаружены представители эумейобентоса из четырёх групп: Nematoda, Harpacticoida, Ostracoda, Trubellaria. Численность нематод составила 881 экз./ 10 см^2, гарпактикоид - 41 экз./ 10 см^2. Остракоды и турбеллярии отмечены в единичном количестве. Псевдомейобентос представлен молодью полихет, двустворчатых моллюсков, гастропод и олигохет. На этой станции была зафиксирована самая большая численность олигохет - 14 экз./ 10 см^2 и не отмеченно науплиусов гарпактикоидных копепод. На мелководье в эумейобентосе отмечены Nematoda, Harpacticoida, Kinorincha и Ostracoda. Численность нематод достигает 791 экз./ 10 см^2, численность гарпактикоид - 67 экз./ 10 см^2. В псевдомейобентосе преобладает молодь гастропод и двустворчатых моллюсков, кроме того отмечены полихеты, олигохеты, амфиподы. На этой станции наблюдается максимальное разнообразие псевдомейобентоса и высокая численность гарпактикоидных копепод и их науплиусов.

На станции, ближайшей к выходу из бухты эумейобентос, представлен нематодами, гарпактикоидами и киноринхами, численность нематод достигает 2330 экз./ 10 см^2, численность гарпактицид - 47 экз./ 10 см^2. В псевдомейобентосе доминирует молодь полихет - 61 экз./ 10 см^2, также отмечены гастроподы и двустворчатые моллюски.

Таким образом, максимальное разнообразие мейобентоса наблюдается на самой мелководной станции, а минимальное - на станции напротив ручья Су-Аран, где отмечено наибольшее количество олигохет - животных, предпочитающих места обитания, богатые органикой. При сравнении мелководной и мористой станции прослеживается тенденция к росту численности нематод и уменьшению численности копепод с глубиной и увеличением заиления. Учитывая, что в нормоксических условиях нематоды (51-98% всей мейофауны многоклеточных) и гарпактикоидные

копеподы (1,4-19,1%) обычно доминируют в мейофауне по численности и биомассе [3], а так же соответствие наших данных по количественному и качественному составу мейобентоса данным для схожих участков Чёрного моря [4, 5], можно сделать вывод, что гипоксии в юго-восточной части Геленджикской бухты в июле 2020 года не наблюдалось. Полученные данные о составе и численности мейобентоса можно использовать как фоновые при дальнейшем мониторинге состояния биоты Геленджикской бухты.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ и Министерства образования Краснодарского края № 19-45-230012.

Список литературы

1) Селифонова Ж.П. Структурно-функциональная организация экосистем заливов и бухт Черного и Азовского морей (Российский сектор).Дисс. . . . докт. Биол. наук. Мурманск 2015

2) Wetzel M.A., Fleeger J.W., Powers S.P. Effects of Hypoxia and Anoxia on Meiofauna: A //Coastal hypoxia: consequences for living resources and ecosystems №58. 2001 С. 165

3) Заика В. Е., Иванова Е. А., Сергеева Н. Г. Сезонные изменения мейобентоса в бухтах Севастополя с анализом влияния донной гипоксии //Морской экологический журнал №. 2 2011 С. 29-36.

4) Мокиевский В. О. и др. Многолетние изменения в мейобентосе восточной части Черного моря //Океанология №50(6). 2010 С. 994-1001.

5) Ремизова Н. П. Современное состояние мейобентоса рыхлых грунтов Черноморского прибрежья России //Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки №. 1 2014 С. 87-90.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗООПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА МОРЯ ЛАПТЕВЫХ ПО ДАННЫМ UVP (The Underwater Vision Profiler) И СЕТНЫХ ПРОБ В 2018 ГОДУ

Захарова Н.Б.[1], Поважный В.В.[1], Кокоулина П.А.[2]

[1]Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург

[2]МАОУ Лицей № 2, г. Пермь

n.b.zakharova@yandex.ru

Ключевые слова: зоопланктон, море Лаптевых, СЛО

В условиях продолжающегося изменения климата и увеличения притока Атлантических вод в Северный Ледовитый океан, происходит миграция бореальных видов животных на север. В последнее десятилетие в Северном Ледовитом океане наблюдается биогеографический сдвиг в сторону увеличения доли бореальных видов копепод. Расширение сообществ зоопланктона на север, связанное с теплыми Атлантическими водами, приводит к сокращению численности видов, предпочитающих холодные Полярные воды.

Для целей исследования морского зоопланктона обычно используют традиционные методы, включающие в себя отлов сетями и его дальнейшее изучение в лаборатории. Однако эти способы требуют больших затрат времени, вследствие чего часть проб может остаться необработанной. Поэтому важно внедрять новые методы, которые помогут увеличить скорость обработки данных. Одним из таких методов может являться использование камеры The Underwater Vision Profiler (UVP), которая разработана для количественной оценки вертикального распределения макроскопических частиц и зоопланктона размером > 100 мкм. Программное обеспечение камеры позволяет обработать снимки так, что на них остаются только частицы и объекты, а фон удаляется [1]. Дальнейшая обработка снимков происходит с помощью программы EcoTaxa.

Для исследования процессов трансформации органического вещества в пелагиали морей Лаптевых были выполнены гидробиологические работы в период проведения экспедиции «Арктика 2018». В состав работ входили: отбор образцов зоопланктона традиционным сетным методом по стандартным горизонтам (0 - 100/200 м), а также съемка на камеру UVP, закрепленную на розетте. Полученные фотографии UVP не позволяют определить видовую принадлежность, однако позволяют выделить данные по численности крупных калянид. Нашей целью было сравнение характеристик сообщества калянид моря Лаптевых в 2018 году по данным камеры UVP и стандартных проб. Район проведения работ охватывал области шельфа, склона и глубоководной части моря Лаптевых вблизи архипелага Северная Земля и в юго-восточном направлении от него.

По результатам анализа проб, отобранных сетью WP2, наибольшая численность Calanoida была отмечена на склоне шельфа севернее арх. Северная Земля и составляла более 300 экз/м3. На станциях, расположенных к юго-востоку от архипелага, наблюдались низкие показатели численности - 19 экз/м3 и 17 экз/м3. По данным UVP максимальная численность калянид (179 экз/м3) была зафиксирована на склоне шельфа юго-восточнее Северной Земли. Минимальная численность наблюдалась также на склоне шельфа и составляла 18 экз/м3. Данные по численности, полученные с камеры UVP и с помощью традиционного метода отлова сетями, сильно различались. На большинстве станций, данные, полученные традиционным методом, превышали оценки, выполненные UVP.

Оценки биомассы, выполненные по сетным пробам, показали, что самая высокая биомасса Calanoida наблюдалась на станции расположенной на шельфе севернее арх. Северная Земля, она составляла 178 мг/м3, что значительно больше минимальных значений биомассы, отмеченных на станциях к юго-западу от архипелага (около 4 мг/м3). По данным UVP наибольшая биомасса сообщества Calanoida составляла 99 мг/м3 на глубоководной станции, расположенной севернее

архипелага, а наименьшая была зарегистрирована юго-восточнее на склоне шельфа моря Лаптевых (6 мг/м3). В группе станций, расположенных вблизи архипелага, значения биомассы имели схожие значения от 12 мг/м3 до 22 мг/м3. На станциях, расположенных на склоне шельфа, значения биомассы были схожи и составляли около 50 мг/м3. Как и в ситуации с численностью Calanoida, наблюдалось значительное расхождение результатов двух методов оценки биомассы зоопланктона.

Различия в оценках показателей развития сообщества зоопланктона по данным UVP и сетных ловов могут быть связаны с географическими особенностями расположения станций, ледовой обстановкой, методическими сложностями.

Работа выполнена при поддержке Минобнауки России по проекту "Изменчивость Арктической Трансполярной системы" (RFMEFI61617X0076).

Список литературы

1) Picheral M. et al. The Underwater Vision Profiler 5: An advanced instrument for high spatial resolution studies of particle size spectra and zooplankton //Limnology and Oceanography: Methods. – 2010. – Т. 8. – №. 9. – С. 462-473.

ВИДОВОЙ СОСТАВ И ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКРОВОДОРОСЛЕЙ В УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ РЕКИ ПРЕГОЛИ (БАССЕЙН БАЛТИЙСКОГО МОРЯ)

Зверева А.Ю.[1], **Володина А. А.**[1,2]

[1]*Балтийский Федеральный университет им. И. Канта, Калининград*

[2]*Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва*

zvereva.sashok@gmail.com

Ключевые слова: Макроводоросли, река Преголя, устьевая область реки.

Протяженность устьевой области Преголи составляет около 17 км. В этом участке река представляет собой гидродинамическую систему, характеризующуюся смешением пресных и морских вод в результате сгонно-нагонных явлений. После проведенных гидротехнических работ (2014-2018 гг.) на участке реки в г. Калининграде видовой состав растительных сообществ в зоне прямого воздействия и ниже по течению изменился. В 2018-2019 гг. обилие и проективное покрытие некоторых гидрофитов уменьшилась, а в местах сведения растительности ряд видов исчез [1]. В связи с этим мы решили выяснить, как антропогенные изменения русла реки и берегов повлияли на макроскопические водоросли реки.

Цель нашей работы - выявить современный видовой состав макроводорослей устьевой области реки Преголи. В задачи исследования вошли описание особенностей распределения макроводорослей и сравнение результатов с предыдущими научными работами [2]. Полученные данные важны для последующего мониторинга водной флоры и качества воды в реке.

Исследования проводили в устьевой области р. Преголи в черте г. Калининграда на станциях, расположенных в рукавах Новая, и Старая Преголя, на участке после слияния рукавов и в устье реки. Работы велись общепринятыми методами [3] на маломерном судне в июне и августе 2019 г., с берега в центре города в летние сезоны 2019-2020 гг. Латинские названия видов выверены по электронным базам данных AlgaeBase [4].

Всего в нижнем течении р. Преголи за период исследований обнаружено 15 видов макроскопических водорослей из 3 отделов. Ниже приведен список видов и некоторые экологические особенности макроводорослей, в том числе индикаторные свойства некоторых из них [5]:

Отдел Chlorophyta: 1. *Cladophora glomerata* (Linnaeus) Kützing 1843 - β мезосапроб, эвригалинный вид; 2. *Hydrodictyon reticulatum* (Linnaeus) Bory 1824 - эврисапроб, пресноводный вид; 3. *Microspora sp.* - олигосапроб, пресноводный вид; 4. *Oedogonium capillare* Kützing ex Hirn 1900 - β мезосапроб, пресноводный вид; 5. *Rhizoclonium riparium* (Roth) Harvey 1849 - α-β мезосапроб, эвригалинный вид; 6. *Ulothrix zonata* (F. Weber & Mohr) Kützing 1833 - α мезосапроб, пресноводный вид; 7. *Ulva intestinalis* Linnaeus 1753 - α-β мезосапроб, эвригалинный вид; 8. *Ulva prolifera* O.F. Müller 1778 - полисапроб, морской-солоноватоводный.

Отдел Charophyta: 9. *Mougeotia sp.* - α мезосапроб, пресноводный вид; 10. *Spirogyra varians* (Hassall) Kützing 1849 - β-α мезосапроб, пресноводный вид; 11. *Spirogyra fluviatilis* Hilse 1863 - β мезосапроб, пресноводный вид; 12. *Klebsormidium flaccidum* (Kützing) P.C. Silva, K.R. Mattox & W.H. Blackwell 1972. - β мезосапроб, наземно-пресноводный вид.

Отдел Ochrophyta: 13. *Vaucheria geminata* (Vaucher) De Candolle 1805 - β мезосапроб, пресноводный вид; 14. *V. bursata* (O. F. Müller) C. Agardh 1811 - x-β мезосапроб, наземно-пресноводный вид; 15. *V. compacta* (Collins) Collins ex W.R. Taylor 1937 - мезосапроб, солоноватоводный-пресноводный вид.

По количеству видов преобладающей группой является пресноводная. Чаще других пресноводных видов встречается в водорослевых матах, на подводных черешках и стеблях водных растений *O. capillare*.

По данным исследований 2019-2020 гг., в сравнении с 2013 гг., увеличилось обилие эвригалинных α-β мезосапробного вида *R. riparium* и β мезосапробного *C. glomerata* в сообществах макрофитов с плавающими листьями [1]. Эти виды встречаются чаще среди прочих водорослей. В целом, мезотрофные и мезосапробные водоросли составляют большинство видов, как и в высшей водной растительности [2].

Распределение видов имеет свои особенности, связанные со значениями солености [1]. В рукавах реки вдоль о-ва Октябрьский в 2019-2020 гг. обнаружено 11 видов, ниже по течению, в объединенном русле - 4, в устье реки - 2 вида. По участкам реки виды распределились следующим образом. В Старой Преголе встречаются и типично пресноводные виды, как *O. capillare, V. bursata*, и виды мелководья Балтийского моря, такие как *U. prolifera, U. intestinalis,* наличие которых здесь объясняется нагонными явлениями. Наибольшего обилия в рукавах Преголи вдоль о. Октябрьский, достигают эвригалинные мезосапробные водоросли из родов *Cladophora и Rhizoclonium*, которые на пике развития высшей водной растительности образуют плавающие маты в рдестовых и кубышко-кувшинковых сообществах.

Для эвригалинных и солоноватоводных видов осолоненные воды, проникающие в результате нагонных явлений, могут создавать благоприятные условия обитания, поэтому ульвовые водоросли чаще встречаются в устье реки и в объединенном русле, где в 2019 г. отмечены и максимальные значения солености - 5.6 PSU [1], а количество видов макроводорослей всего четыре. Среди солоновато-пресноводных видов здесь была обнаружена *V. compacta,* которая также обитает в рукавах Старой и Новой Преголи.

Таким образом, в устьевой области реки Преголи всего обнаружено 15 видов макроводорослей, большая часть которых встречается в водоемах мезотрофного и мезосапробного статуса. Увеличение проективного покрытия мезосапробных водорослей мы связываем с антропогенными изменениями береговой зоны реки в последние несколько лет. Уничтожение прибрежно-водных поясов высшей водной растительности, в частности из тростника южного, могло повлиять на появление свободной экологической ниши, которую в новых условиях освоили макроводоросли.

Работы выполнены при финансовой поддержке РФФИ и Калининградской области в рамках научного проекта № 19-45-390006. Анализ и интерпретация многолетних данных – по госзаданию ИО РАН №0149-2019-0013.

Список литературы

1) Полунина Ю. Ю., Герб М. А., Ланге Е. К., Володина А. А., Кочешкова О. В., Ежова Е. Е. Предварительные результаты гидробиологических исследований нижнего течения реки Преголи после техногенной трансформации русла // Региональная экология. – 2019. - № 3(57). – С. 91–101.

2) Герб М.А., Володина А.А. Растительность и флора р. Преголя // Биологические сообщества реки Преголя (Вислинский залив, Балтийское море). Калининград, 2013. С. 64—84.

3) Водоросли: Справочник / Под общ. ред. С.П. Вассера. — Киев: Наук. думка, 1989. — 606 с.

4) AlgaeBase: http://www.algaebase.org (дата обращения: 15.01.2020).

5) Унифицированные методы исследования качества вод // Методы биологического анализа вод. — М.: СЭВ, 1976. — 185 с.

МЕЖГОДОВАЯ ДИНАМИКА ПИТАНИЯ РЫБ В ЗАРОСЛЯХ ВЗМОРНИКА (КАНДАЛАКШСКИЙ ЗАЛИВ, БЕЛОЕ МОРЕ)

Зеленская А.Е., Надточий Е.В., Иванова Т.С., Иванов М.В., Демчук А.С., Лайус Д.Л.

Кафедра ихтиологии и гидробиологии, Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

nastyabakhvalova94@gmail.com

Ключевые слова: прибрежные сообщества рыб, Zostera marina, питание, кормовая база, межгодовая динамика, Белое море.

Прибрежные рыбы являются важным компонентом богатых и разнообразных экосистем; через них проходит существенный поток веществ и энергии. Прибрежная зона - это места нагула молоди и нереста массовых видов рыб, которые обычно живут дальше от берега. Здесь они неизбежно вступают в разнообразные биотические отношения с местными формами, в частности, трофические. Особенности питания оказывают существенное влияние на процессы роста, созревания, размножения и формирования численности отдельных поколений в популяциях рыб Белого моря. В связи с этим, изучение долговременных изменений в характере питания разных видов беломорских рыб имеет большое значение при анализе динамики численности стада рыб и межвидовых пищевых взаимоотношений. Также, большое внимание нужно уделять обеспеченности рыб кормовыми ресурсами [2].

Материал для исследования был собран в районе Учебно-научной базы СПбГУ «Беломорская» (Кандалакшский залив, Белое море) в июне и августе 2013-2015 и 2018-2019 гг. в губе Сельдяная. Это затишная, защищенная от волнения акватория небольшой глубины (до 8 м) с плотными зарослями взморника *Zostera marina*.

Сбор материала проводили с помощью набора жаберных сетей с ячеей 16-20-30-40 мм. Сети устанавливали на ночь (на 12 часов). У пойманных рыб измеряли длину и массу тела, фиксировали желудки 4% раствором формальдегида. В лаборатории желудки (594 экз.) вскрывали, извлекали и взвешивали пищевой комок. Кормовые объекты определяли до младшего возможного таксона, измеряли их численность и массу. Для всех кормовых объектов была посчитана их доля массы в пищевом комке рыб [4].

Для выявления межгодовой динамики в пищевых спектрах рыб были применены однофакторный ANOSIM и тест SIMPER с использованием индекса Брэя-Кертиса.

Всего было поймано 18 видов рыб, из которых для анализа межгодовой изменчивости питания ввиду достаточного объема выборок были взяты только керчак *Myoxocephalus scorpius*, корюшка *Osmerus dentex*, навага *Eleginus nawaga*, сиг *Coregonus lavaretus* и треска *Gadus morhua*.

Основными объектами питания этих видов являются рыбы: трехиглая колюшка *Gasterosteus aculeatus* (икра, взрослые особи и молодь), песчанка *Ammodytes marinus*; донные полихеты (в основном, *Alitta virens*) и ракообразные (мизиды, эуфазииды, креветки, амфиподы). В течение лета доля этих компонентов в спектрах питания рыб заметно меняется [1].

В питании керчака доля полихет и взрослых особей колюшки в пищевом комке хищника в июне 2018 г. была меньше, чем в июне 2014 г. (one-way ANOSIM $p = 0{,}011$), а в августе доля полихет возрастала с 2013 г. по 2018 г., но снизилась в 2019 г. (one-way ANOSIM $p = 0{,}02$).

В питании корюшки достоверной межгодовой изменчивости обнаружено не было (one-way ANOSIM $p = 0{,}214$).

Сиг в августе 2018 г. поедал больше планктонных ракообразных и меньше мальков колюшки, чем в 2015 г. (one-way ANOSIM $p = 0{,}027$).

В спектре питания наваги доля мизид в июне 2014-2019 гг. достоверно повышается, а доля полихет и креветок - снижается (one-way ANOSIM $p = 0{,}029$). В августе 2013-2019 гг. иная картина. Здесь наибольший вклад в изменчивость вносят мальки колюшки, полихеты и мизиды (one-way

ANOSIM p = 0,0001). Доля молоди колюшки в желудках хищника изменяется волнообразно с максимальными средними значениями в 2015 г. Так же и доля полихет - с минимальными средними значениями в 2015 и 2019 гг. А мизиды присутствуют в пищевом комке хищника только в 2018 и 2019 гг., причем в 2019 г. их доля достоверно больше.

В питании трески наибольший вклад в межгодовую изменчивость в июне 2014-2019 гг. вносили икра колюшки, полихеты и взрослые особи колюшки (one-way ANOSIM p = 0,0011). Доля икры колюшки в спектре питания хищника в 2015 г. больше, чем в 2014 г., а в 2018 г. равна нулю. Доля полихет снижается с 2014 г. по 2015 г., а в 2018 г. снова увеличивается. Значимость взрослых особей колюшки в питании трески постепенно уменьшается к 2018 г. В августе с 2013 по 2015 гг. доля мальков колюшки в пищевом комке трески возрастает, а в 2018 г. резко падает (one-way ANOSIM p = 0,05), а доля полихет, наоборот, постепенно увеличивается к 2018 г.

В целом, наиболее высокая межгодовая изменчивость в спектрах питания рыб в разные годы наблюдаются в доле трехиглой колюшки (взрослые особи, икра, молодь), донных полихет и планктонных ракообразных. Вероятнее всего, это связано с межгодовой динамикой этих ключевых компонентов кормовой базы рыб. Например, для трехиглой колюшки показано, что ее обилие в прибрежье напрямую связано с ее значимостью в питании хищных рыб [1,3].

Авторы выражают благодарность УНБ «Беломорская» СПбГУ за возможность сбора и обработки материала на Белом море.

Данная работа поддержана грантом РНФ №19-14-00092 «Осиная талия» экосистем северных морей: долговременная динамика, популяционная структура и трофические связи массовых пелагических рыб Белого и Балтийского морей».

Список литературы

1) Бахвалова А.Е., Иванов М.В., Иванова Т.С., Лайус Д.Л. Роль трехиглой колюшки (Gasterosteus aculeatus L.) в питании рыб Белого моря в течение летне-осеннего сезона // Изучение, рациональное использование и охрана природных ресурсов Белого моря. ЗИН РАН. 2017. С. 20-23

2) Кудерский Л.А., Анухина Ф.М. О годовых различиях в питании наваги Eleginus navaga (Pallas) Белого моря // Вопр. ихтиол. Т. 3. № 3(28). 1963. С. 522-535

3) Bakhvalova A.E., Ivanova T.S., Ivanov M.V., Demchuk A.S., Movchan E.A., Lajus D. L. Long-term changes in the role of threespine stickleback Gasterosteus aculeatus in the White Sea: predatory fish consumption reflects fluctuating stickleback abundance during the last century // Evolutionary Ecology Research. № 17(3). 2016. С. 317-334

4) Hyslop E.J. Stomach contents analysis: a review of methods and their application // Journal of Fish Biology № 17. 1980. С. 411–429

МОРФО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АЗОВСКОЙ ТАРАНИ ИЗ РАЗНЫХ АРЕАЛОВ

Кириченко О.В.[1,3], **Лисовская В.В.**[1,3], **Жарынина И.И.**[1,3], **Бугаев Л.А.**[1], **Войкина А.В.**[1,2]

1 Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), г. Ростов-на-Дону

2 Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону

3 Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

kirichenko_o_v@azniirkh.ru

Ключевые слова: тарань, Азовское море, Веселовское водохранилище, р. Дон, пластические признаки, белок, липиды

Тарань является одним из наиболее важных промысловых видов в бассейне Азовского моря. Данный вид встречается непосредственно в Азовском море, Таганрогском заливе, реках Дон, Проток, Кубань, приазовских лиманах и внутренних пресных водоемах. Изучение популяционной структуры этого вида, определение условий и мест воспроизводства позволяют углубить знания о состоянии природных популяций, адаптационных стратегиях в ответ на изменения экологической обстановки, так как на таких обширных ареалах может наблюдаться большое разнообразие форм морфологической и физиологической изменчивости организма.

Комплексное исследование по морфо-биологическим особенностям было проведено на азовской тарани, отобранной в августе 2020 года из Азовского моря и Веселовского водохранилища, а также в сентябре 2020 года в реке Дон. Было исследовано 20, 37 и 25 особей тарани соответственно (всего 82 рыбы). Все экземпляры рыб были измерены по однотипному комплексу параметров с аналогичной точностью измерений. Взвешивали каждую рыбу на сертифицированных электронных весах с точностью до 0,05 г. Возраст рыб устанавливали по чешуе [1]. Пол определяли при вскрытии.

Морфофизиологические исследования проводились согласно методическим руководствам [2]. Содержание липидов в тканях определяли весовым методом, содержание белка - по методу Кьельдаля.

Возраст рыб, выловленных из Азовского моря, составлял 3 года. Возраст рыб из Веселовского водохранилища - 4 года (13 экземпляров) и 5 лет (24 экземпляра). Возраст рыб из реки Дон составлял 4 года (21 экземпляр) и 5 лет (4 экземпляра). Вскрытие показало, что все экземпляры исследованных рыб из всех водоемов были самками.

Для сравнения пластических признаков тарани все экземпляры рыб были распределены согласно определённому по чешуе возрасту на группы, в которых в дальнейшем проводилось сравнение. Такое решение было связано с тем, что достоверных различий экземпляры рыб с разных точек мониторинга одного возраста практически не имели за исключением средней длины рыб, длины грудного плавника и наибольшей высоты первого спинного плавника (для этих показателей значения приведены раздельно по точкам исследования ниже).

Средняя длина рыб, достигших возраста 3 лет (экземпляры с таким возрастом были выловлены только из Азовского моря), составляла 15,63±0,20 см, достигших возраста 4 года - 20,68±0,29 см (в Веселовском водохранилище) и 19,81±0,16 см (в р. Дон). В возрасте 5 лет средняя длина рыб составляла 22,26±0,17 см. Полученные данные показывают, что выловленные из Веселовского водохранилища экземпляры тарани в возрасте 4 лет имели большую ($p<0,01$) длину в сравнении с экземплярами, выловленными из реки Дон, однако различия в возрасте 5 лет выявлены не были.

Наибольшая высота тела для рыб в возрасте 3 лет составляла в среднем 5,29±0,11 см, наименьшая - 1,73±0,04 см. В возрасте 4 лет средние значения вышеозначенных показателей составляли 6,65±0,12 см и 1,89±0,08 см; в возрасте 5 лет - 6,98±0,12 см и 2,4±0,11 см соответственно. Средняя длина рыла у экземпляров тарани в возрасте 3 лет составляла 0,79±0,03 см, диаметр глаза 0,83±0,01 см и длина заглазничного отдела - 1,7±0,03 см. У экземпляров, достигших возраста 4

лет, данные значения составляли 1,38±0,03 см, 1,17±0,03 см и 2,1±0,1 см соответственно, а у 5-тилетних особей тарани 1,49±0,02 см, 1,21±0,02 см и 2,51±0,03 см.

Наибольшая высота первого спинного плавника у тарани в возрасте 3 лет в среднем была 3,74±0,07 см; в возрасте 4 лет - 4,20±0,09 см из Веселовского водохранилища и 4,72±0,05 см из р.Дон ($p<0,001$); в возрасте 5 лет - 4,87±0,08 см. Длина грудного плавника у исследованной у 3-летней тарани имела в среднем значения 2,93±0,04 см; в возрасте 4 лет 3,23±0,13 см из Веселовского водохранилища и 3,78±0,06 см из р. Дон ($p<0,001$); в возрасте 5 лет - 3,93±0,09 см. Расстояния между грудным и брюшным, а так же между анальным и брюшным плавниками у тарани в возрасте 3 лет в среднем составляли 3,78±0,8 см и 3,46±0,06 см; в возрасте 4 лет - 4,68±0,1 см 4,20±0,09 см; в возрасте 5 лет - 5,2±0,08 см и 4,73±0,08 см соответственно.

Коэффициенты упитанности самок тарани из Веселовского водохранилища и Азовского моря отличались, понижаясь в обеих точках исследования с возрастом. Средние значения коэффициента упитанности в 4 и 5 лет для экземпляров тарани из Веселовского водохранилища составили 2,02 и 1,71, а для экземпляров из р. Дон 1,78 и 1,58 соответственно.

Содержание белка в мышцах, гонадах и печени у самок в возрасте 4 лет у рыб, выловленных из Азовского моря, Веселовского водохранилища и р. Дон было схожим; средние значения составляли 136,02 мг/г, 110,91 мг/г и 89,10 мг/г соответственно. В возрасте 5 лет белок у самок тарани из Веселовского водохранилища был выше и находился в среднем на уровне 146,41 мг/г в мышцах, 104,45 мг/г в гонадах и 94,79 мг/г в печени, тогда как значения белка у рыб из р. Дон составляли 118,92 мг/г, 97,16 мг/г и 74,87 мг/г соответственно.

Влага и липиды в мышцах, печени и гонадах тарани в возрасте 4 лет у экземпляров, выловленных как из Веселовского водохранилища, так и из р. Дон, имели схожие значения - 77,46% среднее содержание влаги в мышцах, 64,45% в гонадах, 68,74% в печени; 4,93% среднее содержание общих липидов в мышцах, 17,12% в печени, 38,05% в гонадах. Значения влаги в различных органах рыб 5-тилетнего возраста также были схожими и составляли 78,57%, 66,9% и 72,22% соответственно. Количество общих липидов в печени и гонадах рыб 5-тилетнего возраста, выловленных из Веселовского водохранилища, было выше (16,56% в печени и 39,9% в гонадах), чем у исследованных рыб из р. Дон (4,6% и 25,43%).

В результате исследований были определены некоторые морфологические и физиологические особенности тарани, обитающей в разных водоемах, которые могут являться отражением адаптаций к биотическим и абиотическим факторам конкретного местообитания, связанными с температурным фоном, проточностью, кислородным режимом, кормовой базой и пр.

Работа проводилась в рамках государственного задания ФГБНУ "Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии" №076-00005-20-02 от 14.02.2020 года.

Список литературы

1) Мирошникова Е.П. Общая ихтиология. Практикум. Оренбург: ОГУ, 2011. - 106 с.

2) Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). Под ред. проф. П.А. Дрягина и канд. биол. наук В.В. Покровского. Четвертое издание переработанное и дополненное. – М.: Пищевая промышленность, 1966. – 267 с.

ТЕНДЕНЦИИ ЭВТРОФИРОВАНИЯ ВОД ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ПО МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

Кудрявцева Е.А.[1], **Буканова Т.В.**[1], **Канапацкий Т.А.**[2], **Крек А.В.**[1]

[1]*Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, г. Москва*

[2]*Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского ФИЦ Биотехнологии РАН, г. Москва*

kudryavtzeva@rambler.ru

Ключевые слова: численность, биомасса, бактерии, эвтрофикация, Балтийское море

Бактерии играют ключевую роль в процессах образования, трансформации и минерализации органического вещества водных экосистем. Цианобактерии вносят вклад в продукцию фотосинтеза. Высоко- и низкомолекулярные органические вещества служат источником энергии гетеротрофным бактериям - ключевому компоненту микробной пищевой сети. Высокая скорость размножения в течение года позволяет им синтезировать значительную биомассу, которая является постоянным источником питания для зоопланктона и зообентоса. Неорганические соединения биогенных элементов, выделяемые бактериями, вносят вклад в фонд питательных веществ, доступный автотрофным организмам. В связи с эвтрофикацией Балтийского моря [1] и глобальными изменениями климата, приводящими к повышению температуры поверхности моря и увеличению скорости биохимических процессов, количественные оценки общей численности (ОЧБ) и общей биомассы бактерий (ОББ) являются важными показателями для определения современных тенденций в экосистеме моря. Целями данной работы были: 1) описание межгодовых изменений ОЧБ и ОББ прибрежных районов юго-восточной части Балтийского моря с 2009 по 2020 г.; 2) оценка трофического статуса вод района по этим показателям и 3) сравнение с многолетними изменениями температуры поверхностного слоя моря (ТПМ).

Пробы морской воды отбирали ежемесячно с нефтедобывающей платформы D6, установленной на глубине 30 м. В период с апреля по октябрь пробы воды отбирали на шести станциях глубиной 10-15 м, расположенных у северного побережья Самбийского п-ва и Куршской косы. После отбора пробы в 15-мл флаконы добавляли глутаровый альдегид в конечной концентрации 4%. В лаборатории 1-1,5 мл пробы воды фильтровали на черные поликарбонатные фильтры с диаметром пор 0,2 мкм. Для определения ОБЧ и ОББ на фильтрах применялся метод эпифлуоресцентной микроскопии [2, 3]. Материал, осажденный с помощью фильтрации, окрашивали акридиновым оранжевым. Учет и измерения бактериальных клеток проводили под микроскопом Axio Imager D-1 «Carl Zeiss» при увеличении ×1000. В отсутствие специальных шкал оценки трофического статуса вод Балтийского моря по величинам ОЧБ и ОББ, использованы нормативы, разработанные для Чёрного моря [4]. Значения ТПМ получены с радиометров микроволнового диапазона: AMSR-E (спутник Aqua), AMSR-2 (спутник GCOM-W1) и WindSat (спутник Coriolis) из архива центра обработки данных спутниковых микроволновых радиометров Remote Sensing Systems (http://remss.com/measurements/sea-surface-temperature).

Диапазоны значений ОЧБ и ОББ для всего периода наблюдений составляют 76-5627 тыс.кл/мл и 17-484 мг/м^3, соответственно. С мая-июня по октябрь-ноябрь в изучаемом районе отмечается продолжительный внутригодовой максимум значений рассматриваемых показателей, достигающий пика в самый тёплый месяц года, в июле [5]. В районе нефтедобывающей платформы в августе наблюдается небольшое снижение величин ОЧБ и ОББ, после чего, в сентябре, отмечается повторный пик. В мелководном прибрежном районе период увеличения значений рассматриваемых показателей развития бактерий характеризуется одним максимумом в июле. Трофический статус вод прибрежного района согласно среднемноголетним ежемесячным значениям ОЧБ (1899-3090 тыс.кл/мл) в течение года соответствует эвтрофному уровню (2000-5000 тыс.кл/мл). Согласно среднемноголетнему уровню развития ОББ (163-280 мг/м^3) изучаемый район относится

к эвтрофным акваториям (50-300 мг/м^3). Продуктивность вод в районе нефтедобывающей платформы ниже. В течение всего года она находится на мезотрофном уровне. Только в июле и в сентябре продуктивность района по величине ОЧБ немного превышает нижнюю границу, установленную для эвтрофных вод (2092-2349 тыс.кл/мл).

В течение последних 12 лет установлен отрицательный тренд среднегодовых значений ОЧБ (R^2=0,3) и ОББ (R^2=0,29). За исследованный период значения ОЧБ убывали на 151 тыс.кл/мл в год, значения ОББ - на 18 мг/м^3 в год. Наиболее выраженные отрицательные межгодовые тренды ОЧБ выявлены для зимы (94 тыс.кл/мл в год; R^2=0,21) и летнего периода (238 тыс.кл/мл в год; R^2=0,38), преимущественно за счет данных, полученных в августе и сентябре. Также, результаты проведённых исследований показали, что в изучаемом районе отмечается значительное уменьшение ОББ в холодное время года. Ежегодное сокращение этих величин зимой составляет 13 мг/м^3 в год (R^2=0,55), осенью - 17 мг/м^3 (R^2=0,23). В противоположность микробиологическим показателям ТПМ возрастала ежегодно на 0,02 °С. Это соответствует тенденции к увеличению температуры воздуха в регионе в последние десятилетия [5]. Полученные результаты свидетельствуют о том, что температура - это исходный фактор, влияющий на итоговые значения ОЧБ и ОББ через систему трофических связей. В продвинутую фазу летнего «цветения» фитопланктона продукция гетеротрофных бактерий снижается вследствие интенсивного выедания простейшими. Вероятно, мягкие зимы также обуславливают не только увеличение продукции бактерий, но и более интенсивное выедание бактериальных клеток за счёт возрастания биомассы хищников.

Работа выполнена в рамках государственных заданий Института океанологии им П.П. Ширшова РАН по теме № 0128-2021-0005 и Института микробиологии им. С.Н. Виноградского ФИЦ Биотехнологии РАН, а также при финансовой поддержке гранта РФФИ № 19-05-50090.

Список литературы

1) Kudryavtseva E., Aleksandrov S., Bukanova T., Dmitrieva O., Rusanov I. Relationship between seasonal variations of primary production, abiotic factors and phytoplankton composition in the coastal zone of the south-eastern part of the Baltic Sea // Regional Studies in Marine Science. 2019. 32, 100862.

2) Кудрявцева Е.А., Канапацкий Т.А. Определение продукции бактерий в водах Балтийского моря разными методами // Комплексные исследования Мирового океана. Материалы V Всероссийской научной конференции молодых учёных, г. Калининград, 18-22 мая 2020 г. Калининград, 2020. С. 259-260.

3) Кудрявцева Е.А., Саввичев А.С., Александров С.В., Канапацкий Т.А., Пименов Н.В. Бактериопланктон Гданьского бассейна Балтийского моря // Микробиология. 2012. Т. 81. №3. С. 377-388.

4) Сорокин Ю.И., Вшивцев В.С., Домников В.С. Биологическая структура вод, её изменчивость и состояние гидробионтов // Техногенное загрязнение и процессы естественного самоочищения. М.: Недра, 1996. С. 266-312.

5) Котлярова М.А., Буканова Т.В. Изменчивость температуры поверхности юго-восточной части Балтийского моря по спутниковым данным // Известия КГТУ. 2019. № 53. С.51-61.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПЛОТНОСТИ РАННЕЙ МОЛОДИ РЫБ С УЧЕТОМ ЕСТЕСТВЕННОЙ СМЕРТНОСТИ НА ПРИМЕРЕ САЙКИ BOREOGADUS SAIDA (LEPECHIN, 1774) КАРСКОГО МОРЯ

Кузьмичева Т.А.[1], Лобырев Ф.С.[2], Мишин А.В.[1], Большаков Д.В.[1], Щеглова Я.В.[1], Большакова Я.Ю.[1]

[1]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

[2]*Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Москва*

tatyana.kuzmichyova@mail.ru

Ключевые слова: ихтиопланктон, сайка, Карское море, естественная смертность.

Хрупкие арктические экосистемы на данный момент беспрерывно находятся под влиянием комплекса негативных факторов, таких как антропогенное воздействие и динамичное изменение различных абиотических параметров среды. Наибольшее значение на сегодняшний день мировое сообщество придает постепенному увеличению среднегодовой температуры в Арктике, процессу, который уверенно сокращает площади ледового покрова и увеличивает объем речного стока в бассейнах арктических морей. Карское море, в равной степени подвержено воздействию со стороны человека и изменению климатических условий. Живые организмы, в том числе рыбы, являются универсальными индикаторами состояния экосистемы и происходящих в ней изменений. Молодь рыб на ранних стадиях развития гибнет преимущественно вследствие хищничества, а также по причине выходящих за рамки колебаний условий среды. Таким образом, наибольшее число особей погибает в течение начальных этапов онтогенеза; именно поэтому ихтиопланктонные съемки могут в большой степени охарактеризовать состояние сообществ рыб Карского моря и экосистемы в целом. Однако, любые оценки плотности молоди рыб имеют значительную погрешность, поскольку усредняются количества молоди, пойманные в разное время, следовательно, имеющие изначально различную долю молоди, выжившей вследствие естественной убыли. В данной работе предлагается методика оценки плотности рыб на основе усредненных оценок с учетом естественной смертности на примере личинок и мальков сайки *Boreogadus saida* (Lepechin, 1774). Материал для данной работы был отобран на 84 станциях в различных районах Карского моря в период с 2014 по 2020 годы (весенне-летний и летне-осенний сезоны). Ловы производились сетью Бонго на научно-исследовательских судах Профессор Штокман (2014 год, 128 рейс) и Академик Мстислав Келдыш (2015-2020 годы, 63, 66, 69 ,72, 76 и 81 рейсы). Сайка в период исследования составляла основу численности и биомассы ихтиопланктона, поэтому большие выборки, собранные в разные сезоны в различных районах Карского моря, являются весьма репрезентативными для проведения подобных расчетов и создания методики.

Введем допущения, общепринятые в рыбопромысловых исследованиях: (1) смертность личинок не зависит от их численности в данном объеме и (2) размерный состав личинок в данном объеме стабилен в период сбора материала. Пусть V — объем воды в некоторой точке акватории, а $N_0^{(V)}$ — начальная численность организмов в данном объеме в момент t_0. Тогда, в моменты времени $t_i, t_{i+1}..t_{i+j} \in [t_0; t_k]$ численность организмов соответственно $N_i^{(V)}, N_{i+1}^{(V)}, .., N_{i+j}^{(V)}$, причем $N_0^{(V)} > N_i^{(V)} > N_{i+1}^{(V)} > .. > N_{i+j}^{(V)}$ в силу естественной смертности. Тогда, $\frac{N_0^{(V)}}{N_0^{(V)}} = S_0^{(V)} = 1$, $\frac{N_i^{(V)}}{N_0^{(V)}} = S_i^{(V)}$, $\frac{N_{i+1}^{(V)}}{N_0^{(V)}} = S_{i+1}^{(V)}$,.., $\frac{N_{i+j}^{(V)}}{N_0^{(V)}} = S_{i+j}^{(V)}$, где $S_0^{(V)} > S_i^{(V)} > S_{i+1}^{(V)} > .. > S_{i+j}^{(V)}$, причем $S_0^{(V)}, S_i^{(V)}, S_{i+1}^{(V)}, .., S_{i+j}^{(V)}$ коэффициенты выживания в моменты времени $t_0, t_i, t_{i+1}, ..t_{i+j}$ соответственно.

Далее, пусть $V_1, V_2, .., V_j$ — j одинаковых объемов воды в различных точках акватории (если протраленные объемы разные, количества молоди во всех выборках нормируются на одно промысловое усилие),$N_0^{S_1}, N_{i+1}^{S_2}, .., N_k^{S_j}$ —- количества личинок в j пробах, взятых из данных объемов в моменты времени $t_0, t_{i+1}, .., t_k$ соответственно, а $[t_0; t_k]$ —- временной интервал взятия проб. Тогда,

зная функцию F_st выживания на интервале $[t_0; t_k]$, можно по количественному и размерному составу личинок в выборке, взятой в момент времени $t_i \in [t_0; t_k]$, восстановить численность личинок в любом объеме воды в любой другой момент времени $t_j \in [t_0; t_k]$, исходя из пропорциональности количеств выжившей молоди $N_i^{(V)}, N_{i+1}^{(V)}, .., N_{i+j}^{(V)}$ коэффициентам выживания $S_0^{(V)}, S_i^{(V)}, S_{i+1}^{(V)}, .., S_{i+j}^{(V)}$ для любого объема V. Дальнейшее усреднение производится по любой дате с учетом стандартизованной численности. Усредненные оценки по каждому дню и протраленные объемы в дальнейшем используются для оценок средней плотности личинок сайки по акватории. Также были получены оценки роста молоди путем аппроксимации линейной функцией распределения средневзвешенных длин молоди в каждой выборке. Наконец, были получены оценки средневзвешенной биомассы молоди путем умножения средней массы особи каждого размерного класса на численность этой группы на данной станции в данное время.

Для верификации метода был использован материал за 2019 год — 9 выборок, взятых за период 7 июля - 2 августа, в сумме 387 особей. Рост молоди оценен путем линейной аппроксимации средних значений выборочных длин и описывается функцией $L(t) = 8,37 + 0,66t$; откуда, скорость роста - 0,66 мм в сутки. По начальной длине эмбриона (5,5 мм) на основании функции линейного роста было рассчитано время вылупления — 2 июля. Функция смертности молоди сайки описывается экспоненциальной функцией $N(t) = exp(-0.048t)$, откуда мгновенная смертность 4,8% день$^{-1}$ [1]; уравнение массового роста $W(t) = 162.792(1 - \exp(-0.003t))^3$ получено аппроксимацией опытных данных функцией Берталанфи для весового роста. Средняя плотность по стандартизованным (на единую смертность) количествам личинок в указанный период описывается функцией $\overline{N}(t) = 0,21\exp(-0,048t)$, а средняя биомасса как $\overline{B}(t) = \overline{N}(t) * W(t)$.

Разработанный метод позволяет рассчитывать средние значения плотности и биомассы с учетом естественной смертности для отдельных дат (а не для временного интервала), что увеличивает точность оценки. Плотность и биомасса, таким образом, представлены как динамические характеристики, что дает возможность анализа во времени.

Работа выполнена в рамках госзадания № 0128-2021-0007

Список литературы

1) Bouchard C., Charbogne A., Baumgartner F., Maes S. West Greenland ichthyoplankton and how melting glaciers could allow Arctic cod larvae to survive extreme summer temperatures// Arctic Science 00: 1–23 (0000)

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ НАГУЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ СЕРЫХ КИТОВ (ESCHRICHTIUS ROBUSTUS) У СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО САХАЛИНА В 2019-2020 ГГ.

Куница А.А., Мамаев М.С., Анофриев А.С., Бурдин А.М.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

Русский проект по серому киту, г. Южно-Сахалинск

lesnaia.kunitsa@gmail.com

Ключевые слова: Серый кит

Часть нагульной группировки серых китов у северо-восточного побережья о. Сахалин, по-прежнему расценивается рядом исследователей как сохранившаяся западная или охотско-корейская популяция серых китов, которая занесена в Красную книгу России и Международного союза охраны природы в категорию «находящиеся под угрозой исчезновения» (Critically endangered). Русский проект по серому киту ведет регулярный мониторинг этой популяции в нагульный период у устья залива Пильтун с 1995 года. Основными методами исследований являются фотоидентификация особей и сбор проб биопсии. Также в целях учета популяции, фиксирования социальных связей и поведенческих особенностей используются беспилотные летательные аппараты (БПЛА).

За два полевых сезона (2019-2020гг) был идентифицирован 81 серый кит, из них 33 (28 детенышей и 5 кита в возрасте 1+) ранее не встречались в пильтунском нагульном районе. В 2019 году был зарегистрирован 21 новый для каталога кит, из них 20 были детенышами, что является рекордным числом за всю историю многолетних исследований, и только один в возрасте 1+ ранее не встречался в районе работ у лагуны Пильтун. 14 детенышей пришли к месту нагула с матерями, и 6 детенышей, на период исследований, отмечались в районе работ без матерей. В 2020 году из 12 новых китов встреченных в пильтунском районе, 8 были детенышами, и отмечались в период работ с матерями. Таким образом, с учетом новых серых китов (детенышей и в возрасте 1+) встреченных в пильтунском нагульном районе в 2020 г. в каталоге сахалинской нагульной группировки серых китов представлены 314 особей.

Регулярный мониторинг и анализ многолетних данных показывает, что эта нагульная группировка серых китов ежегодно увеличивается на 2-5%, что говорит о положительной динамике ее восстановления. В связи с широкомасштабными разработками нефти и газа непосредственно на местах летнего нагула серых китов, исследования этого вида у северо-восточного побережья о. Сахалин, сохраняют свою актуальность и по сей день.

International Whaling Commission — IWC

ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ ВОДНОЙ СРЕДЫ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ ОРГАНИЗМА НА КОЛИЧЕСТВО АНОМАЛЬНЫХ ЭРИТРОЦИТОВ У ДОННЫХ РЫБ ЧЕРНОГО МОРЯ

Кухарева Т.А., Кладченко Е.С.

ФГБУН ФИЦ Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН

altali@yandex.ru

Ключевые слова: аномальные эритроциты, биоиндикация, гипоксия, нерестовый период, бычок-кругляк, морской ерш

Широкое применение при проведении биоидикационных исследований вод черноморского региона получили такие виды рыб, как бычок-кругляк и морской ерш. Это объясняется тем, что данные виды ведут донный малоподвижный образ жизни и не совершают дальних миграций [1]. Следовательно, их организм вынужден адаптироваться к условиям абиотического окружения, в частности, к антропогенной нагрузке. Часто подобные исследования проводятся по состоянию системы красной крови. Это связано с тем, что кровь на уровне респираторных поверхностей приходит в непосредственное соприкосновение с окружающей средой и активно изменяется в ответ на это воздействие [2].

Одним из результатов токсического действия водной среды может быть появление аномальных эритроцитов в циркулирующей крови. Наиболее частовстечаемыми случаями эритроцитраных аномалий являются: микроядерные включения, ядерные инвагинации, дакриоциты и эритроцитарные тени. Многими авторами показано, что число данных аномалий возрастает под влиянием различных ксенобиотиков и детергентов [3].

Следовательно, почсчет числа данных аномалий позволяют давать интегральную оценку качества водной среды, что может быть использовано в целях экодиагностики. Однако, вместе с тем, необходимо учитывать, что количество данных аномалий может определяться не только воздействием ксенобиотиков, но и влиянием естественных факторов водной среды (температуры и концентрации кислорода), а также физиологическим состоянием организма (нерестовый период).

Целью работы было исследовать влияние нерестового состояния, а также естественных факторов водной среды (температуры и концентрации кислорода) на количество эритроцитарных аномалий в циркулирующий крови донных рыб Черного моря (бычок-кругляк и морской ерш).

Рыбу отлавливали в Севастопольской бухте. В работе использовали подвижных активно питающихся рыб. Кровь получали пункцией хвостовой артерии, затем изготавливали мазки, на которых подсчитывали процентное содержание аномальных эритроцитов (микроядер, эритроцитарных теней, ядерных инвагинаций и дакриоцитов).

Влияние нерестового периода. Работа выполнена на представителях бычка-кругляка. Особи находились в преднерестовом, нерестовом и постнерестовом состояниях. Следуют отметить, что отбор проводился одномоментно и из одной точки, следовательно, уровень токсической нагрузки совпадал для всех групп рыб.

Экспериментальная часть работы проводилась с использованием специально разработанного экспериментального стенда, который позволял поддерживать необходимую температуру и концентрацию кислорода в воде.

Влияние температуры. Работа выполнена на особях бычка-кругляка. Контрольная группа рыб содержалась при температуре 19-20°С. Экспериментальные группы - при 1-2°С и 15-16°С. По достижению новых температурных условий особи выдерживались в течение 5-ти суток.

Влияние гипоксии. Объектом исследования являлись особи скорпены. Контрольная группа рыб содержалась при концентрации кислорода в воде 8,5-8,7 мг $л^{-1}$ (100% насыщения, контроль). Опытные группы - при концентрации кислорода 2,6 мг $л^{-1}$ (30% насыщения, опыт) и1,3 мг $л^{-1}$ (15% насыщения, опыт). Экспозиция составляла 1,5 часа.

В настоящей работе было показано, что нерестовый период однозначно влиял на количество аномальных эритроцитов в циркулирующей крови бычка-кругляка. Число микроядер у отнерестившихся особей возрастало в 13 раз, число эритроцитарных теней - в 1,8 раз. Количество дакриоцитов и ядерных инвагинаций, напротив, снижалось в 3,5 раза у отнерестившихся особей.

Содержание большинства аномалий в крови ерша в условиях острой гипоксии (15% насыщение) снижалось. Это касалось дакриоцитов - на 0,4 % ($p < 0{,}05$), клеток с микроядерными включениями - на 0,05 % ($p < 0{,}001$) и эритроцитарных теней - на 0,26 % ($p < 0{,}001$). Единственной аномалией, процентное содержание которой сохранялось в крови на уровне контрольных значений, являлись клетки со случаями инвагинации ядра.

Что касается температуры морской воды, то в настоящей работе было показано, что она не влияла существенным образом на количество аномальных эритроцитов в циркулирующей крови бычка-кругляка. Число всех видов аномалий оставалось примерно на одном уровне в условиях гипо- и гипертермии.

Таким образом, при проведении биоиндикационных исследований морской воды методом подсчета аномальных эритроцитов в циркулирующей крови донных рыб, необходимо учитывать, что на количество аномалий влияет не только токсическая нагрузка, но и естественные факторы водной среды и физиологическое состояние организма (нерестовый период).

Работа выполнена в рамках Темы госзадания № АААА-А18-118021490093-4 «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом»

Список литературы

1) Булгаков Н.Г. Индикация состояния природных экосистем и нормирование факторов окружающей среды. Обзор существующих подходов // Успехи соврем. биол. – 2002. – Т. 122, № 2. – С. 115–135.

2) Гольдин В.М. Некоторые гематологические показатели рыб Камского водохранилища в связи с загрязнением промышленными стоками // Учёные записки Пермского университета. – 1975. – Вып. 338. – С. 123-131.

3) Давыдов О.Н. Патология крови рыб / Давыдов О.Н., Темниханов Ю.Д., Куровская Л.Я. – Фирма «ИНКОС», 2006. – 206 с.

ПЕРВЫЕ СВЕДЕНИЯ О РАСПРЕДЕЛЕНИИ МНОГОКЛЕТОЧНОГО МЕЙОБЕНТОСА В ЗАЛИВЕ БЛАГОПОЛУЧИЯ (НОВАЯ ЗЕМЛЯ, КАРСКОЕ МОРЕ)

Лепихина П.П.[1], Кондарь Д.В.[2], Удалов А.А.[2], Мокиевский В.О.[2]

[1]*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, г. Москва*

[2]*Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, г. Москва*

lepikhina_p@mail.ru

Ключевые слова: мейобентос, биоразнообразие, пространственная структура, вертикальное распределение, залив Благополучия, Арктика.

Исследования мейофауны прибрежной зоны арктических морей происходят крайне неравномерно. Основные данные о мейобентосе получены для Баренцева и Белого морей и побережья о. Шпицберген. При этом работ, в которых обсуждается экология мейобентоса Карского моря, немного [3; 5; 6], а данных о мейобентосе прибрежной зоны и заливов архипелага Новая Земля практически нет [2; 4]. Целью настоящей работы было установление таксономического состава, описание количественных характеристик и анализ вертикального распределения мейобентоса в толще грунта в заливе Благополучия (о. Северный, архипелаг Новая Земля, Карское море).

Материал для данной работы был собран в заливе Благополучия (75°40 N, 63°40 E) в ходе 81 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» на пяти станциях в диапазоне глубин 67 - 174 м. В качестве орудия отбора были использованы бокс-корер и дночерпатель Ван-Вина площадью 0,1 м^2. На каждой станции было отобрано по две повторности. Количественные пробы на мейобентос отбирали с помощью трубчатого пробоотборника площадью 3 см^2 на глубину 5 см от поверхности осадка с послойным разделением по 1 см. Фиксацию материала проводили нейтральным формалином на морской воде в концентрации 4%. Параллельно с отбором мейобентосных проб производили измерение абиотических факторов среды для последующего анализа. Экстракцию организмов из грунта проводили методом центрифугирования в градиенте плотности водного коллоидного раствора силикатов (LEVASIL®) [1]. Для этого отмытую от формалина пробу смешивали с каолином и левазилом и центрифугировали при скорости 4000 об/мин три раза по 6 минут, а супернатант промывали через сито с диаметром ячеи 40 мкм. Отмытая проба была окрашена красителем «Бенгальский розовый», затем организмы мейофауны были подсчитаны и рассортированы по таксонам.

Залив Благополучия фьордового типа характеризуется наличием внутренней котловины с глубинами до 180 м, отделённой от основной акватории Карского моря порогом с глубинами порядка 40 м. Донные осадки в центральной части залива представлены тонкими илами, не испытывающими недостатка кислорода и образующимися в результате мощного терригенного стока ледникового происхождения. Все станции находятся в условиях слабо отрицательных температур (-0.4°C) и морской солености (34,3 psu).

Мейобентос в заливе Благополучия представлен одиннадцатью крупными таксонами (Porifera, Hydrozoa, Turbellaria, Oligochaeta, Polychaeta, Nematoda, Kinorhyncha, Gastrotricha, Harpacticoida, Ostracoda и Tanaidacea). Средняя численность многоклеточного мейобентоса на исследуемой акватории составила 2292,6±677,9 экз./10см^2 (среднее ± стандартное отклонение). Самыми многочисленными были нематоды (2153,7±641,6 экз./10см^2 или 93,9% от численности всего мейобентоса). Вторая по численности группа - Harpacticoida (74,9±21,8 экз./10см^2 или 3,3% от общей численности многоклеточного мейобентоса). На всех станциях присутствовали нематоды и многощетинковые черви. Porifera, Oligochaeta, Gastrotricha и Tanaidacea были отмечены единожды в небольшом количестве. Наибольшая плотность поселения Hydrozoa, представленного единственным родом *Boreohydra*, была отмечена на самой глубокой станции (174 м), тогда как на остальных станциях

они были обнаружены в немногочисленных экземплярах. В целом, самая высокая численность мейобентоса отмечена на станции, расположенной на выходе из залива. Таксономическое разнообразие мейобентоса на четырёх из пяти исследованных станциях высокое (6 - 8 таксонов). Самое низкое разнообразие выявлено на станции, находящейся во внутренней котловине залива (глубина 103 м), где обнаружено только четыре таксона. Здесь же отмечена самая низкая численность всего мейобентоса и нематод.

На всех станциях мейобентосные организмы проникали на всю глубину верхних 5 см колонки осадка. Вертикальное распределение мейобентоса характеризовалось отчётливым максимумом в поверхностном сантиметровом слое грунта. Здесь было сосредоточено 68,0 - 86,8% животных из типа Nematoda и 61,5 - 100,0% из отряда Harpacticoida. На четырёх из пяти станций численность всех организмов постепенно уменьшалась от поверхности в глубину осадка, тогда как на одной станции в нижним слое численность организмов была незначительно выше, чем в предпоследнем. Неравномерность вертикального распределения Harpacticoida была ярко выражена на четырёх станциях, где в поверхностном слое было сосредоточено более 90% особей. На самой мелководной станции (глубина 67 м) распределение Harpacticoida в толще грунта было более равномерным: 61,5% особей было сосредоточено в поверхностном слое (толщиной 1 см) и 38,5% - в нижнем 4-сантиметровом.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты №18-05-60053, сбор материала в рейсе; №18-05-60070, анализ факторов среды; №19-05-00128, таксономический анализ мейобентоса).

Список литературы

1) Burgess, R. An improved protocol for separating meiofauna from sediments using colloidal silica sols // Marine Ecology Progress Series, 2001. – V. 214. – P. 161 – 165.

2) Pogrebov, V. B., Fokin, S. I., Galtsova, V. V., Ivanov, G. I. Benthic communities as influenced by nuclear testing and radioactive waste disposal off Novaya Zemlya in the Russian Arctic // Marine Pollution Bulletin, 1997. – V. 35. – P. 333 – 339.

3) Portnova, D., Polukhin, A. Meiobenthos of the eastern shelf of the Kara Sea compared with the meiobenthos of other parts of sea // Regional Studies in Marine Science, 2018. – V. 24. – P. 370 – 378.

4) Гальцова, В. В., Кулангиева, Л. В., Погребов, В. Б. Мейобентос из районов бывшего ядерного полигона и мест захоронения радиоактивных отходов вокруг архипелага Новая Земля (Баренцево и Карское моря) // Биология моря, 2004. – Т. 30 (4). – С. 263 – 271.

5) Портнова, Д. А., Гарлицкая, Л. А., Удалов, А. А., Кондарь, Д. В. Мейобентос и сообщество нематод Енисейского залива и прилегающего шельфа Карского моря // Океанология, 2017. – Т. 57 (1). – С. 1 – 15.

6) Удалов, А. А., Кондарь, Д. В., Милютина, М. А., Милютин, Д. М., Сапожников, Ф. В., Мокиевский, В. О. Количественное распределение мейобентоса в Байдарацкой губе (Карское море) // Океанология, 2017. – Т. 57. – С. 154 – 164.

РОСТ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ MACOMA CALCAREA В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ

Лисицына К.Н., Герасимова А.В.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

Lisitsina_Ksenia_1997@mail.ru

Ключевые слова: рост, распределение, двустворчатые моллюски, Macoma calcarea, море Лаптевых.

Широко распространенные двустворчатые моллюски *Macoma calcarea* (Gmelin) относятся к наиболее часто встречающимся представителям Bivalvia в инфауне северных морей. Однако сведений об экологических характеристиках данного вида в Арктическом регионе весьма немного. Благодаря работе нескольких экспедиций в северных морях (Баренцево, Карское, Лаптевых) в 2012-2014 гг., в составе которых принимали участие сотрудники кафедры ихтиологии и гидробиологии Санкт-Петербургского государственного университета, появилась возможность заполнить некоторые пробелы в изучении популяционных показателей маком. Цель данного сообщения - анализ закономерностей распределения и характера роста *Macoma calcarea* в море Лаптевых.

Материал получен в ходе экспедиции в августе-октябре 2014 года в море Лаптевых (84 станции на глубинах 10-345 м). Макомы были собраны вместе с другими представителями макрозообентоса с помощью дночерпателя Ван-Вина (площадь пробоотбора 0,1 м^2, 3 повторности). Анализ абиотических характеристик станций включал результаты океанографического зондирования (определение в придонном слое воды температуры, солености, растворенного кислорода, pH) и оценку гранулометрического состава донных отложений. Сравнение станций по абиотическим показателям проведено с использованием кластерного анализа и многомерного шкалирования (MDS) (мера сходства - расстояние Евклида). Для оценки вклада отдельных переменных в различия групп станций использован анализ Simper. Для изучения связи распределения абиотических характеристик и показателей обилия *Macoma calcarea* применены корреляционный анализ (коэффициент Спирмена) и тест Мантеля.

Все особи *Macoma calcarea* в пробах были измерены с точностью до 0,1 мм, их возраст и характер линейного роста определен в результате анализа внешней морфологии раковины. Реконструкция роста произведена по итогам измерения ростовых колец (размеров раковины в периоды «годовых» остановок роста) у отдельных представителей. Всего было обработано 170 маком. Различия в характере роста на разных станциях оценивали как расстояние между групповыми возрастными рядами, которые были построены в результате усреднения размеров ростовых колец отдельных особей на станциях. Сравнение возрастных рядов осуществлено в ходе анализа остаточных дисперсий относительно моделей роста [1]. В качестве модели роста использовали уравнение прямой линии.

Macoma calcarea были найдены на 35 станциях (из 84) изучаемого полигона на глубинах от 11 до 75 м при температуре и солености придонной воды от -1,7 до 3,7°C и 25,3 - 34,8 ‰ соответственно. На станциях обнаружения моллюсков в составе донных отложений преобладала мелкозернистая фракция (алевриты (в среднем около 70 %) и мелкие пески (в среднем около 27%). Средние численность и биомасса маком оказались не высоки, достигая около 23 экз./м^2 (при колебаниях от 3,3 до 233 экз./м^2) и 11,5 г/м^2 (при колебаниях от 0,007 до 101,26 г/м^2) соответственно. Максимальные величины обилия моллюсков отмечены на глубине 13 м - 233 экз./м^2 и 101,26 г/м^2 в одноименном сообществе. Основные запасы маком оказались сосредоточены в юго-западной части моря Лаптевых на глубинах 13-42,5 м (численность 63-233 экз./м^2, биомасса 33,8 - 101,26 г/м^2). В целом макомы доминировали по биомассе среди представителей макробентоса на 7 станциях (из 35), достигая от 11 до 38 % от суммарного показателя.

Не удалось выявить статистически значимых корреляционных связей между показателями обилия маком и абиотическими характеристиками станций. Однако при анализе сходства станций по абиотическим параметрам было выделено 2 группы, основной вклад в различия которых (Simper анализ) вносили доли алевритов и мелкого песка. Численность и биомасса *Macoma calcarea* на алевритовых песках почти в пять раз превышали таковые в преимущественно илистых биотопах, однако только в отношении численности моллюсков выявленные различия были статистически значимые. Полученные результаты несколько противоречат итогам анализа распределения представителей данного вида в Карском и Печорском морях, где в среднем большего обилия макомы достигали на алевритовых грунтах [2, 3], а также не слишком согласуются с предпочтительными условиями обитания инфаунных детритофагов, к которым относятся *Macoma calcarea*. Очевидно, изучение закономерностей распределения маком в море Лаптевых следует продолжить, возможно, с привлечением биотических показателей станций.

Максимальный размер *Macoma calcarea* в море Лаптевых достигал 37 мм, однако возраст особи по внешней морфологии раковины определить не удалось. Для макомы длиной около 32 мм ориентировочный возраст определен в 15-16 лет. Эти показатели в целом соответствовали аналогичным данным, полученным для представителей вида в Карском и Печорском морях [2, 3]. Только для 4 станций анализируемого района удалось построить групповые (средние) возрастные ряды, которые были использованы для оценки гетерогенности характера роста маком в изучаемой акватории. Не обнаружено достоверных различий в характере группового роста *Macoma calcarea* в исследованном районе не смотря на неоднородность условий окружающей среды на сравниваемых станциях (глубины от 13 до 43 м, доля мелкого песка в грунте колебалась от 2,5 до 72 %, алевритов - от 27 до 97 %). В итоге была построена объединенная модель группового роста маком (в течение первых 12 лет) для моря Лаптевых, параметры которой оказались весьма схожи с таковыми для Печорского и Карского морей [3]. Среднегодовая скорость роста моллюсков составила около 2 мм/год.

Таким образом, на данном этапе исследований мы можем лишь отметить, что в целом особенности распределения *Macoma calcarea* в море Лаптевых весьма напоминают таковые в соседних морях (Печорском и Карском), а выявленные отличия в распределении моллюсков требуют дальнейшего анализа. Ростовые показатели *Macoma calcarea* в северных морях (включая и море Лаптевых) также оказались достаточно консервативны. Однако для оценки максимальной продолжительности жизни маком в изучаемом районе планируется дополнительно привлечь методику определения возраста по внутренним меткам роста (на спилах раковины).

Работа выполнена при поддержке Гранта РФФИ 18-05-60157.

Список литературы

1) Максимович, Н.В. Статистическое сравнение кривых роста // Вестник Ленинградского университета. Серия 3. 1989. Вып. 4. № 24. С. 18-25

2) Лисицына К.Н., Герасимова А.В. Распределение Macoma calcarea (Gmelin) в Карском море // Процессы в геосредах № 3(17). 2018. С. 36-37

3) Gerasimova A.V., Filippova N.A., Lisitsyna K.N., Nikishina D.V., Maximovich N.V., Filippov A.A. Distribution and growth of bivalve molluscs Serripes groenlandicus (Mohr) and Macoma calcarea (Gmelin) in the Pechora sea// Polar Biology. 2019. Vol. 42. № 9. P. 1685-1702

СОДЕРЖАНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТОВ В СЫВОРОТКЕ КРОВИ АЗОВСКОЙ ТАРАНИ В НЕРЕСТОВЫЙ ПЕРИОД

Лисовская В.В.[1,3], **Кириченко О.В.**[1,3], **Жарынина И.И.**[1,3], **Бугаев Л.А.**[1],**Войкина А.В.**[1,2]

1 Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), г. Ростов-на-Дону

2 Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону

3 Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

lisovskaya_v_v@azniirkh.ru

Ключевые слова: таранъ, электролиты, сыворотка крови, хлориды, натрий, калий, фосфор.

Электролитический метаболизм - важнейший компонент общего обмена веществ, направленный на поддержание постоянства внутренней среды организма [1]. Электролиты - это соли, кислоты и основания, которые в водном растворе диссоциируют на положительно и отрицательно заряженные ионы. Суммарная концентрация катионов и анионов влияет на величину осмотического давления водных пространств организма и на состояние проницаемости биологических мембран. Для обеспечения физиологических процессов важна не столько общая концентрация каждого электролита в водных пространствах, сколько их активность или эффективная концентрация свободных ионов, поскольку часть ионов находится в связанном состоянии (ионы кальция и магния с протеинами, ионы натрия в ячейках клеточных органелл и и т. п.) [2].

Главными катионами водно-электролитного-обмена являются ионы кали и натрия. Калий является основным внутриклеточным катионом. Небольшие изменения внеклеточной концентрации калия существенно изменяют величину отношения внутриклеточной и внеклеточной концентрации калия и тем самым - трансмембранный потенциал и функциональное состояние клеток. Натрий играет важную роль в поддержание осмолярности и объема внеклеточной жидкости, т.к. на диссоциацию его солей приходится около 90% осмолярности внеклеточной жидкости [2].

Объектом исследования являлась полупроходная тарань (*Rutilus heckeli* Nordmann, 1840), являющаяся одним из наиболее важных промысловых объектов Азовского моря.

В апреле 2020 г были отобраны 125 особей тарани из разных ареалов Азовского моря: Бейсугского нерестово-выростного хозяйства (НВХ), Восточно-Ахтарского НВХ, Ейского экспериментального хозяйства по разведению и воспроизводству рыбы (НВХ).

Кровь для исследования отбирали из хвостовой артерии шприцем в сухую пробирку. Кровь центрифугировали в течение 15 мин при 4500 об/мин, полученную сыворотку хранят при -18 °C. В сыворотке крови без следов гемолиза определяли содержание электролитов с помощью автоматического биохимического анализатора Stat Fax наборами реагентов компании Абрис+ (Санкт-Петербург).

В исследуемых особях содержание катионов калия у самцов варьировало от 3,88 до 4,5ммоль/л, среди самок от 5,42 до 7,32 ммоль/л. Полученные значения находятся в пределах физиологической нормы. Более высокие значения концентраций ионов калия в крови самок может быть связан с большей массой в сравнении с самцами [3].

Средняя концентрация ионов натрия в плазме крови особей, отобранных на Ейском НВХ, для самцов составила 99,56 ммоль/л, для самок 70,45ммоль/л. В других водоемах концентрация катионов натрия в сыворотке крови исследуемых особей варьировала от 108,25 до 127,72 ммоль/л. Уменьшение концентрации натрия во внеклеточной жидкости способствует перемещению воды в клетки.

Анионы жидкостей организма тесно взаимосвязаны с катионами. Ионы хлора на ровне с катионами натрия оказывают влияние на осмотическое давление внеклеточной жидкости [1]. Средняя концентрация анионов хлора в исследуемых особях варьировалась от 102,5 до 145,48 ммоль/л. Полученные значения находятся в пределах физиологической нормы. Самые высокие значения

концентрации хлорид-анионов для самок 141,53ммоль/л и самцов 145,48 ммоль/л наблюдались у особей, отобранных на Ейском НВХ.

Фосфор — самый распространённый анион внутриклеточного пространства, присутствующий в организме в органической и неорганической формах. Фосфор необходим организму для производства энергии, выполнения функций мышечной и нервной системы, а также для роста костей. У особей, отобранных на Бейсугском НВХ, средняя концентрация анионов фосфора в плазме крови составила: для самок - 3,37 ммоль/л, для самцов - 2,58 ммоль/л. Более высокие значения содержания ионов фосфора в сыворотки крови особей, отобранных на Ейском и Восточно-Ахтарском НВХ, (от 6,53 до 9,44 ммоль/л) вероятно связаны с лучшей кормовой базой в водоемах, из которых осуществлялся вылов исследуемых особей.

Важным результатом любых диагностических исследований является постановка общего диагноза состоянию рыб с использованием многолетних данных. Анализ показал, что количественное содержание электролитов в крови рыб, выловленных весной 2020 г. соответствовало среднемноголетним данным, что позволяет сделать вывод о нормальном физиологическом состояние исследуемых особей тарани в нерестовый период из всех исследованных водоемов.

Работа выполнялась в рамках государственного задания ФГБНУ "Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии" №076-00005-20-02 от 14.02.2020г.

Список литературы

1) Сухоруков В.П. Водно-электролитный обмен, нарушения и коррекция // Учебное пособие для врачей и курсантов ФУВ. – Киров: Кировская государственная медицинская академия, 2006. С. 19-26

2) Ходус С.В., Пустовит К.В. Интенсивная терапия острых нарушений кислотно-основного состояния и водноэлектролитного баланса // Методическое пособие для самоподготовки. - Благовещенск, 2018. С. 8-11

3) Войкина А.В., Сергеева С.Г., Лисовская В.В., Жарынина И.И. Некоторые биохимические показатели сыворотки крови пиленгаса haematocheila (Temminck & Schlegel , 1845) Азовского моря в 2019 году // Биологическое разнообразие: изучение, сохранение, восстановление, рациональное использование. Материалы II Международной научно-практической конференции. 2020 С. 274-278.5.

СОДЕРЖАНИЕ КАРОТИНОИДОВ У МОЛЛЮСКОВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАРИКУЛЬТУРНЫХ ХОЗЯЙСТВ ЧЕРНОГО МОРЯ

Лосева В.В.[1], Войкина А.В.[1,2], Бугаев Л.А.[2], Лисовская В.В.[2,3], Жарынина И.И.[2,3]

1 Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону

2 Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), г. Ростов-на-Дону

3 Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

losiy.ler@mail.ru

Ключевые слова: устрицы, моллюски, Crassostrea gigas, каротиноиды, метаболизм

В настоящее время в мировой аквакультуре моллюсков гигантская устрица (*Crassostrea gigas*) - это один из самых распространённых представителей не только данного рода, но и среди всех устриц семейства *Ostreidae* [1].

Известно, что на пигментный состав моллюсков фильтраторов большое влияние оказывает окружающая среда и особенно спектр питания (состав фитопланктона). Каротиноиды в организме моллюска не синтезируются, их содержание зависит только от поступления с растительной пищей. Выращивание гигантской устрицы на естественной кормовой базе в условиях Чёрного моря, несомненно, отражается на составе каротиноидов данного моллюска [2].

Особый интерес представляют процессы переноса каротиноидов в трофических цепях морских экосистем. Они предполагают не только аккумуляцию пигментов растительного происхождения в тканях консументов, но и их значительную метаболическую трансформацию. Это качество определяется не только присутствием в их тканях высоко эффективного антиоксидантного ферментативного комплекса, но и наличием систем неспецифической антирадикальной защиты, важной составляющей которой являются пигменты каротиноидного ряда. Показано, что ткани моллюсков располагают достаточно широким спектром процессов, направленных на преобразование каротиноидов, получаемых с пищей: окисление, восстановление, преобразование двойных связей, окислительное расщепление двойных и эпоксидных связей и т.д. [3].

Согласно работам П.В. Бедова и Б.И. Колупаева содержание этой группы соединений в организме фильтраторов в 5-6 раз превышает таковое у других систематических групп гидробионтов и является их специфической особенностью.

Установлено, что каротиноиды проявляют антиоксидантное, иммуномодулирующее, противоопухолевое действие. Присутствие в каротиноидах большого количества двойных связей и придаёт им высокую биологическую активность, которая, например, проявляется в торможении процессов перекисного окисления липидов [4].

Целью исследования было определение количественного содержания каротиноидов в устрицах из различных марикультурных хозяйств, расположенных в Черном море.

Материалом исследования послужили особи тихоокеанской устрицы (*Crassostrea gigas,* Thunberg, 1793*)* отобранные в весенне-летний период 2020 г. в двух мидийно-устричных хозяйствах, расположенных в Черном море вблизи г. Джубга и на оз. Донузлав. Непосредственно после отбора моллюсков из садков особей препарировали на льду, извлекая гепатопакреас - пищеварительную железу моллюсков, совмещающую функции поджелудочной железы и печени; фрагменты тканей транспортировали в жидком азоте (- 196°С) в лабораторию для дальнейших исследований. Всего было проанализировано 30 экземпляров, все исследования проводились индивидуально.

Определение содержания каротиноидов в тканях моллюсков проводили по модифицированной методике В.Н. Карнаухова (1988). Метод основан на экстракции каротиноидов из пробы ацетоном с последующим спектрофотометрическим определением массовой концентрации или массовой доли каротиноидов [5].

В весенний период содержание каротиноидов, как одного из низкомолекулярных неферментативных звеньев антиоксидантной защиты, в гепатопанкреасе у устриц из хозяйства, располо-

женного на оз. Донузлав было в 2,4 раза достоверно выше, чем в гепатопанкреасе у устриц из хозяйства на Черном море. Среднее содержание каротиноидов в моллюсках из хозяйства на оз. Донузлав составляло 95,71±9,2 мкг/г, из хозяйства, расположенного в Черном море - 39,75±0,69 мкг/г.

В летний период уровень каротиноидов в гепатопакреасе у устриц из хозяйства на оз. Донузлав понизился в 3,3 раза по сравнению с весенне-летним периодом и составил 29,10±0,18 мкг/г. Количество каротиноидов в гепатопанкреасе устриц из мидийно-устричного хозяйства, расположенного в открытой части Черного моря, составляло 25,55±0,28 мкг/г, что 1,5 раза ниже, чем в начале летнего периода.

Можно предположить, что выявленная динамика содержания каротиноидов в тканях устриц определялась гидрологическими факторами, сезонными особенностями в спектре питания, а также репродуктивным статусом моллюсков, связанным со стадией зрелости половых продуктов.

Работа выполнялась в рамках государственного задания ФГБНУ "Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии" №076-00005-20-02 от 14.02.2020г.

Список литературы

1) Гаевская А. В., Лебедовская М. В. Паразиты и болезни гигантской устрицы (Crassostrea gigas) в условиях культивирования // Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2010. С. 15-22

2) Бородина А.В. Особенности состава каротиноидов гигантской устрицы (Crassostrea gigas (Thunberg)) в зависимости от плоидности и условий обитания // Экология моря. Вып. 79. 2009. – С. 31-36

3) Бородина А.В. Каротиноиды тканей черноморских моллюсков с различным типом питания // Автореферат диссертация на соискание научной степени кандидата биологических наук. Киев. 2013

4) Давлетшина, О. В. Определение удельного содержания каротиноидов как одного из факторов антиоксидантной защиты моллюска Unio pictorum в условиях антропогенной нагрузки // Молодой ученый. 2018. – № 1 (187). – С. 30-33.

5) Карнаухов В.Н. Биологические функции каротиноидов // М. Наука. 1988. – 240 с.

МАКРОЗООБЕНТОС ПОДВОДНЫХ ЛУГОВ ЗОСТЕРЫ ТАМАНСКОГО ЗАЛИВА АЗОВСКОГО МОРЯ

Любимов И.В., Колючкина Г.А., Беляев Н.А., Мокиевский В.О.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова, г. Москва

sapvanes@gmail.com

Ключевые слова: гидробиология, экология, донные сообщества, биология океана, Азовское море, функциональный анализ

Несмотря на широкую изученность сообществ макрозообентоса Азово-Черноморского бассейна, исследования закономерностей распределения придонных сообществ остаются актуальными. Многими авторами отмечено, что для различных масштабов пространства существуют определенные факторы, определяющие структуру сообществ. [2, 3]. Особенный интерес с точки зрения масштабов, в которых работают отдельные факторы представляют собой сообщества с ярко выраженным эдификаторным видом. В настоящей работе было проведено исследование закономерностей пространственной организации сообщества бентосной фауны Таманского залива в биоценозе морской травы *Zostera marina L.* и факторов их определяющих в нескольких пространственных масштабах.

Отбор проб макрозообентоса проводили в прибрежной зоне Таманского залива (2.7-3.0 м) Азовского моря в июле 2009 г. с *помощью* метода треугольных полигонов с изменением масштаба взятия образцов. Для этого использовали ручной трубчатый пробоотборник с площадью захвата 0.0095 м^2 (трёхкратная повторность на пробу), последующей промывкой через сито (d=0.5 мм) и фиксацией 4% раствором формальдегида в морской воде (3 повторности на станцию). Подземные побеги и корни вида-эдификатора (*Z. marina*) отделяли и после высушивания (до постоянного веса при 80°C) взвешивали с точностью 0.001 г. В каждой пробе определяли численность и биомассу (воздушно-сухой вес) макрозообентоса (в настоящее время обработаны группы Mollusca, Tunicata, Nemertea, Phoronidae, Plathelminthes, Crustacea) с точностью до 0.001 г. Статистическую обработку проводили попробно в программе Primer v.6.1, Statistica 12.5 и пакете R ade4. Для функционального анализа использовали стандартный набор функций и их модальностей [4].

Анализ содержания органического углерода ($C_{орг}$) на полигонах показал, что первый полигон имеет намного меньшие значения этого параметра (0.38±0.2%) при низком разбросе данных, а полигоны 2 и 3 по содержанию органического углерода отказались сходными (1.19±0.63% на полигоне 2 и 1.48±0.56% на полигоне 3). На полигонах отличался и гранулометрический состав грунта: для 2 и 3 полигонов характерным грунтом является слабозаиленный песок с большим количеством ракуши, для полигона 1 - заиленный песок практически без ракуши. Это может быть связано с более интенсивной гидродинамикой в районе полигона 1, расположенном на косе Тузла близ промоины, где отмечались сильные течения [1].

В 2009 г. число видов макрозообентоса в Таманском заливе в поясе зостеры на полигонах 2 и 3 составляло от 6 до 11 на станцию (всего 14). Всего было отмечено 13 видов и крупных таксонов макрозообентоса. Суммарная численность макрозообентоса на станции составляла от 520 экз/м^2 на станции 29 до 2470 экз/м^2 на станции 10, биомасса - от 1,37 г/м^2 на станции 29 до 66,94 г/м^2 на станции 16. Ординация станций методом многомерного шкалирования показала, что по биомассе станции группировались вне зависимости от глубины и района, что подтверждается анализом Permanova (P(perm)»0.001). По биомассе и численности было выделено 3 сообщества с доминантами: *Mytilus galloprovincialis, Mytilaster lineatus* и *Abra segmentum*. Анализ стандартизированных биомасс таксонов макрозообентоса методом DistLM показал корреляцию лишь с гранулометрическим составом, содержание Сорг оказыв*ала* меньшее влияние, а площадь проективного покрытия высших растений не показала достоверной связи с имеющимися данными. Сообщества

M.galloprovincialis, M.lineatus и *A.segmentum* встречались только на грунтах, где преобладала пелитовая фракция на песках с ракушью. Анализ функциональной структуры сообществ Таманского залива по биомассе (стандартизированной и трансформированной) показал, что первые две оси объясняли 84,76% изменчивости данных. Основной разброс данных на ординации был отмечен по оси 1. Ординация станций по этой оси определялась типом питания (FH - Feeding Habit). Две модальности имели наибольший вес: в левой части графика FH6 (соскабливающие, такие как *Bittium reticulatum* на станциях 10 и 16) и в центральной части FH4 (фильтраторы, такие как двустворчатые моллюски на станциях 33 и 34). Ординация по второй оси была в основном за счёт размеров (S2-размер от 1 до 3 см. Такие размеры встречались на всех станциях, однако на 16, 29 и 34 они преобладали). Корреляционный анализ данных по функциональной структуре с абиотическими факторами показал сильную корреляционную зависимость положения станций по первой оси от массы корней зостеры (R=0.846), что не было показано при таксономическом анализе. Это может быть связано с тем, что при достаточном развитии вида-эдификатора, ассоциированные виды, характеризующиеся вышеуказанными признаками (фильтраторы, соскабливающие) обитают в более благоприятных условиях, чем на станциях с менее развитой зостерой.

Наше исследование показало, что видовая и функциональная структура определялись разными факторами (видовая - гранулометрическим составом грунта, а функциональная - количеством зостеры). Это указывает на то, что в сообществе с эдификаторным видом, организующим вокруг себя среду обитания, существует ограниченное количество биологических ниш, где могут реализовывать свой потенциал разные виды.

Работа выполнена в рамках государственных заданий ИО РАН № 0149-2019-0008 «Морские и океанские экосистемы в условиях меняющегося климата и антропогенного воздействия: структура и биологическая продуктивность экосистемы Арктического бассейна и морей России, экосистемы и потенциальные биологические ресурсы открытого океана»

Список литературы

1) Ломакин, П. Д., Чепыженко, А. И., & Чепыженко, А. А. (2012). Динамика вод и взвешенного вещества в районе о. Тузла (Керченский пролив) при устойчивых меридиональных ветрах. Геология и полезные ископаемые мирового океана, (2), 72-83.

2) Butman C. A. 1987. Larval settlement of soft-sediment invertebrates: the spatial scales of pattern explained by active habitat selection and the emerging role of hydrodynamical processes // Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 25. P.113–65.

3) Thrush S.F. 1999. Complex role of predators in structuring soft sediment macrobenthic communities: implications of changes in spatial scale for experimental studies // Aust. J. Ecol., 24. P.344–354.

4) Kokarev V.N., Vedenin A.A., Basin A.B., Azovsky A.I., Taxonomic and functional patterns of macrobenthic communities on a high-Arctic shelf: A case study from the Laptev Sea. Journal of Sea Research Volume 129, November 2017, Pages 61-69.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИХТИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В 79-М РЕЙСЕ НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ» В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ МОРЯ УЭДДЕЛЛА В ЯНВАРЕ-ФЕВРАЛЕ 2020 Г.

Мишин А.В.[1], **Кобылянский С.Г.**[1], **Гордеева Н.В.**[1,2]

[1]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва*

[2]*Институт общей генетики РАН, Москва*

mishin-aleksej@mail.ru

Ключевые слова: Южный океан, море Уэдделла, мезопелагические рыбы, распределение, численность, Bathylagidae, Myctophidae.

При изучении структуры и функционирования морских пелагических экосистем Антарктики как правило центральная роль и основное внимание отводится эвфаузиидам (Euphausiidae) в особенности антарктическому крилю (*Euphausia superba* Dana, 1852), как основному источнику энергии для птиц и морских млекопитающих. Однако, по мере накопления знаний, становится очевидно, что структура пищевых цепей этого региона намного сложнее чем изначально предполагалось концепцией «диатомовые водоросли - криль - высшие хищники» и для понимания целостной картины их функционирования необходимо адекватно учитывать вклад эпи- и мезопелагической ихтиофауны. К наиболее многочисленным видам рыб, обитающим в пелагиале приполярных районов Южного океана, относятся представители семейств Nototeniidae, Bathylagidae и Myctophidae, являясь потребителями в основном мелкоразмерного растительноядного зоопланктона, они в свою очередь служат пищей для хищных рыб, морских птиц и млекопитающих, играя важную роль в поддержании стабильности экосистемы за счет создания альтернативного трофического пути, роль криля в котором не столь существенна. Таким образом, в изучение видового состава, распределения и условий существования ихтиофауны необходимо для прогнозирования влияния на трофические сети и структуру сообществ Южного океана в случае снижения численности криля, вызванной промыслом или изменением климата.

Целью данной работы было изучение структуры пелагического ихтиоцена в проливе Брансфилда и бассейне Пауэла в зависимости от гидрофизических условий в зоне контакта Антарктического циркумполярного течения и вод моря Уэдделла.

Материал собран в 79-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» 24.01-22.02.2020 г., в северо-западной части моря Уэдделла, в качестве орудия лова применялся пелагический разноглубинный трал Айзекса-Кидда в модификации Самышева-Асеева (РТАКСА), с раскрытием 6м^2. Косые ловы проводились на горизонтах от 300-0 м до 2200-0 в зависимости от глубины и рельефа дна, всего было выполнено 17 тралений. Данные о гидрофизических параметрах среды получены в процессе вертикальный зондировании зондом SeaBird. Собранный материал фиксировался в 70% водном растворе этанола, образцы, предназначенные для популяционно-генетических исследований, помещались в 96% этанол.

Всего в траловых пробах находилось 496 экз. молоди и взрослых рыб, относящихся к 15 видам. Наиболее многочисленными были представители сем. Bathylagidae - *Bathylagus antarcticus*, суммарная доля этого вида в уловах составляла 30%. Наибольшим числом видов представлено сем. Myctophidae, в пробах найдены представители 6 видов: *Electrona antarctica* - 24,5%, *Gymnoscopelus braueri* - 6,5%, *G. opisthopterus* - 7,7%, *G. nicholsi* - 1%, *Protomyctophum bolini* - 0,6. Так же заметную долю в уловах составили гоностомовые - *Cyclothone microdon* - 16%, веретенниковые - *Notolepis coatsi* - 8,3% и нототениевые - *Pleuragramma antarctica* - 3%. Кластерный анализ траловых проб, выполненный на основе видового состава и численности уловов с использованием индекса Брэя-Кёртиса показал наличие двух основных групп станций. Первая небольшая группа из трех станций, выполненных вблизи шельфа над глубинами не более 1000 м характеризовалась малым числом видов (от 2 до 4) и низкой общей численностью рыб (0,1-0,4 экз/м^2)

прибрежных и донных сем. Channichthyidae, Liparidae, Nototeniidae. Индекс видового разнообразия Шеннона (H') был в пределах 0,95 - 1,3. Остальные 14 станций, находившиеся в центральной части бассейна Пауэла над глубинами 1500-4000 м, отличались расширенным видовым составом (5-8 видов), относительно высокой общей численностью (0,5-1 экз/м^2) и максимальным видовым разнообразием (H' 1,5-2,4) с доминированием мезопелагических видов *Bathylagus antarcticus* (0,3-0,5 экз/м^2), *Electrona antarctica* (0,1-0,23 экз/м^2), *Cyclothone microdon* (0,02-0,3 экз/м^2). Из выявленных особенностей распределения ихтиофауны в бассейне Пауэла следует отметить уменьшение численности и числа видов в южных центральных районах по сравнению с районом подводных поднятий в северной части на границе с морем Скотия. Статистически данные различия достоверны только при сравнение среднего числа видов, поэтому для уточнения и механизмов возникновения различий в структуре ихтиоценов моря Уэдделла необходимы дальнейшие исследования.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания 0128-2019-0008.

УПИТАННОСТЬ ХАМСЫ ENGRAULIS ENCRASICOLUS И ЕЕ ЗАРАЖЕННОСТЬ НЕМАТОДОЙ HYSTEROTHYLACIUM ADUNCUM В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2020 Г. В АЗОВСКОМ МОРЕ

Мосесян Г.В., Стрижакова Т.В., Дудкин С.И.

Азово-Черноморский филиал ФГБНУ "ВНИРО" ("АзНИИРХ"), г. Ростов-на-Дону

mosesyangeorgiy0@gmail.com

Ключевые слова: хамса, европейский анчоус, Engraulis encrasicolus, Hysterothylacium aduncum, Азовское море, зараженность, упитанность

Нематода *Hysterothylacium aduncum* Rudolphi, 1802 - типичный представитель анизакидных нематод, который является повсеместно распространенным фоновым паразитом беспозвоночных, рыб, птиц и водных млекопитающих [1]. Взрослые и личиночные формы нематоды описаны для десятков, если не сотен, видов морских рыб, включая хамсу [2].

Хамса *Engraulis encrasicolus* Linnaeus, 1758 является одним из основных промысловых ресурсов Азово-Черноморского региона. Этот вид рыб совершает ежегодные сезонные миграции между Черным и Азовским морями, зимуя в Черном море, при этом часть популяции ежегодно нагуливается и нерестится в теплый период года в Азовском море [3]. В Черном море, как показывают многолетние исследования, хамса постоянно заражается исследуемой нематодой, а в Азовском море паразит, как правило, начинает деградировать.

Известно, что личинки нематоды *H. aduncum* способны снижать содержание липидов в теле хамсы [4]. Для активно мигрирующего вида, каковым является хамса, подобное воздействие может иметь существенное значение для формирования косяков и выживания в зимних условиях. С этой точки зрения представляет интерес проследить влияние уровня зараженности данной нематодой на упитанность хамсы.

Пробы хамсы были отобраны в разных участках Азовского моря в ходе учетно-траловых съемок в летний период 2020 г. В июне - в Таганрогском заливе, центральном и северном районах собственно Азовского моря (3 пробы); в августе - в центральном, северном и юго-западном районах (3 пробы). Объем всех выборок, за исключением одной, составил по 30 экз. рыб. Июньская проба из центральной части моря включала 100 особей. В общей сложности в камеральных условиях обработано 250 экз.

Каждую особь хамсы взвешивали, измеряли (длина по Смитту - от вершины рыла до окончания средних лучей хвостового плавника) и исследовали методом неполного паразитологического вскрытия. При этом изъятый из рыбы комплекс внутренних органов просматривали между двумя стеклами компрессорным способом под стереоскопическим микроскопом МСП-2 при разных увеличениях. Определяли количество нематод в каждой рыбе и подсчитывали стандартные паразитологические показатели в выборке: экстенсивность инвазии (ЭИ, % - процент зараженных особей), интенсивность инвазии (ИИ, экз. - наименьшее и наибольшее количество паразитов в зараженной рыбе), средняя интенсивность (СИ, экз. - среднее количество паразитов в зараженных особях) и индекс обилия (ИО, экз. - среднее число паразитов во всех особях выборки).

Коэффициент упитанности по Фультону рассчитывали для хамсы, отобранной в июне, по формуле $K=m/l^3*100$, где m - масса рыбы, l - ее длина [5]. Наличие корреляции между ИО и коэффициентом корреляции определяли через коэффициент корреляции по Кендаллу.

В результате проведенных исследований выявлена тенденция снижения уровня зараженности хамсы личинками гистеротиляциума в течение летнего периода.

Согласно усредненным данным, ЭИ хамсы гистеротиляциумом от июня к августу снизилась с 42 до 26 % (в 1,6 раза), СИ - с 3,0 до 1,6 экз. (в 1,9 раза), ИО - с 1,4 до 0,4 экз. (в 3,5 раза). Максимальное количество паразитов, выявленных в одной особи хозяина, упало с 21 до 4 экз. Пространственное распределение инвазированной хамсы в начале летнего периода выглядело мозаичным.

В июне часть популяции с наиболее высоким ИО гистеротиляциума (2,2 экз.) концентрировалось в Таганрогском заливе. К западу (центральная часть собственно Азовского моря) этот показатель снизился до 1,65 экз. Самые низкие значения ИО (0,33 экз.) были зарегистрированы в северной части моря.

В конце лета зараженные особи хамсы распределялись более равномерно. В августе степень инвазированности рыб рассматриваемого вида во всех районах исследования находилась практически на одном уровне: ИО в северном, центральном и юго-западном районах моря составлял 0,37, 0,37 и 0,47 экз. соответственно.

Анализ влияния зараженности хамсы гистеротиляциумом на коэффициент упитанности при ИИ 1-21 экз. и ИО 1,65 экз. показал отсутствие такой зависимости. В выборке из 100 особей коэффициент корреляции составил 0,13 при уровне значимости 0,053. Анализ прочих июньских выборок зависимости также не выявил.

На основании полученных в ходе исследования данных можно сделать следующие выводы. Во-первых, с июня по август зараженность хамсы нематодой *H. aduncum* значительно снизилась по всем показателям зараженности, что может свидетельствовать о деградации червя в организме хамсы в период ее пребывания в Азовском море и об отсутствии нового подзаражения ее нематодой на данной акватории. Во-вторых, при исследованных уровнях зараженности не удалось выявить влияния *H. aduncum* на показатель упитанности хамсы. Следовательно, наличие гистеротиляциума у азовской хамсы в низком количестве не оказывает явного отрицательного влияния на состояние популяции *E. encrasicolus.*

Список литературы

1) Gonzalez L. The life cycle of Hysterothylacium aduncum (Nematoda: Anisakidae) in Chilean marine farms // Aquaculture №. 3-4(162). 1998. С. 173-186
2) Гаевская А.В. Справочник болезней и паразитов морских и океанических промысловых рыб // Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. 2001. 262 с.
3) Зуев Г.В. Внутривидовая дифференциация и распространение европейского анчоуса Engraulis encrasicolus (L)(Engraulidae: Pisces) в Чёрном и Азовском морях // Морской экологический журнал №. 3(13). 2014. С. 19-31
4) Shchepkina A.M. The Influence of Helminths on the Tissue Lipid Content of Black Sea Anchovy, Engraulis encrasicholus // Parasitology and Pathology of Marine Organisms of the World Ocean. 1985. С. 49
5) Козлов В.И., Абрамович Л.С. Краткий словарь рыбовода // М.: Россельхозиздат, 1982.- 160 с.

ПОДВОДНЫЕ ИНТЕРВАЛЬНЫЕ СЪЁМКИ КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ И ПОВЕДЕНИЯ РЫБ НА ПРИМЕРЕ АКВАТОРИИ КЕРЕТСКОГО АРХИПЕЛАГА БЕЛОГО МОРЯ

Надточий Е.В.[1], Савельев П.Д.[1], Паницина В.А.[1], Демчук А.С.[1], Иванов М.В.[1], Иванова Т.С.[1], Генельт-Яновский Е.А.[2], Лайус Д.Л.[1]

[1] *Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург*
[2] *Зоологический институт РАН, г. Санкт-Петербург*

katya_ nadtochii@mail.ru

Ключевые слова: морская биология, Белое море, подводные съёмки, численность рыб

Дистанционные методы исследований численности и поведения рыб с помощью фото- и видеосъёмки активно разрабатываются в настоящее время [1] [2]. Ручная обработка изображений, полученных таким образом, отличается высокой точностью, однако этот способ требует достаточно много времени, что является серьезным ограничением для обработки большого объема первичного материала. На данный момент существуют способы автоматического распознавания рыб и их подсчёта как с помощью лицензионных программ обработки изображений, так и программ, созданных специально с помощью различных языков программирования. Целью данной работы являлось сравнение различных способов автоматической обработки изображений рыб на примере распределения производителей трёхиглой колюшки (*Gasterosteus aculeatus* L.) на нерестилище в акватории губы Сельдяная, Кандалакшский залив, Белое море. Этот вид является удобным модельным объектом для подобных исследований в связи с тем, что обитает, в основном, в толще воды и является наиболее многочисленным в Белом море [3].

Подводные съёмки проводились при помощи фотокамер интервальной съёмки Brinno TLC200 Pro. Все изображения, полученные фотокамерой, автоматически записывались в видеофайл. Для анализа численности рыб использовался набор изображений, отобранных случайным образом из этого файла. Анализ изображений позволяет получить следующую информацию: размер, пол и направление движения рыб, динамику их численности, а также расстояние от камеры до рыбы (при допущении стандартного размера рыбы, который менялся в относительно небольших пределах, от 59.1 до 64.2 мм, согласно данным неводных съёмок в то же время в том же месте). Для определения вышеперечисленных показателей по изображениям сравнивали три способа извлечения данных: (i) ручную обработку с помощью инструмента Line width в программе ImageJ; (ii) автоматическую обработку с помощью инструмента Analyze particles в программе ImageJ; (iii) автоматическую обработку с помощью программного кода на Python [4], использующего возможности библиотеки обработки фото- и видеофайлов OpenCV [5].

Ручная обработка с помощью инструмента Line width в программе ImageJ изображений заключалась в индивидуальном измерении длины рыб (TL) и угла направления их движения. Данный способ безусловно обладает высокой точностью, но требует, как сообщалось ранее, много времени. Одним из наиболее простых способов автоматического распознавания объектов является инструмент Analyze particles, встроенный в программу обработки изображений ImageJ. В нашем случае рыбы на снимках выступают в роли частиц с собственными границами. Однако, для того, чтобы контуры были правильно распознаны, необходимо проводить дополнительную обработку каждого снимка: перевод цветов по шкале градации серого; размытие по Гауссу; шарпенинг (придание большей резкости); установление пороговых значений гистограммы яркости. Использование программного кода на Python позволяет проделать вышеперечисленные операции автоматически, что заметно экономит время, затраченное на анализ. Обработка изображений этим способом проводилась с помощью доработанного авторами исходного кода, написанного Adrian Rosebrock [4].

Чтобы выяснить, насколько хорошо автоматические программные решения справляются с задачей, было проведено сравнение эффективности распознавания рыб с помощью Analyze particles и библиотеки OpenCV. Критерием качества распознавания явилось отношение числа особей в поле зрения, полученное с помощью алгоритмов Analyze particles или OpenCV, к числу особей, подсчитанных вручную (Line width). Analyze particles позволяет распознавать в среднем для выборки из трёх изображений 85±11.9% рыб относительно ручной обработки, из пяти изображений - 77±5.2%, а из десяти изображений - 75±5.1% рыб. OpenCV позволяет распознать 89±7.4%, 85±4.8% и 87±4.2% рыб в кадре при выборке из трёх, пяти и десяти изображений соответственно. Качество распознавания объекта не зависит от расстояния между самим объектом и камерой. Одной из основных причин, по которой объект не распознаётся алгоритмом, является пересечение рыб с другими объектами. Также среди недостатков автоматического распознавания принципиальным моментом остаётся ошибка измерений контуров рыб. Инструмент Analyze particles уменьшает длину объектов на изображении на 24±2.6%, а OpenCV увеличивает размеры рыб на 2.4±1.8%. Во всех случаях наблюдалась систематическая ошибка при измерении длин, поэтому исходная длина рыб в пикселях может быть восстановлена с помощью уравнений регрессии. Каждое уравнение характеризовалось высоким коэффициентом детерминации (y=0.9295x-7.1948, R^2=0,9785 для Analyze particles; y=0.9412x + 2.2871, R^2=0,9471 для OpenCV). Это пока не позволяет полностью автоматизировать процесс распознавания рыб.

Таким образом, в результате нашего исследования показано, что машинные алгоритмы позволяют достаточно эффективно оценивать численность рыб и их размеры, причём алгоритм OpenCV делает это более точно, чем Analyze particles. В то же время, для повышения точности анализа необходима его калибровка с результатами ручного анализа, что пока не позволяет полностью автоматизировать данный процесс.

Работа была выполнена при поддержке гранта РНФ 19-14-00092 «Осиная талия» экосистем северных морей: долговременная динамика, популяционная структура и трофические связи массовых пелагических рыб Белого и Балтийского морей». Авторы выражают благодарность администрации УНБ СПбГУ «Беломорская» за возможность круглогодичной научной работы на Белом море.

Список литературы

1) Cappo M., Harvey E., Shortis M. Counting and measuring fish with baited video techniques-an overview //Australian Society for Fish Biology Workshop Proceedings. – Tasmania: Australian Society for Fish Biology, 2006. – Т. 1. – С. 101-114.

2) Marini S. et al. Tracking fish abundance by underwater image recognition // Scientific reports. – 2018. – Т. 8. – №. 1. – С. 1-12.

3) Лайус Д.Л. и др. 2020. Трехиглая колюшка Белого моря: популяционные характеристики и роль в экосистеме. Сибирский экологический журнал, 2: 167–183.

4) Computer Vision, Deep Learning, and OpenCV: сайт. URL: www.pyimagesearch.com(дата обращения 04.01.2021)

5) Open Source Computer Vision Library (OpenCV): сайт. URL: https://opencv.org (дата обращения 05.01.2021)

РАЗМЕРНО-ВОЗРАСТНАЯ СТРУКТУРА СКУМБРИИ SCOMBER COLIAS В ЦЕНТРАЛЬНО-ВОСТОЧНОЙ АТЛАНТИКЕ

Никитенко А.И.[1], Строганов А.Н.[2], Артеменков Д.В.[3], Беляев В.А.[3]

[1] *Филиал по пресноводному рыбному хозяйству Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ВНИИПРХ), п. Рыбное*

[2] *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (МГУ), г. Москва*

[3] *Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), г. Москва*

alexey_ nikitenko90@mail.ru

Ключевые слова: скумбрия, Scomber colias, Центрально-Восточная Атлантика, рост, возраст.

По объемам вылова водных биологических ресурсов Центрально-Восточная Атлантика (ЦВА) относится к регионам интенсивного рыболовства и имеет важное значение для рыбной промышленности Российской Федерации. Воды ЦВА находятся в районе действия Канарского апвеллинга и характеризуются высокой биологической продуктивностью. Основная биомасса промысловых видов пелагических рыб сосредоточена в пределах исключительных экономических зон (ИЭЗ) Королевства Марокко и Исламской Республики Мавритания между мысами Юби и Зеленый. Ежегодно в ЦВА добывается до 1,3-1,7 млн. т биоресурсов. Одним из важных объектов международного океанического рыболовства в пелагиали открытой части ЦВА является скумбрия (*Scomber colias Gmelin, 1789*).

Сбор материалов производился научными наблюдателями «Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии» (ВНИРО) в рамках программы мониторинга комплексных исследований мелких пелагических рыб на рыболовных судах в исключительных экономических зонах Марокко и Мавритании в 2015-2017 гг. В настоящее время основной промысел осуществляется активными орудиями лова - пелагическими тралами, с размером ячеи 55-60 мм с вертикальным раскрытием 55-70 м и горизонтальным 140-150 м. Исследованы размеры скумбрии, возраст и темп роста. Возраст рыб определен по отолитам.

Длина скумбрии в траловых уловах 2015 г. (1980 экз.) варьировала в пределах 18,2-46,2 (31,3±0,08) см, коэффициент вариации (CV) составил 12,4%. Доминировали (65%) особи стандартной длиной (SL) 28-33 см, доля рыб SL $\geqslant$ 35 см составила 18%. В уловах отмечены особи массой 60-1314 (412,6±4,3) г, CV= 46,2%. Среди них преобладала (73%) скумбрия массой 200-500 г, более крупные рыбы 501-800 г и 801-1314 г были представлены соответственно 17 и 6%. В соотношение полов преобладали самки (57,8%). Возраст варьировал от 2+ до 8+, средний возраст составил 4,3±0,12, CV =31.8%.

В 2016 г. в траловых уловах отмечены скумбрии (703 экз.) SL 11,6-45,7 (34,2±0,21) см, CV= 16,5%. В размерном ряду выделялась группа рыб - SL 31-37 см (55%). Доля особей SL $\geqslant$ 35 см в уловах составляла 40%, что существенно больше, чем в 2015 г. Масса скумбрии варьировала в пределах 12,3-1440 (567,8±11,6) г, CV=54%. Как и в 2015 г., в уловах более многочисленны были рыбы массой 200-500 г (53,1%). Выделялась также группа особей массой 800-1440 г (25%). В соотношение полов наблюдалось небольшое преобладание самцов(53%). Выборка 2016 г. была представлена в возрасте 2+ - 9+ (4,9±0,08), CV=44%.

В траловых уловах в 2017 г. длина скумбрии (1353 экз.) варьировала в пределах 14,4-43,4 (27,2±0,1) см, CV=14,3%. Преобладала группа рыб SL 25-30 см (70%). Доля крупных рыб SL $\geqslant$

35 см, была существенно ниже, чем в 2015-2016 гг. и составляла 4%. В уловах отмечены особи массой 24-1144 (267,2±3,8) см, CV=51,2%. Среди них преобладали группы скумбрии массой 200-300 г (59,3%) и 24-200 г (35,2%). По сравнению с 2015 и 2016 гг. почти отсутствуют рыбы массой более 500 г. (0,8%). Это, скорее всего, связано, с тем, что вылов в 2017 г. осуществлялся в осенний период в ИЭЗ Марокко между 20-22°с.ш. На данной акватории сезонное распределение с августа по ноябрь характеризуется высокими промыслово-статистическими показателями уловов, однако высокие плотности скоплений практически не смещаются, что уверенно характеризует биологический период отдыха [1, 2] перед предстоящим нерестом и затрудняет вылов крупноразмерной скумбрии. В соотношение полов, как и 2015 г. наблюдается преобладание самок (52,5%). Возраст скумбрии варьировал от 2+ до 8+ (3,1±0,1), CV= 41%.

В период исследований с 2015 по 2017 гг. самцы возрастных групп 2+ - 4+ имели несколько большую длину и массу, чем одновозрастные самки, однако эти различия в большинстве случаев были невелики. В старших возрастных группах 5+ - 8+ самки были крупнее самцов. Взаимоотношение между длиной и массой хорошо описывается уравнением степенной функции: $y = 0{,}0035x^{3{,}3739}$, $R^2 = 0{,}9615$.

Биологические показатели исследованных в 2015-2017 гг. рыб незначительно отличались от данных Новоженина и Старосельской [3], Алексеева [4] и Выскребенцева [5]. Так, размерно-весовые показатели особей в нашей работе были незначительно выше, чем у одновозрастных рыб, изученных в 1960-1970 гг. Наибольшие различия наблюдаются у скумбрии в возрасте 2+ и 3+ (SL 27,4 и 30,1 1 по нашим данным, 22,8 и 28,1 по средним данным результатов вышеперечисленных коллег).

Работа выполнена в рамках ежегодного государственного мониторинга ФГБНУ "ВНИРО" основных промысловых рыб в Центрально-Восточной Атлантике в 2004–2017 гг.

Список литературы

1) Рекомендации по использованию промысловых районов в Атлантическом океане на 1998 г // АтлантНИРО. 1997. С. 56.

2) Никитенко А.И., Артеменков Д.В., Беляев В.А., Строганов А.Н., Соболев И.В. // Вопросы рыболовства. 2020. Т.21. С. 302-312. DOI: 10.36038/0234-2774-2020-21-302-312.

3) Новоженин Н.П., Старосельская А.Г. К биологии скумбрии Северо–Западного побережья Африки // Труды АтлантНИРО. Рыбопромысловые исследования в тропической зоне Атлантического океана. 1964. Вып. 11. С. 65–70.

4) Алексеев Ф.Е. Некоторые данные по биологии скумбрии северо–западного побережья Африки // Труды АтлантНИРО. 1969. Вып. 22. С. 308–316.

5) Выскребенцев Б.В. Данные по биологии скумбрии (Scomber japonicus colias Gmelin, 1789) западного побережья Африки // Труды АзЧерНИРО. 1970. Вып. 29. С. 144–168.

ПАРАЗИТОЛОГИЧЕСКИЙ СТАТУС АЗОВСКОЙ ТАРАНИ В НЕРЕСТОВЫЙ ПЕРИОД

Пастух Я.В.[1], Войкина А.В.[1,2], Бугаев Л.А.[2], Стрижакова Т.В.[2], Нейдорф А.Р.[1]

1 Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону

2 Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), г. Ростов-на-Дону

pastukh.yana@inbox.ru

Ключевые слова: таранъ, Азовское море, паразитологический статус

Паразитофауна промысловых рыб Азово-Донского бассейна в настоящее время характеризуется увеличением видового разнообразия и численности паразитических червей - гельминтов: они составляют 71 % всей фауны паразитических организмов и являются основными патогенами, наносящими ущерб здоровью рыб.

Большинство исследователей-ихтиопатологов сообщают, что одним из главных сдерживающих факторов рыбоводства в естественных и искусственных открытых водоемах России является неблагополучная эпизоотическая ситуация. Болезни рыб, в том числе инвазионные, занимают существенное место в формировании суммарной патологии теплокровных животных и гидробионтов [5].

Тарань (*Rutilus Rutilus, Linnaeus, 1758*) - азово-черноморская форма плотвы, обитающая повсеместно в прибрежье Черного и Азовского морей, кроме побережья Малой Азии. В Азовском море ареал тарани занимает прибрежную зону восточной и северо-восточной частей моря. Большая часть ее поколений распределяется в Таганрогском заливе, включая Ейский лиман и дельту Дона - одной из крупнейших рек степной зоны, в Ахтарском морском районе с Бейсугским и Ахтарским лиманами, Ачуевском и Темрюкском морских районах. Исключительные биологические и экологические свойства этого вида рыб, а также его большое значение в промысле дали основание для глубокого изучения паразитических отношений этого вида рыб с другими животными [1].

Целью исследования являлась оценка состояния нерестовой популяции тарани, заходящей на нерест в водоемы ОСП «Бейсугское НВХ» и ОСП «ЕЭХРВР» ФГУП «Бейсугское нерестово-выростное хозяйство» по паразитологическим показателям.

Отбор биоматериала для паразитологических исследований рыб проводился в соответствии с общепринятыми методами [2, 3, 4].

Линейные размеры обследованной тарани из *Бейсугского НВХ* варьировали от 13,1 до 17,8 см, масса - от 49,6 до 126,7 г. Выборка была представлена двумя возрастными группами. Самыми многочисленными были особи в возрасте двух лет - 89 %, количество трехлеток составляло 11 %. Среди самцов особей старше двух лет не встречалось. В выборке незначительно преобладали самки (52 %).

Линейные размеры тарани из *Ейского ЭХРВР* варьировали от 13,0 до 21,1 см, масса - от 48,0 до 226 г. Выборка тарани была представлена рыбами четырех возрастов. Производители в возрасте 2 лет составляли 41 % выборки, трех лет - 47 %, четырех лет - 10 %, пятилетние особи встречались единично (2 %). Таким образом, основу нерестовой части составляли двух- и трехлетние производители. В обследованной выборке доминировали самки (65 %).

Результаты паразитологического анализа тарани при заходе ее на нерест в водоемы БНВХ и ЕЭХРВР показали традиционный для этого периода набор паразитов.

Общий списочный состав паразитофауны тарани в преднерестовый период насчитывал 9 видов из 5 классов: Myxosporea (1 вид), Peritrichia (1 вид), Monogenea (2 вида), Trematoda (2 вида) и Nematoda (3 вида). Среди них жаберных - 4 (миксоспоридия *Myxobolus bramae*, инфузория *Trichodina* sp., моногенеи *Dactylogyrus crucifer* и *Diplozoon paradoxum*), глазных - 2 (трематоды *Diplostomum* sp. и *Tylodelphys clavata* met), полостных (нематоды *Contracaecum collare*, *Contracaecum* sp., *Philometra ciprinirutili*) - 3.

Максимальные показатели инвазии в обоих хозяйствах отмечены для традиционного компонента паразитоценоза тарани - моногенеи *D. crucifer*. Значения экстенсивности заражения тарани этим видом у особей из *Бейсугского НВХ* составляла 93,3 %, у особей из *Ейского ЭХРВР* - 100 %.

Простейшие встречались только в Бейсугском лимане и были представлены кругоресничными инфузориями р. *Trichodina* и миксоспоридией *M. bramae*.

В условиях повышения солености Азовского моря традиционные компоненты глазных паразитоценозов, *T. clavata* и *Diplostomum* sp., в силу своей принадлежности к пресноводным видам отмечались у незначительной части рыб и с низкой (в основном, 1-3 экз.) интенсивностью, особенно в Ейском лимане.

Уровень инвазированности круглыми червями, единично встречавшимися в полости тела (*P. ciprinirutili*) и в стенке кишечника (*C. collare, Contracaecum* sp.) тарани, так же, как и глазными паразитами, не представлял серьезной опасности для взрослых рыб.

Таким образом, зараженность половозрелой тарани, пришедшей на нерест в Ейский и Бейсугский лиманы, определялась как паразитоносительство и не наносила видимого ущерба организму рыб.

Работа выполнена в рамках Государственного задания Азово-Черноморского филиала ФГБНУ "Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии" №076-00005-50-02 от 14.02.2020 г.

Список литературы

1) Быховская-Павловская И.Е. Паразиты рыб: руководство по изучению / И.Е. Быховская-Павловская. – Л.: Наука, Ленинградское отд., 1985. – 123 с.

2) Гаевская А.В., Гусев А.В., Делямуре С.Л. и др. Определитель паразитов позвоночных Черного и Азовского морей. – Издательство «Наукова думка», 1975. – 551 с.

3) Гаевская А.В. Паразиты и болезни рыб Черного и Азовского морей: II – полупроходные и пресноводные рыбы. – Севастополь, 2013. – 354 с

4) МУК 3.2. 988. – 00. Методы санитарно-паразитологической экспертизы рыбы, моллюсков, ракообразных, земноводных, пресмыкающихся и продуктов их переработки. Методические указания (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 25.10.2000)

5) Петришко В.Ю., Фирсова Г.Д. Инвазионные заболевания промысловых рыб, регистрируемые в акватории Ростовской области // Вестник аграрной науки, 6(69), 2017, с. 70 - 76.

СОВРЕМЕННЫЕ ДАННЫЕ О ГИДРОХИМИИ ВОД СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ В ОСЕННИЙ ПЕРИОД

Пастухов И.А.[1], **Ишкулова Т.Г.** [1]

[1]*Мурманский Морской Биологический Институт Российской Академии Наук, г. Мурманск*

johawhich@gmail.com

Ключевые слова: биогенные элементы, гидрохимия, Баренцево море.

В ноябре 2019 года в ходе экспедиции НИС «Дальние Зеленцы» сотрудники ММБИ РАН произвели комплексное исследование водной акватории, расположенной между архипелагами Земля Франца-Иосифа и Новая Земля. Был сделан разрез из 8 станций, на которых определялись следующие параметры гидрохимического комплекса: кислород, pH, нитриты, нитраты, фосфаты и силикаты. Отбор проб и аналитические определения выполняли на борту судна общепринятыми методами [2,3].

По температуре и солености в районе исследований были выделены арктические и баренцевоморские водные массы [1,4]. Наибольшие изменения этих параметров наблюдались в поверхностном горизонте. Диапазон флуктуаций температуры составил от -1,72 до +0,37 °C, а солености от 33,12 до 34,40 PSU. В придонном горизонте амплитуда изменений этих гидрологических параметров незначительна, и на большей части исследуемого района водные массы классифицируются как баренцевоморские (в среднем, температура -0,50 °C, соленость 34,85 PSU).

В распределении гидрохимических параметров на исследованной акватории выявлены следующие тенденции: в водах у архипелага Земля Франца-Иосифа по сравнению с водами у архипелага Новая Земля наблюдались более низкие концентрации кремния, фосфатов и нитритов, и более высокие - кислорода. Содержание в воде большинства биогенных элементов значительно увеличивалось от поверхности ко дну. В среднем, для горизонтов «0 м» и «дно» содержание растворенных форм фосфора изменялось от 0,1 до 0,4 мкг-ат/л, кремния - от 1,1 до 6,7 мкг-ат/л, а нитратного азота - от 24,7 до 184,2 мкг-ат/л. Подобное распределение характерно в осенне-зимний период, т.к. биологические процессы потребления минеральных форм биогенных элементов прекращаются, и происходит их постепенное накопление в результате разложения опускающихся ко дну детрита и остатков организмов.

На большинстве станций нитритным азотом наиболее насыщен горизонт 50 м (до 4.62 мкг-ат/л). Гидрологические данные указывают на наличие скачка плотности на данной глубине, который препятствует опусканию органических веществ, что приводит к концентрированию нитритного азота, образующего в результате их окисления.

Средневзвешенное количество растворенного кислорода, усредненное по станциям в районе исследований, составило 7,2 ±0.,05 мл/л. Вертикальное распределение O_2 типично для осенне-зимнего сезона, и сходно для всех станций - его количество уменьшалось с глубиной. Так как явной вегетативной деятельности в рассматриваемый период времени не наблюдается, то, вероятнее всего, причиной подобного распределения является различная растворимость кислорода в разных водных массах. Так, полученные для района исследований корреляционные зависимости между соленостью и концентрациями кислорода, а также биогенных элементов являются значимыми величинами (минимум 0.64, по модулю, при уровне значимости 0,95). Также кривая распределения кислорода в водном столбе имеет промежуточные минимумы и максимумы, и наибольший скачок концентрации O_2 наблюдался в водном слое 50-100 м, где наблюдался пикноклин.

При классификации водных масс по гидрохимическим параметрам часто используется соотношение кремния к фосфору [5]. Величина данного соотношения для придонного водного слоя всего района исследований изменяется в узких пределах от 14,2 до 24,1 и, в среднем, составила 17,7

единиц. В период незначительного влияния биоты на распределения гидрохимических параметров, данный параметр, на наш взгляд, можно применять для идентификации водных масс даже в подверженном значительным вариациям верхнем 100-метровом слое. На большей части акватории для водного слоя 0-25 м величина Si/P составила в среднем 5,9 при солености 33,7-33,9 PSU. Максимальное отличие наблюдалось на станции, которая расположена в средней части разреза (в среднем, Si/P=40,9, соленость 33,1 PSU, температура -0,75°C). Высокое содержание силикатов, низкое - фосфатов, а также низкая соленость, по сравнению с остальной частью исследованной акватории, указывают на отличное от баренцевоморских и арктических вод происхождение данного слоя, возможно влияние небольших течений приносящих насыщенные силикатами воды от архипелагов.

Работа выполнена в рамках гос. задания ММБИ РАН №0228-2019-0003

Список литературы

1) Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 1. Баренцево море. Вып. 2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. 181 с.

2) Руководство по химическому анализу морских вод. Руководящий документ. Л.: Гидрометеоиздат, 1993, 263 с.

3) Справочник гидрохимика: рыбное хозяйство. Под ред. В. В. Сапожникова. М. : Агропромиздат, 1991. 224 с.

4) Химические процессы в экосистемах северных морей (гидрохимия, геохимия, нефтяное загрязнение) / Г. Г. Матишов, Л. Г. Павлова, Г. В. Ильин и др. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1997. 404 с.

5) Хмельницкая О.К. Основные гидрохимические характеристики промежуточных и глубинных водных масс Северной Атлантики. Вестн. Моск. ун-та Сер. 5. География. 2011. № 6. С. 60-66.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МАКРОЗООБЕНТОСА В ПРИБРЕЖНОЙ ЧАСТИ КАРКИНИТСКОГО ЗАЛИВА (ЧЁРНОЕ МОРЕ)

Подзорова Д.В., Макаров М.В., Надольный А.А., Ковалёва М.А.

ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь

podzorova@imbr-ras.ru

Ключевые слова: видовой состав, плотность, биомасса, моллюски, раки, полихеты

Каркинитский залив расположен в северо-западной части Черного моря, за его границу принимают условную линию, соединяющую мыс Тарханкут и Тендровскую косу [4]. Исследования макрозообентоса в заливе проводили, начиная с 1934 г., они охватывали обширные области Каркинитского залива и большой диапазон глубин [1, 2, 6]. В последнее 10-летие изменились соленостный режим и степень антропогенного влияния в акватории залива [5], в связи с чем в данной работе рассматриваются видовой состав и показатели количественного развития макрозообентоса в летний период 2018 г. Материалом для анализа послужили пробы, собранные летом 2018 г. на глубинах 0,2 – 5 м на 25 станциях (6 разрезах) в мелководной юго-восточной части залива от Бакальской косы до самой вершины Каркинитского залива в диапазоне солености 18,0 – 27,3 ‰. Грунт в районе отбора проб илистый, песчаный или ракушечный, с зарослями водорослей и морских трав. Пробы отбирали ручным дночерпателем площадью захвата 0,04 м2 и обрабатывали по общепринятой методике. В 2018 г. на мелководье Каркинитского залива зарегистрировано 105 видов макрозообентоса. Количество видов на отдельных станциях изменялось от 2 до 43, в среднем на каждой станции регистрировали 22 вида. Наибольшим видовым богатством отличались группы Polychaeta и Crustacea (40 и 31 вид соответственно). Отмечено 13 видов Bivalvia, 9 – Gastropoda, 1 – Polyplacophora. Представителей других таксономических групп до вида не определяли, однако регистрировали присутствие в пробах Oligochaeta, Platyhelminthes, Nematoda, Chironomidae, Porifera, Bryozoa, Ascidiacea, а также 3-х морфологически различных видов Actiniaria. По частоте встречаемости в акватории выделили 3 группы видов: «константы», встреченные на 50–100 Мелководная часть Каркинитского залива характеризуется высоким видовым богатством макрозообентоса, наибольшим количеством видов представлены группы полихет и раков. Плотность и биомасса беспозвоночных в пределах изученной акватории широко варьируют. Поэтому в дальнейшем для определения характера распределения макрозообентоса исследуемой акватории планируется провести более детальный анализ собранных материалов с учетом различных факторов среды, таких, как глубина, солёность, тип субстрата, присутствие донной растительности. Благодарности. Авторы выражают огромную благодарность Тимофееву В.А. за участие в сборе материала, Болтачевой Н.А. за ценные рекомендации при определении полихет и работе над рукописью.

Работа выполнена по теме Гос.задания ФГБУН ФИЦ ИнБЮМ РАН «Заєдкономерности формирования и антропоєдгенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана» (№ гос. регистрации АААА-А12-1030100028-0)

Список литературы

1) Арнольди Л. В. Материалы по количественному изучению зообентоса Черного моря. II. Каркинитский залив // Тр. Севастоп. биол. станции. Т. 7. 1949. С.127–192

2) Болтачева Н. А., Ревков Н. К., Бондаренко Л. В., Колесникова Е. А., Тимофеев В. А., Копий В. Г. Таксономический состав макрозообентоса Каркинитского залива (Чёрное море) в начале XX века // Морские биологические исследования: достижения и перспективы, ЭКОСИ-Гидрофизика, г. Севастополь. Т. 2. 2016. С. 36-39

3) Воробьев В. П. Бентос Азовского моря. Симферополь: Крымиздат, 1949. - 190 с.

4) Иванов В.А., Совга Е.Е., Хмара Т.В., Зима В.В. Термохалинный режим акватории Каркинитского залива и экологические последствия природопользования. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. Вып.3. 2018. С.22-33. doi: 10.22449/2413-5577-2018-3-22-33

5) Подзорова Д. В., Болтачева Н. А. Изменение таксономического состава Polychaeta в связи с повышением солёности в мелководной части Каркинитского залива (Чёрное море) // Актуальные проблемы изучения черноморских экосистем — 2020 : тез. докл. Всерос. онлайн-конф., 19–22 октября 2020 г., Севастополь, Российская Федерация. Севастополь: ФИЦ ИнБЮМ, 2020. С. 66-67. https://repository.marine-research.org/handle/299011/8903

6) Ревков Н.К., Болтачева Н.А., Колесникова Е.А., Тимофеев В.А. Макрозообентос района Лебяжьих островов Каркинитского залива (Черное море) //Биоразнообразие и устойчивое развитие: тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Симферополь, 19–23 мая 2010г. Симферополь. 2010. С.108–111

ПРОЯВЛЕНИЕ КАННИБАЛИЗМА У ТРЕХИГЛОЙ КОЛЮШКИ (GASTEROSTEUS ACULEATUS L.) В ПЕРИОД НЕРЕСТА В КАНДАЛАКШСКОМ ЗАЛИВЕ БЕЛОГО МОРЯ

Подлевских А.Л., Демчук А.С., Иванов М.В., Иванова Т.С., Лайус Д.Л.

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

ann-vesta201395@yandex.ru

Ключевые слова: трехиглая колюшка, питание, каннибализм, Белое море.

Трехиглая колюшка (*Gasterosteus aculeatus* L.) является самым массовым видом среди рыб Белого моря [1], поэтому изучение ее трофических связей важно для понимания того, как функционирует вся беломорская экосистема. Исследование трофических связей *G. aculeatus* показало, что для этого вида характерен каннибализм, который выражается в поедании собственной икры, доля которой иногда составляет более 85 % содержания желудков [2]. Известно, что нерестовое поведение самцов и самок трехиглой колюшки различается. Самки специально образуют группы и нападают на гнезда своего вида, поедая их. Самцы охраняют гнезда до вылупления молоди [3]. Однако в их желудках также была обнаружена икра, возможно, таким образом они удаляют из гнезда поврежденные или неоплодотворенные икринки, тем самым заботясь о нем [4]. Целью данного исследования является изучение паттернов каннибализма самок и самцов трехиглой колюшки на примере разных нерестилищ Кандалакшского залива Белого моря.

Материал для исследования собирали в 2019 г. в начале (8.06), середине (14.06) и конце (26.06) нереста на трех станциях (окрестности о. Кереть, проливе Сухая Салма и губе Сельдяной) неподалеку от учебно-научной базы (УНБ) СПбГУ в Керетском архипелаге Кандалакшского залива Белого моря. Пробы собирали и обрабатывали по описанной ранее методике [2]. Общий объем выборки составил 870 экз. Для рыб, в желудках которых была обнаружена икра, производилась оценка стадий ее нормального развития в соответствии с опубликованной ранее таблицей [5].

В результате исследования из 870 особей икра была обнаружена в желудках 249 (29%), из которых 131 (53%) самец и 118 (47%) самок. Среднее число икринок у самцов и самок составляло 12,27 ± 1,23 (max=130) и 15,03 ± 1,27 (max=133) у самцов и самок соответственно и достоверно не отличалось (ANOVA, $F_{1,\,246}$=1,32, p=0,25). В каждом наблюдении (совокупность особей, объединенных общей станцией и датой) были найдены эмбрионы, стадию развития которых нельзя было идентифицировать из-за сильного повреждения вследствие переваривания или иных причин. Среднее число таких икринок в желудках самок в каждом наблюдении было достоверно меньше (14±2.94%), чем у самцов (40±7.07%) (ANOVA, $F_{1,\,228}$=8.7, p<0,05). Это можно связать со значительно менее активным поиском добычи самцами и соответственно, с более медленным перевариванием ими пищи [6]. При анализе количества стадий развития икры в желудках самцов было выявлено, что они содержали одновременно до 5 различных стадий развития эмбрионов. В среднем, у 62±3% рыб преобладает содержание единственной стадии развития, у 19±2%, 13±3%, 4±3% и 1±1% - одновременно двух, трех, четырех и пяти стадий соответственно. У самок мы наблюдали более высокое разнообразие стадий развития, нежели у самцов. Желудки самок содержали одновременно до 8 различных стадий развития икры. В среднем, наибольший процент самок (35±14% и 32±5%) содержат одну и две стадии соответственно, меньшая доля (15±7% и 14±5%) содержат три и четыре стадии соответственно, 2±2% - пять, 2±1% - шесть стадий, 1±1% - семь и 1±1% - восемь стадий. Такие различия могут объясняться более активным перемещением самок и, следовательно, поеданием ими большего количества гнезд с эмбрионами на разных стадиях развития. Анализ стадий, содержащихся в желудках, показал, что среднее количество неоплодотворенных икринок в желудках самцов (37.6±12.7%) достоверно больше такового в желудках самок (19.5±9.32%) почти в 2 раза (ANOVA, $F_{1,\,228}$=5.9, p<0,05). Можно предположить, что это связано с описанными выше разными стратегиями каннибализма у полов [3, 4]. Дисперсионный

анализ ANOVA (факторы - “Дата” и “Пол”) показал, что в желудках самцов в течение нереста прослеживается достоверное снижение количества неоплодотворенной икры (post hoc $p<0{,}001$), а в желудках самок этого не наблюдается (post hoc $p>0{,}05$). Из начавшей развиваться икры в среднем у самцов и самок наибольший процент составляет 1я стадия ($41.6\pm9.7\%$ у самцов и $51.7\pm11.2\%$ у самок). При этом в желудках самок доля 1й стадии достоверно больше, чем у самцов (ANOVA, $F_{1,\ 228}=6.02$, $p<0.05$). В целом, на всех станциях наблюдалась общая гетерогенность стадий развития икры, при этом разнообразие стадий в желудках рыб стабильно увеличивалось к концу нереста (от 3 до 17 стадий), что является возможным следствием увеличения количества гнезд с икрой на разных стадиях развития в течение нерестового периода.

Таким образом, особи трехиглой колюшки, собранные на разных нерестилищ Кандалакшского залива Белого моря, демонстрируют различную степень каннибализма в зависимости от пола. Хотя по количеству съеденной икры самцы и самки не отличаются, достоверные различия между ними наблюдаются. Среди съеденной самками икры отмечается большее разнообразие стадий развития, чем у самцов; у самцов при этом в желудках содержится больше поврежденной и неоплодотворенной икры; эти отличия, вероятно, связаны с поведенческими стратегиями обоих полов.

Работа была выполнена при поддержке гранта РНФ 19-14-00092 «Осиная талия» экосистем северных морей: долговременная динамика, популяционная структура и трофические связи массовых пелагических рыб Белого и Балтийского морей». Авторы выражают благодарность администрации УНБ СПбГУ «Беломорская» за возможность круглогодичной научной работы на Белом море.

Список литературы

1) Лайус Д.Л. et al. Трехиглая колюшка Белого моря[U+202F]: популяционные характеристики и роль в экосистеме // Сибирский экологический журнал. 2020. Vol. 2. P. 167–183.
2) Демчук А.С. et al. Питание беломорской трехиглой колюшкии Gasterosteus aculeatus (Linnaeus, 1758) на нерестилищах // Труды Карельского научного центра РАН. 2018. № 4. P. 42–58.
3) Wootton R.J. A Functional Biology of Sticklebacks. 1st ed. / ed. Calow P. London and Sidney: Croom Helm, 1984. 261 p.
4) Карманова И.В. Паразиты развивающейся икры, личинок и мальков горбуши Oncorhynchus // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и Северо-Западной части Тихого океана. 2002. Vol. 6. P. 308–313.
5) Swarup H. The reproductive cycle and development of the gonads in Gasterosteus aculeatus (L.) // Proc. Zool. Soc. Bengal. 1958. Vol. 11. P. 47–61.
6) Пегель В.А. Физиология пищеварения рыб / ed. Макаров В.Т., Иоганзен Б.Г. Томск: Издание томского государственного университета том 108, 1950. 199 p.

ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ РОДА SKELETONEMA В ЯПОНСКОМ МОРЕ

Пономарева А.А.[1], **Шевченко О.Г.**[1,2]

[1] *Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, г. Владивосток*

[2] *Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, г. Владивосток*

anna_ andreevna7@mail.ru

Ключевые слова: фитопланктон, Skeletonema, диатомовые водоросли, морфология

Род *Skeletonema* был описан Р. К. Гревиллем в 1865 г. из прибрежных вод о. Гонконг. Клетки чаще объединены в колонии, представителей рода можно легко идентифицировать среди других диатомовых водорослей из-за наличия длинных, хорошо различимых в световом микроскопе, краевых выростов. Однако видовая идентификация на световом уровне затруднена. Из-за этой особенности с момента описания рода подавляющее большинство ссылок в мировой научной литературе относятся именно к *S. costatum*, в то время как к настоящему времени в составе рода насчитывает более 20 видов.

Представители рода *Skeletonema* в Мировом океане чрезвычайно широко распространены в планктоне прибрежных зон морей умеренных широт, вызывая «цветение» воды [1]. В северо-западной части Японского моря виды рода встречаются в планктоне круглогодично, но именно в летне-осенний период являются одним из наиболее массовых компонентов фитопланктона. В целом, для Японского моря известно 9 видов *Skeletonema*. Так, у побережья о-ва Кюсю, Япония, отмечены *S. ardens*, *S costatum*, *S. dohrnii/marinoi*, *S. japonicum*, *S. menzelii*, *S. pseudocostatum*, *S. tropicum* [2].

Поскольку идентификация видов *Skeletonema* на уровне световой микроскопии затруднена значительным перекрыванием основных диагностических признаков, для их определения были применены методы лабораторного культивирования, световой и электронной микроскопии, а также молекулярно-генетические методы. Изучение материала с применением вышеописанных методов выявило присутствие 6 видов рода в российских водах Японского моря: *S costatum*, *S. grethae*, *S. dohrnii*, *S. japonicum*, *S. marinoi* и *S. menzelii*. На основании полученных данных составлены расширенные морфологические описания, дополнены сведения по распределению видов в Мировом океане.

В целом, морфология всех идентифицированных видов соответствует оригинальному описанию. Однако существуют некоторые отличия. Так, у *S. dohrnii* и *S. japonicum* отмечено большее количество краевых выростов, чем указанно в литературе; у *S. marinoi* количество ареол в 10 мкм также больше, чем по данным литературы.

Известно, что для представителей рода характерны внутривидовая изменчивость и значительное перекрывание диагностических признаков [3, 4]. Опубликован ряд работ, в которых видовая идентификация *Skeletonema* основывается на данных молекулярно-биологических методов исследования [2, 5, 6]. Полученные нами сведения подтверждают чрезвычайную вариабельность, в том числе и основных диагностических признаков.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 19-04-00752.

Список литературы

1) Borkman D., Smayda T. Multidecadal (1959–1997) changes in Skeletonema abundance and seasonal bloom patterns in Narragansett Bay, Rhode Island, USA // Journal of Sea Research. 2009. Vol. 61. P. 84–94.

2) Yamada M., Katsuki E., Otsubo M., et al. Species diversity of the genus Skeletonema (Bacillariophyceae) in the industrial harbor Dokai Bay // Japan Journal of Oceanography. 2010. Vol. 66. P. 755–771.

3) Ellegaard M., Godhe A., Härnström K., McQuoid M. The species concept in a marine diatom: LSU rDNAbased phylogenetic differentiation in Skeletonema marinoi/dohrnii (Bacillariophyceae) is not reflected in morphology // Phycologia. 2008. Vol. 47. P. 156–167.

4) Bergesch M., Garsia M., Odebrecht C. Diversity and morphology of Skeletonema species in southern Brazil, southwestern Atlantic Ocean // Journal of Phycology. 2009. Vol. 45. P. 1348–1352.

5) Jung S.W., Yun S.M., Lee S.D., Kim Y., Lee J.H. Morphological characteristics of four species in the genus Skeletonema in coastal waters of South Korea // Algae. 2009. Vol. 24, № 4. P. 195–203.

6) Shevchenko O.G., Ponomareva A.A., Turanov S.V., Dutova D.I. Morphological and genetic variability of Skeletonema dohrnii and Skeletonema japonicum (Bacillariophyta) from the northwestern Sea of Japan // Phycologia. 2019. Vol. 58, № 1. P.95–107.

ОЦЕНКА КОНЦЕНТРАЦИИ И КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА ВЗВЕСИ В СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЕ С ПОМОЩЬЮ ПРОТОЧНОГО ЦИТОМЕТРА

Рауэн Т.В.[2], Багаев А.В.[1]

[1] *Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия*

[2] *Институт биологии южный морей им. А.О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия*

taschi@mail.ru

Ключевые слова: Севастопольская бухта, проточная цитометрия, взвесь, ливневая канализация

Интенсификация использования рекреационного потенциала Севастопольской бухты в последнее время резко повышает требования к эстетическим и санитарно-эпидемиологическим параметрам морской воды. Одним из показателей, характеризующих эти параметры, является взвесь, поступающая в воды бухты с ливневыми и канализационными стоками. В связи с этим появилась необходимость разработать новый методический подход к оценке концентрации и качественного состава взвеси в Севастопольской бухте.

Одновременное определение качественного, количественного и размерного состава частиц взвеси, содержащихся в ливневых стоках и морской воде, может быть обеспечено применением проточной цитометрии (ПЦ). Это один из высокотехнологичных методов исследования дисперсных сред в режиме индивидуального анализа отдельных частиц по сигналам светорассеяния и флуоресценции. Он дает возможность провести не только общий количественный анализ взвеси (сестона), включая микроорганизмы и неживые частицы, но и вычленить информацию об отдельных компонентах сестона, в частности, гетеротрофном бактериопланктоне (БП) и пикофитопланктоне (ПФ) - ключевых микробных компонентах морской прибрежной экосистемы. Таким образом, мониторинг пространственно-временной изменчивости различных параметров взвеси, полученных с помощью ПЦ, может служить инструментом для исследования динамики плюма ливневых вод, его распространения по акватории и воздействия на микробное население пелагиали. Цель данной работы - отработка и совершенствование метода оперативной оценки количественного и размерного состава частиц взвеси (включая БП и ПФ), до, во время и после сброса ливневых вод в акваторию Севастопольской бухты.

Для анализа параметров взвеси, пробы воды отбирали на сетке станций вдоль трансекты от вершинной (где находится ливневый сток) к устьевой части Артиллерийской бухты на двух горизонтах (поверхность и придонный слой). Временной промежуток отбора проб включал период до ливня (фоновые значения), сразу после ливня и на следующие сутки после ливня. Для анализа проб применяли проточный цитометр Cytomics^{TM} FC 500 (Beckman Coulter, США), и программное обеспечение CXP.

Для определения количественного и размерного состава частиц общей взвеси (SM -suspended matter) был разработан специальный протокол измерения. Общую численность SM определяли с помощью Гейтинга популяции частиц на 2-параметрических цитограммах прямого светорассеивания (FS) и гранулярности (SS). Гейтинг - это процедура выделения (очерчивания) отдельной популяции (кластера) клеток на графиках, которую получают с помощью проточного цитометра. Численность бактерий определяли в пробах, окрашенных SYBR Green I (Molecular Probes, США) в соответствии с [2], с помощью Гейтинга популяции клеток на 2-параметрических цитограммах прямого светорассеивания (FS) и флуоресценции SYBR Green I в зеленой области спектра (канал FL1, 525 нм) на безразмерных логарифмических шкалах [1]. Концентрацию клеток БП рассчитывали по скорости протока пробы (15 мкл мин$^{-1}$), времени счета (60 сек.) и количеству клеток, зарегистрированных в этот промежуток времени (3 - 50 тыс. кл.). Общую численность ПФ определяли в неокрашенных пробах с помощью Гейтинга популяции клеток на 2-параметрических цитограммах прямого светорассеивания (канал FS) и автофлуоресценции в красной (FL4,

675 нм) и оранжевой (FL2, 575 нм) областях спектра на безразмерных логарифмических шкалах. Идентификацию кластеров пикоцианобактерий рода Synechococcus и эукариотных пиководорослей в пространстве цитометрических переменных проводили по размерам клеток (канал FS)и оранжевой флуоресценции (канал FL2) фикоэритрина (PE) в соответствии с [3].

В результате данной работы:

1. Впервые предложено использовать стандартную методику цитометрического определения концентрации бактерио- и пикофитопланктона для мониторинга их распределения и динамики в акватории бухты, принимающей ливневые воды.

2. Разработан протокол цитометрического определения концентрации взвешенных микрочастиц (в размерном диапазоне 0,5-70 мкм) в ливневых стоках и морской воде.

3. Показано, что концентрация взвешенных частиц в ливневых водах (около 2×10^7 част./мл) на 2 порядка выше фоновых значений принимающей морской воды в вершинной части Артиллерийской бухты (0,1-0,3 $\times$ 10^6 част./мл).

4. Концентрации бактерий в ливневой воде соответствовали летним максимумам бактериопланктона, наблюдаемым в Севастопольской бухте ($1{,}4 \times 10^6$ кл./мл). Поступление ливневых вод в акваторию бухты вело к значительному увеличению численности бактериопланктона (0,6-0,8 $\times$ 10^6 кл./мл).

5. Пикофитопланктон отсутствует в ливневых водах. Поступление ливневых вод в акваторию бухты не приводило к существенным изменениям в обилии пикофитопланктона за исключением незначительного увеличения численности пикоцианобактерий Synechococcus в районе расположения ливневого стока.

6. Фоновые значения содержания взвеси и микроорганизмов в водах бухты восстанавливались спустя сутки после сильного ливня.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ 20-45-920019 "Междисциплинарное исследование влияния физико-географической конфигурации городской ливневой канализации в полузакрытой антропогенно-нагруженной бухте эстуарного типа на экологическое и рекреационное состояние береговой зоны".

Список литературы

1) Gasol J.M., Del Giorgio P.A. Using flow cytometry for counting natural planktonic bacteria and understanding the structure of planktonic bacterial communities // Scientia Marina. - 2000. V. 64. № 2. P. 197–224.

2) Marie D., Partensky F., Jacquet S., Vaulot D. Enumeration and cell cycle analysis of natural populations of marine picoplankton by flow cytometry using the nucleic acid stain SYBR Green I // Appl. Environ. Microbiol. - 1997. V. 63. P. 186 – 193.

3) Marie D., Simon N., Vaulot D. Phytoplankton cell counting by flow cytometry // Algal cult. techn. - 2005. - V. 1. P. 253–268.

ОЦЕНКА РАЗНООБРАЗИЯ И ЧИСЛЕННОСТИ МИКРООРГАНИЗМОВ В ВОДНОЙ ТОЛЩЕ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

Салова В.Д., Гавирова Л.А.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва

salova_varvar@mail.ru

Ключевые слова: Белое море, Арктический регион, разнообразие микроорганизмов.

Белое море, являющееся единственным внутренним морем бассейна Северного Ледовитого океана, представляет одну из уникальных экосистем Арктического региона. Его особенность обусловлена гидрологическим режимом, формирующим интенсивные течения, большому речному стоку, снижающему общую солёность, а также обмену водными массами с Баренцевым морем. Однако микробное разнообразие данного водного объекта изучено крайне слабо. Существующие в настоящее время работы направлены на оценку численности и разнообразие культивируемых микроорганизмов либо на изучение конкретных физиологических групп. В связи с чем целью данной работы является исследование структуры микробных сообществ в водной толще Кандалакшского залива Белого моря.

Отбор материала проводили в открытой части Кандалакшского залива Белого моря в августе 2019 г. на глубинах от 5 до 250 м. Во время отбора проб были измерены профили температуры и солености до глубины 80 м. Отобранную в каждой точке батометром воду фильтровали через мембранные фильтры с диаметром пор 0,22 мкм. Из образцов была выделена тотальная ДНК и получены библиотеки ампликонов V4 участка гена 16S рРНК. Библиотеки были отсеквенированы с применением Illumina MiSeq, и полученные риды были проанализированы с помощью сервиса SILVAngs (https://ngs.arb-silva.de/silvangs/) для определения относительной представленности таксонов микроорганизмов в исследуемых пробах. Для предварительного анализа образцы были объединены в 4 группы: 5-10 м (5 и 10 м), 15-20 м (15, 20, 25 м), 30-120 м (30, 60, 120 м) и 140-250 м (140, 210, 250 м). Небольшая часть объема воды каждой пробы была зафиксирована раствором формальдегида с итоговой концентрацией 2%. Для определения общей численности микроорганизмов использовали метод прямого подсчета клеток путем флуоресцентной микроскопии с окраской акридиновым оранжевым фиксированных формальдегидом проб.

В ходе работы было показано, что численность микроорганизмов с глубиной изменяется в пределах от $7{,}3*10^4$ до $2{,}9*10^5$ клеток/мл, а именно наибольшие значения наблюдаются на глубинах 15-30 м, причем слой скачка проходит на глубине равной 18-25 м. По результатам профилирования по V4 участку гена 16S рРНК было обнаружено 35 бактериальных и 4 архейных филумов, причем с увеличением глубины разнообразие микроорганизмов росло. Во всех исследуемых пробах доминирующей группой оказались *Proteobacteria* (47-62%), однако между сообществами разных глубин наблюдались существенные отличия. На глубинах от 5 до 20 м преобладал класс *Alfaproteobacteria* (28-34%), а с 30 до 250 м - *Gammaproteobacteria* (22-30%). Класс *Betaproteobacteria*, широко представленный в пресных водоемах и встречающийся вблизи побережья и многолетних льдов в Арктике, в наших образцах не был обнаружен, несмотря на то, что Белое море имеет большой речной сток. Согласно данным литературы в поверхностных водах морей Арктического региона преобладает класс *Alfaproteobacteria*, при этом количество представителей класса *Gammaproteobacteria* изменяется в зависимости от сезона. В летний сезон в фотической зоне он может достичь своего максимума, при этом его доля существенно сокращается с увеличением глубины [1]. Ранее в единственной работе по бактериальному разнообразию Белого моря было показано, что в прибрежных водах и на глубине 70 м основу бактериального сообщества составляет класс *Gammaproteobacteria* от 67 до 96% [2], в то время как по нашим данным его доля не превышала 22-30%. Другой распространённый в Арктике филум *Bacteroidetes* был представлен порядком *Flavobacteriales*, и с глубиной его относительное содержание в сообществе изменялось от 15 до 8%. Считается, что

данная группа вместе с представителями класса *Gammaproteobacteria* являются копиотрофными организмами, которые ассоциированы с фитопланктоном, соответственно, в летний период в фотической зоне их доля увеличивается [1]. Цианобактерии были представлены родом *Synechococcus*, составляющим 4-12% от всего микробного сообщества на глубине 5-20 м, что соотносится с уровнем фотической зоны. Однако в работе [2] было показано, что группа цианобактерий в водах Кандалакшского залива представлена единственным родом *Prochlorococcus*, свойственным более южным широтам. В нашем исследовании этот род не был обнаружен, что может быть связано с сезоном и местом отбора проб. Также было отмечено уменьшение с глубиной количества представителей группы *Actinobacteria*, составляющих 6-9% сообщества в водах до 30 м и 3-4 % на глубине 30-250 м. В пробах с глубин 140-250 м было показано, что четверть микробного сообщества составляет филум *Thaumarchaeota*, а именно род *Nitrosopumilus*, являющийся одной из многочисленных групп в глубоководных зонах Мирового океана. Представители этого рода являются нитрификаторами, имеющими большое сродство к иону аммония. Так, доля его представителей с увеличением глубины возрастала от 6% - 15-20 м до 16% на 30-120 м и 24% на 140-250 м. В других работах было показано, что для этой группы характерно увеличение доли в сообществе фотической зоны в зимнее время года во время снижения количества фитопланктона [1]. Стоит отметить, что на глубине 30-120 м характерной группой является *Verrucomicrobia*, а именно род *Luteolibacter*. По сравнению с пробами с других глубин, где их содержание незначительно, здесь их доля составила 10-11 и 8% соответственно. Наблюдалось также значительное количество представителей филума *Chloroflexi* группы SAR202, составляющей 3-4% только на глубине 140-250 м.

В целом, несмотря на все отличительные особенности Белого моря, полученные нами результаты сопоставимы с существующими литературными данными о разнообразии микроорганизмов в морях Арктического региона. В дальнейшей работе при анализе разнообразия микроорганизмов на большем количестве горизонтов, а также в различных локациях Кандалакшского залива Белого моря, будут получены данные о зависимости структуры микробных сообществ от глубины и других факторов, вариативности состава микроорганизмов, наличии характерных групп.

Список литературы

1) Wilson B., Müller O., Nordmann E. L., Seuthe L., Bratbak G., Øvreås L. Changes in marine prokaryote composition with season and depth over an Arctic polar year //Frontiers in Marine Science. – 2017. – V. 4. – P. 95.

2) Gorrasi S., Pesciaroli C., Barghini P., Pasqualetti M., Fenice M. Structure and diversity of the bacterial community of an Arctic estuarine system (Kandalaksha Bay) subject to intense tidal currents //Journal of Marine Systems. – 2019. – V. 196. – P. 77-85.

БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ИКРЫ СЕВРЮГИ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ РЫБОВОДНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Самарич З.О.[1], **Войкина А.В.**[1,2], **Бугаев Л.А.**[2], **Кириченко О.В.**[2,3]

1 Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону

2 Азово-Черноморский филиал ФГБНУ "ВНИРО" ("АзНИИРХ"), г. Ростов-на-Дону

3 Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

samarich_z@mail.ru

Ключевые слова: севрюга, каротиноиды, икра, сырой протеин, липиды

Осетровые - уникальные реликтовые виды рыб, пережившие миллионы лет эволюции и приспособившиеся к самым разнообразным экологическим условиям, в настоящее время находятся на грани полного исчезновения.

Под влиянием хозяйственной деятельности экосистема южных морей России, особенно Азовского моря, испытывает существенные изменения, неблагоприятные для рыбного хозяйства. Эти изменения в полной мере относятся и к состоянию естественной популяции севрюги в Азовском бассейне, которая в настоящее время находится в крайне депрессивном состоянии. В настоящее время в области искусственного воспроизводства севрюги отмечается резкий спад, обусловленный, в первую очередь, дефицитом производителей [1].

В современных условиях значительную роль играет искусственное разведение осетровых для товарного производства рыбы и поддержания численности естественных популяций осетровых. Однако искусственное разведение и, тем более, вмешательство в природные экосистемы, оказывают отрицательное влияние на генофонд осетровых и их технологические характеристики при выращивании [2].

В аквакультуре осетровых рыб традиционными являются следующие объекты выращивания: белуга, русский осетр, сибирский осетр, стерлядь, гибриды этих видов. Следует отметить, что севрюга является одним из сложных объектов воспроизводства, что обусловлено более интенсивным обменом веществ и энергозатратами на рост и развитие, меньшей устойчивостью к дефициту кислорода и низкой сформированностью защитной системы, особенно на ранних этапах постэмбриогенеза [3].

При искусственном воспроизводстве рыб важное значение имеет качество икры. Согласно имеющимся в литературе данным эффективность инкубации в значительной мере определяется химическим, в том числе липидным, составом икры [4].

Целью исследования являлась оценка качества икры севрюги по физиолого-биохимическим показателям, отобранной от производителей на предприятиях ФГБУ «Главрыбвод».

Материалом для исследований послужила икра севрюги, полученная прижизненно после гипофизарных инъекций от производителей на Темрюкском (ТОЗ) и Донском (ДОЗ) осетровых заводах во время нерестовой кампании в 2020 г. Перед отбором икры у производителей измерялась длина и масса тела. Содержание влаги определяли высушиванием при температуре 105°С, содержание жира - экстракционным методом в аппарате Сокслета, содержание белка - по методу Лоури, массовую концентрацию каротиноидов - по ГОСТ Р 54058-2010 [5].

Показатель массы исследуемых самок севрюги из Темрюкского осетрового завода в среднем составлял 10,6 кг, из Донского осетрового завода - 11,7 кг. Рабочая плодовитость исследуемых самок оказалась невысокой и составила 137,8 тыс. шт. у производителей из Темрюкского осетрового завода и 128,1 тыс. шт. у производителей из Донского осетрового завода. Полученная плодовитость была ниже, чем у самок сопоставимого размера, выловленных из естественной природной среды. Размеры ооцитов соответствовали значениям для севрюги естественного происхождения.

Содержание липидов, уровень и соотношение отдельных липидных классов рассматриваются как один из важнейших показателей обеспеченности нормального развития будущего эмбриона и

жизнеспособности потомства [6]. Исследования показали, что жирность икры у производителей из Донского осетрового завода была достоверно выше (37,55±0,73%), чем у производителей из Темрюкского осетрового завода (33,31±1,01%). В целом показатели жирности икры из двух исследуемых рыбоводных предприятий были достаточными для обеспечения потребности в структурных компонентах и метаболической энергии зародышей.

Содержание водорастворимого белка в икре севрюги варьировало в широких пределах: у производителей из Донского осетрового завода - от 160 мг/г до 224 мг/г, из Темрюкского осетрового завода - от 155 мг/г до 201 мг/г. Высокие значения белка в икре производителей могут свидетельствовать о достаточном протекании метаболических процессов для дальнейшего развития эмбрионов.

Каротиноиды влияют на процессы роста и качество половых продуктов, обладают антиоксидантными свойствами. Исследования показали, что содержание каротиноидов в икре от производителей из ТОЗ было достоверно выше, чем в икре от производителей из ДОЗ, которое в среднем составляло 2,22±0,30 мкг/г и 1,52±0,30 мкг/г соответственно.

Результаты исследования показали, что качество икры севрюги находилось в пределах физиолого-биохимических норм.

Работа проводилась в рамках государственного задания ФГБНУ "Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии" №076-00005-20-02 от 14.02.2020 года.

Список литературы

1) Серпунин Г.Г., Сементина Е.В., Савина Л.В. Характеристика крови стерляди разного возраста, выращиваемой в установке замкнутого водоснабжения // Осетровое хозяйство № 3.- 2009. - С. 46-51

2) Шишанова Е.И. Экологоморфологическая и генетическая изменчивость популяции севрюги р. Урал. / Автореф. диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук, 2003.

3) Тяпугин В.В., Васильева Л.М., Судакова Н.В. Сравнительная оценка репродуктивных показателей самок севрюги, выращенных в разных условиях / Сборник статей Международной научно-практической конференции. – Астрахань, 10–12 октября 2017. – С. 172-175.

4) Реков Ю.И. Запасы азовских осетровых рыб: современное стояние и ближайшие перспективы // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна: Сборник научных трудов АзНИИРХ. - Ростов-на-Дону, 2002. – С. 265-272.

5) ГОСТ Р 54058-2010. Продукты пищевые специализированные и функциональные. Метод определения каротиноидов

6) Немова Н.Н., Нефедова З.А., Мурзина С.А., Веселов А.Е., Рипатти П.О. Сравнительная характеристика липидного и жирнокислотного статуса икры атлантического лосося на стадии пигментации глаз в естественных и искусственных условиях // Известия РАН. Серия биологическая, № 6. – 2015. – С. 581–588.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МАКРОБЕНТОСА ГЕЛЕНДЖИКСКОЙ БУХТЫ ЧЕРНОГО МОРЯ

Семин В.Л. [1], **Колючкина Г.А.** [1], **Любимов И.В.** [1], **Басин А.Б.** [1], **Симакова У.В.** [1]

[1] *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

svinovod@yandex.ru

Ключевые слова: Черное море, Геленджикская бухта, макробентос, динамика сообществ.

Геленджикская бухта - одна из немногочисленных естественных полузакрытых бухт на северо-восточном побережье Черного моря. Она находится в непосредственной близости от г. Геленджик и является как популярным курортом, так и местом интенсивного судоходства. В бухту открываются несколько паводковых водотоков (крупнейший - р. Су-Аран). Гидрологическая структура вод способствует накоплению в восточной части бухты терригенного материала и загрязняющих веществ в донных осадках [2], а содержание лабильных сульфидов в верхнем слое грунта здесь достигает 700-900 мг S/дм^3 сырого ила [5]. Поэтому здесь вероятно возникновение сезонной гипоксии, хотя прямыми измерениями содержания кислорода в придонном слое это показано еще не было. Структура сообществ макрозообентоса бухты подтверждает это предположение: в 1979-1980 гг. здесь отмечали 3 типа биоценозов: обедненный с доминированием *Necallainasa truncata, Loripes orbiculatus-Tritia reticulata* в западной и восточной частях, *Chamelea gallina-Diogenes pugilator* на большей части бухты, а также безжизненный полужидкий ил вблизи впадения ливневых канализаций [3]. С 1990х гг. исследования структуры сообществ макробентоса здесь не проводились.

Цель настоящей работы - оценка современного состояния макрозообентоса Геленджикской бухты и сравнение с данными 2003 г., а также историческими данными.

В 2003 и 2020 гг. был проведен пробоотбор в восточной части Геленджикской бухты по единой методике (3 станции 2003 г, 5 станций 2020 г.). Для сбора проб использовали дночерпатель Океан-0,1 (3 повторности на станции), промывку проб вели через сито 0,5 мм.

В 2003 г. в районе впадения Су-Аран, где в 1994 г. отмечали лишь безжизненный ил, было отмечено разнообразное, но малопродуктивное сообщество гастропод-фитофагов *Bittium reticulatum-Rissoa* spp. на алевритовых грунтах с дерновиной *Zostera* sp. Биомасса макрозообентоса составляла в среднем 25 г/м^2, численность 5117 экз/м^2, а общее число видов 52. В 2020 г. зостера отсутствовала, но было отмечено интенсивное развитие харовых (*Chara vulgaris*), а также нитчатых зеленых (*Cladophora* spp.), бурых (*Ectocarpus* spp.) и желто-зеленых (*Vaucheria* cf. *dichotoma*) водорослей. Талломы *V.* cf. *dichotoma* пронизывали и скрепляли илистый грунт, а зеленых и бурых - переплетались и лежали на грунте; присутствовали типичные для дерновины зостеры симбиотрофы *Loripes orbiculatus,* доминировали фитофаги *B. reticulatum.* Численность была в 3 раза выше, чем в 2003 г., при сходной биомассе (36 г/м^2); число видов снизилось (44).

Более бедное видами, но продуктивное сообщество *Chamelea gallina* («венусовый песок» - от устаревшего имени вида *Venus gallina*) было отмечено ближе к выходу из бухты под Толстым мысом как в период 1960-1980 гг. [3,4], так и в 2003 и 2020 гг., однако было представлено разными вариациями. Во все исследованные периоды биотоп был представлен здесь песчанистыми грунтами с зостерой. Число видов макрозообентоса достигало 21-25. Биомасса достигала пика в гипертрофный период, а затем снижалась: 135 г/м^2 в 1960-1970 гг. [4], 4500 г/м^2 в 1979-1980 гг. [3], 122 г/м^2 (наст. иссл., 2003 г.) и 73 г/м^2 (наст. иссл., 2020 г.) Параллельно со снижением биомассы в 2020 г. начало восстанавливаться разнообразие в группе Bivalvia: в 1990 гг. - 12, в 2003 г. - 5, в 2020 - 9 видов. В 1980х и 2003 гг. здесь присутствовал классический «венусовый песок» с резким доминированием *C. gallina* (92-99% по биомассе и 42-81% по численности). В 2020 г. доминирующую группировку образовывали уже 4 вида Bivalvia- аборигенные *C. gallina, Pitar rudis, Gouldia minima* и вселенец *A. kagoshimensis* (впервые отмечен в бухте в 1980 г. под именем

Anadara diluvii [3]). Первые два доминировали и по численности; последние два были представлены немногочисленными крупными экземплярами. Такая модификация с уменьшением роли *C. gallina* и выходом на первый план более пелофильных *P. rudis*, *G. minima*, *A. kagoshimensis* и др., является, по-видимому, характерной реакцией «венусового песка» на заиливание, повсеместно наблюдавшейся в поясном сообществе *C. gallina* при заиливании песков на глубинах 20-30 м в конце XX-начале XXI в. [1]. В 2003 г. в сообществе не было ни *P. rudis,* ни *G. minima*, и если первый был отмечен единично на других станциях, то *G. minima* - нет. Такая ситуация с низким разнообразием Bivalvia наблюдалась и на других участках северо-восточного шельфа Черного моря в начале 2000 гг. Показано, что совместное воздействие вселенца *Mnemiopsis leidyi* на личинок и рапаны на взрослые стадии привело к резкому падению обилия и видового разнообразия этой группы [6]. К 2010 гг. в результате продолжающегося потепления вод воздействие *M. leidyi* на личинок было скомпенсировано ежегодными вспышками численности его потребителя - вселенца *Beroe ovata*. Поэтому с 2010 гг. стало наблюдаться повышение разнообразия Bivalvia и появление в пробах видов, практически исчезнувших в 2000 гг. [1].

В центральной части антициклонического круговорота в восточной части бухты, где в 1979-1980 гг. отмечали сообщество *Chamelea gallina*, в 2020 г. биомасса и видовое богатство бентоса были низкими, а доминирующая роль перешла к *Pitar rudis*.

Современное состояние бентоса Геленджикской бухты отличается от 1979-1980 гг. отсутствием зоны безжизненного ила вблизи береговой линии, что указывает на положительную динамику экологического состояния прибрежной зоны, но биомассы в биоценозе венусового песка снизились на порядок, в основном за счет уменьшения роли доминанта - *Chamelea gallina.*

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ и Министерства образования Краснодарского края № 19-45-230012.

Список литературы

1) Колючкина Г.А., Семин В.Л., Григоренко К.С., Басин А.Б., Любимов И.В. Роль абиотических факторов в вертикальном распределении макрозообентоса северо-восточного побережья Черного моря // Зоологический журнал №99(7). 2020. С. 784-800.

2) Кривошея В.Г., Савин М.Т. Особенности циркуляции вод и осадконакопления в Геленджикской бухте // Геоэкологические исследования и охрана недр: сборник статей. М.: ООО «Геоинформцентр» 4. 2003. С. 7-12.

3) Мельник Р.Г., Черненко С.А. Особенности распределения зообентоса / Комплексные исследования техногенного загрязнения в прибрежной зоне Кавказского шельфа Черного моря. Роскомнедра. Геленджик: ГП НИПИокеангеофизика. 1994. С. 198-207.

4) Миловидова Н.Ю., Кирюхина Л.Н. Черноморский макрозообентос в санитарно-биологическом аспекте. Киев: Наук. Думка. 1985. 104 с.

5) Сорокин Ю.И., Закускина О.Ю. Кислотно-растворимые сульфиды в верхнем слое донных осадков северо-восточного шельфа Черного моря: связь с загрязнением и экологические последствия // Океанология №48(2). 2008. С. 224–231.

6) Чикина М.В. Макрозообентос рыхлых грунтов Северо-Кавказского побережья Черного моря: пространственная структура и многолетняя динамика. Дис. . . . канд. биол. наук. М.: ИО РАН. 2009. 117 с.

ОСОБЕННОСТИ ЛИНЕЙНОГО РОСТА ДВУСТВОРЧАТОГО МОЛЛЮСКА MYA ARENARIA LINNE, 1758. В УСЛОВИЯХ ЛИТОРАЛИ БАРЕНЦЕВА И БЕЛОГО МОРЕЙ

Смолькова Ольга Викторовна

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск

kimo2021@mail.ru

Ключевые слова: двустворчатые моллюски, Mya arenaria, литораль, линейный рост, размерный и возрастной состав, Баренцево море, Белое море

Литораль приливных морей Арктики представляет собой протяженную экологическую зону морского дна, характеризующуюся изменчивыми условиями среды (приливо-отливным, сезонным). Одним из видов, приспособившихся к жизни в таких условиях, является двустворчатый моллюск *Mya arenaria* Linne, 1758. Высокая степень эврибионтности *M. arenaria* определяет большое значение этого вида для оценки влияния климатических изменений на природную среду Арктики. Целью исследования было изучить особенности линейного роста двустворчатого моллюска *M. arenaria* в различных условиях Баренцева и Белого морей, оценить влияние абиотических факторов на темпы роста моллюсков.

Материал собран на литорали Баренцева моря (губа Ярнышная (кут), губа Зеленецкая (Дальний пляж)) и Белого моря (губа Северная и губа Долгая Кандалакшского залива, губа Сорокская и губа Колежемская Онежского залива) в августе 2009-2010 гг. Пробы отбиралась на литорали с площади 0.1 м^2. Определялись температура и соленость морской воды. Механический состав грунта определен с помощью набора почвенных сит. Гидрологические характеристики районов исследования (протяженность литорали, тип губ, преобладающий тип грунта) изучены по литературным данным [1,2]. Линейный рост моллюсков *M. arenaria* аппроксимирован с помощью уравнения Берталанфи [3]. Линейную корреляционную зависимость определяли с использованием непараметрического коэффициента корреляции Спирмена (r).

Размеры *M. arenaria* Баренцева моря варьировали от 26.3 до 62.5 мм. В Белом море моллюски *M. arenaria* имели размеры от 14.9 до 91.5 мм. Максимальный возраст моллюсков, встреченных на литорали Баренцева моря, составлял 10-11 лет, а в Белом море - 9-14 лет.

Максимальный прирост длины раковины в Белом море отмечен у моллюсков в губе Северная Кандалакшского залива (14,5 мм/год), в Баренцевом море (16,4 мм/год) - в губе Зеленецкая. Для всех *M. arenaria* отмечено интенсивное увеличение длины раковины в первые годы жизни (до трех лет). Средний прирост длины раковины моллюсков Баренцева моря составлял 5.4±0.2 мм/год, в Кандалакшском заливе - 6.4±0.2 мм/год, в Онежском - 5.6±0.4 мм/год. С увеличением возраста темп роста снижался, и в возрасте 8 лет не превышал 4.5 мм/год в Белом море и 3.5 мм/год - в Баренцевом.

Наиболее высокий темп роста моллюсков отмечен у моллюсков губы Северная. Предельная длина раковины $L_{\∞}$=174.7 мм, показатель замедления скорости роста k=0.0518 год$^{-1}$. Наиболее низкие показатели скорости роста определены у моллюсков из губы Ярнышная, $L_{\∞}$=84.27 мм, показатель замедления скорости роста k=0.0721 год$^{-1}$.

Наиболее значимыми факторами, влияющими на линейный рост моллюсков, являются протяженность литорали и гранулометрический состав грунта. В условиях протяженной литорали (более 200 м) моллюски длительное время поддерживают метаболизм (дыхание, питание) за счет остаточной воды в норке. В таких районах (губа Ярнышная, губа Колежемская) отмечены самые низкие показатели роста. Анализ гранулометрического состава грунта показал, что местообитания моллюсков отличаются по содержанию мелкодисперсных фракций. В губах Зеленецкая, Северная, Долгая и Сорокская преобладающим является илисто-песчаный тип грунта (содержание частиц

размером менее 0.25 мм от 49.6 до 60.3%). Моллюски имели здесь наибольшие значения предельной длины раковины ($L_{\∞}$). В губе Ярнышная и губе Колежемская наблюдалось сильное заиление с содержанием мелких глинистых фракций 71.0 и 76.7% соответственно, и показатели линейного роста моллюсков здесь были самые низкие. Выявлены сильные корреляционные связи между гранулометрическим составом грунта и предельной длиной раковины моллюсков (r=0.94), протяженностью литорали и константой замедления роста (r=0.74).

Отмечено, что интенсивность роста моллюсков отличается в зависимости от величины солености в исследованных участках. Так, в Онежском заливе (соленостью 10.0-16.5‰) темп роста моллюсков ниже, чем в Кандалакшском (соленость 20.0-23.4‰). Для моллюсков Баренцева моря отмечена схожая изменчивость. Темп роста моллюсков из губы Зеленецкая (соленость 32.0‰) был, чем у моллюсков из губы Ярнышная (соленость 19.0‰). Корреляционная связь солености с максимальными размерами моллюсков средней силы (r=0.67). Показано, что наибольшие размеры и темп роста имеют моллюски в Белом море, где амплитуда колебаний температуры составляет от 10 до 15°C [2]. Вероятно, резкое увеличение температуры поверхностных вод весной приводит к вспышкам численности планктонных организмов и создает благоприятные условия для питания сестонофага-фильтратора *M. arenaria*.

Таким образом, наши исследования показали, что в Белом море моллюски *M.arenaria* растут более интенсивно, чем в Баренцевом море, образуя плотные поселения на илисто-песчаной литорали протяженностью не более 200 м, с содержанием в грунте мелкодисперсных фракций до 60.3%, в районах с амплитудой колебания температур в пределах 15°C и соленостью 20.0-23.4‰.

Работа выполнена в рамках темы № 0228-2019-0025 «Донные сообщества Баренцева моря, его водосборного бассейна и сопредельных вод: экология, биоразнообразие, роль чужеродных видов» государственного задания ММБИ КНЦ РАН на 2019–2021 гг.

Список литературы

1) Воронков П.П., Уралов Н.С., Черновская Е.Н. Основные черты гидрохимического режима прибрежной зоны Баренцева моря в районе Центрального Мурмана//Тр. Мурм. биол. ст. АН СССР. 1948. С. 39-101.

2) Кузнецов В. В. Белое море и биологические особенности его флоры и фауны. М.-Л., 1960, 324 с.

3) Мельникова Е.Б. Определение коэффициентов уравнения роста Берталанфи при отсутствии регулярных измерений//Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера: материалы XXVIII международной конференции, 5 - 8 октября 2009 г.- С. 353-356.

КОНЦЕНТРАЦИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В АНТАРКТИЧЕСКОМ КРИЛЕ (EUPHAUSIA SUPERBA) В МОРЕ УЭДДЕЛЛА

Соломатина А.С, Спиридонов В.А.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

BlackMaple@yandex.ru

Ключевые слова: Антарктика, бассейн Пауэлла, биоаккумуляция, тяжелые металлы, мышьяк, антарктическая пищевая цепь.

Антарктический криль (*Euphausia superba*) – один из наиболее массовых представителей антарктического зоопланктона и микронектона. Этот вид, обладая высокой биомассой, оценки которой находятся в интервале 107-108 т, играет фундаментальную роль в антарктической пищевой цепи. Цель работы – изучение распределения ряда микроэлементов (Fe, Cu, Zn, Mn, Ni, Al, Rb, Co, Mo), в том числе потенциально токсичных тяжелых металлов Cd, Pb и металлоида As, в различных в тканях и органах антарктического криля, а также выявление изменчивости их содержаний в зависимости от районов обитания рачка. Сбор *Euphausia superba* проводили в период с 7 января по 3 марта 2020 г. в 79-й комплексной экспедиции НИС «Академик Мстислав Келдыш» в северо-западной части моря Уэдделла и прилегающих районах при движении судна со скоростью 2-3 узла с помощью косых ловов разноглубинного трала Айзекса-Кидда в модификации Самышева-Асеева (РТАКСА), а также сети Бонго. Суммарно отобрали 32 образца на 12 станциях. Отсортированные образцы помещали в холодильную камеру на сутки для уплотнения тканей, затем несколько раз промывали дистиллированной водой и препарировали в соответствии с анатомическим строением рачка. Высушивание проводили при 50-55 °C в течении 1-3 суток. В лабораторных условиях предварительно растертые образцы (навески от 50 до 100 мг) подвергались полному химическому разложению смесью из 3 мл 65% HNO_3 и 2 мл 50% H_2O_2 в тефлоновых флаконах с закрытыми крышками. Конечный объем раствора составлял 20 мл. Концентрации Fe, Mn, Cu определяли методом атомно-абсорбционной спектрометрии (ААС) на приборе КВАНТ-2НТ; концентрации Ni, Co, Zn, Al, Mo, Rb, Cd, Pb и As - методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) на спектрометре Agilent 7500. Точность анализа контролировали с помощью сертифицированных стандартных образцов планктона BCR 414. Диапазоны концентраций каждого из микроэлементов существенно различаются, наибольший разброс ($\geqslant$ 30 раз) показывают Al, Fe, Ni, Mo, Cd и Pb. Для остальных элементов диапазон содержаний сравнительно узок: от двух (As, Zn, Rb) до десяти (Co) раз. Ряд по возрастанию среднего содержания в тотальных пробах криля выглядит следующим образом: Al>Zn>Fe>Cu>Ni>Mo>Rb, As>Mn>Cd>Pb>Co. В первом приближении эта последовательность соответствует средним содержаниям элементов в океанской воде (сумма растворенной и взвешенной форм) [1]. Исключение составляет металлоид As, концентрация которого в воде океана выше, чем остальных микроэлементов, однако его содержание в тканях и органах рачка находится на довольно высоком уровне, близком к Rb, Mo и Mn. Учитывая, что криль является фильтратором с широким диапазоном улавливаемых частиц, вполне закономерно, что Al, Zn и Fe, содержание которых во взвеси океана выше, чем других элементов [1], показывают наиболее высокие уровни средних содержаний в рачке. Можно полагать, что процессы накопления этих элементов Al, Fe, Ni, Mo, Cd и Pb оказываются наиболее чувствительными к изменению абиотических и биотических характеристик в зависимости от места отбора. В тотальных пробах криля выявлена следующая последовательность возрастания концентраций тяжелых металлов: Cu>Zn>Fe>Mn>Ni Cd>Pb>Hg на фоне значительной вариации (CV - Coefficient of variation) Ni, Cd, Co и Cu (CV от 49 до 79 %) и высоких коэффициентов биоконцентрирования металлов (BCF до 2×10^4 мкг/г) [2]. В работе [3], наряду с повышенными средними содержаниями Cu и Fe (18.4 и 17.02 мкг/г сух.в.), обнаружено аномально высокое содержание хрома (до

18.8 мкг/г сух.в.), не отмеченное в других работах. В тотальном криле из западного сектора Антарктики средние содержания (мкг/г сух.в.) Cu (80.5), Zn (43.5), Fe (28.0), Se (5.80), Ba (3.78), Mn (1.98), As (1.92), Ag (1.71), Ni (0.54), Cr (0.30), Cd (0.29), Pb (0.22) и Hg (0.025) не превышают нормированных значений [4]. По данным [5], ракообразные Южного океана проявляют способность к высокому накоплению Cd (до 13 мкг/г сух.в.), что по порядку величин сходно с нашим пиковым значением Cd - 6.9 мкг/г сух.в. Повышенное накопление Al, Zn, Cu и Fe обнаружено в цефалотораксе. В мышцах абдомена содержание большинства элементов понижено по сравнению с другими тканями, за исключением Mo, показывающего здесь максимум. В составе кутикулы абдомена и цефалотораксе концентрации всех микроэлементов, кроме Mo, оказались значительно в среднем выше, чем в мышечных тканях. Это можно объяснить химическими свойствами биополимера хитина, формирующего кутикулу и включающего реакционноспособную аминогруппу и минеральные соли (карбонат и фосфат кальция), с которыми ассоциируется большинство микроэлементов. Распределение Ni, Co, Cd, As, Rb и Pb практически равномерно в трех выделенных компонентах. Наибольшие концентрации в тотальных пробах криля установлены для Al, Zn и Fe, содержание которых во взвеси океана выше, чем других элементов. Пространственное распределение Fe и Al как основных компонентов взвеси характеризуется значительным повышением их содержания в криле, обитающем в мелководных районах, особенно вблизи островов, в то время как самые низкие содержания Fe и Al обнаружены в криле из глубоководных станций. В пространственном изменении содержаний Cu, Zn, Mn, As, Co, Ni и Pb в криле существенных различий не отмечается. В кутикуле абдомена и цефалотораксе средние концентрации всех микроэлементов, кроме Mo, значительно выше, чем в мышечных тканях. Органом наибольшего концентрирования Al, Zn, Cu, и Fe служит цефалоторакс. Mo максимально накапливается в мышцах абдомена, тогда как Ni, Co, Cd, As, Rb и Pb не выявили преимущественного накопления в тех или иных тканях криля. Депонирование большинства исследованных микроэлементов в веществе панцирей криля вносит определенный вклад в поставку этих элементов на дно океана за счет многократных массовых линек рачков на протяжении всего жизненного цикла и после него.

Исследование проведено в рамках госзадания ИО РАН (тема № 0128-2019-0008).

Список литературы

1) Bruland K.W. Controls of trace metals in sea water. The oceans and marine geochemistry. In: Treatise on Geochemistry /Bruland K.W., Lohan M.C //Eds. H.D. Holland, K.K.Turekian. 2004. V. 6. Amsterdam. Elsevier. P. 23-47.

2) Yamamoto Y. Heavy metal accumulation in Antarctic krill Euphausia Superba /Yamamoto Y., Honda K., Tatsukawa R. //Proc. NIPR Symp. Polar Biol. 1987. № 1. P. 198-204.

3) Ragunath M.R. Biochemical investigations on Antarctic krill Euphausia superba /Ragunath M.R., Sankar T.V., Radhakrishnan A.G., Mathew S., Ammu K. //Fish. Technol. 2000. V. 37. № 1. P. 19-24.

4) Palmer Locarnini S.J. Trace element concentrations in Antarctic krill, Euphausia superba /Palmer Locarnini S.J., Presley B.J.//Polar Biol. 1995. № 15. P. 283-288.

5) Petri G. Trace metals in crustaceans of the Antarctic Ocean /Petri G., Zauke G.P //AMBIO (Journal of the Human Environment, Res. and Manag.). 1993. V. 22. № 8. P. 529-536.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРНЫХ ГРУПП АНТАРКТИЧЕСКОГО КРИЛЯ *EUPHAUSIA SUPERBA* В АНТАРКТИЧЕКОЙ ЧАСТИ АТЛАНТИКИ В ЛЕТНЕМ СЕЗОНЕ 2019-2020 ГГ.

Сытов А.М.[1], **Козлов Д.А.**[2]

[1] *ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ФГБНУ «ВНИРО»)*

[2] *Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»)*

sytov@vniro.ru

Ключевые слова: антарктический криль, Euphausia superba, промысел, АчА, АНТКОМ.

Основой информации для оценки состоянии запасов и регулирования промысла криля *Euphausia superba* в зоне действия Конвенции по сохранению морских живых ресурсов Антарктики (АНТКОМ) являются данные экспедиционных исследований. В связи с всё чаще поднимаемыми вопросами о влиянии изменений климата на состояние запасов криля и его потребителей, а также о влиянии промысла на эти запасы данная информация приобретает высокое практическое значение. Цель работы - характеристика распределения размерных групп антарктического криля в Антарктической части Атлантики (АчА), поиск факторов, определяющих распределение различных размерных когорт на исследуемой акватории.

В работе использованы материалы, полученные в ходе 69-го рейса СТМ «Атлантида». Судно выполняло акустическую съемку антарктического криля в АчА, сопровождаемую сбором данных по биологии криля и условиям окружающей среды. Период работ - с января 2020 по март 2020 гг. Выполнено 144 траловых (комплексных) станции; район работ охватывал большую часть АчА. Траления осуществлялись исследовательским тралом Айзекса-Кидда способом «косого лова» в диапазоне 0-200 м. Обработка проб криля выполнялась в соответствии с общепринятыми методиками и рекомендациями АНТКОМ [1, 2, 3]. Суммарно выполнено более 19000 промеров полной длины криля.

Структура пространственного распределения криля исследована с помощью кластерного анализа. Пробы криля из тралений группировали методом Варда [4] по встречаемости особей криля в диапазонах длин от 22 до 61 мм с шагом 1 мм. В качестве меры сходства использовали евклидово расстояние. Кластерный анализ длины криля по выборке проводился аналогично тому, как это было реализовано при обработке данных международной съемки АНТКОМ 2000 [5].

В соответствии с кластеризацией данные частотного распределения были осредененны по размерным рядам с шагом 5 мм. Выделены три группировки криля с модальными группами 26-30 мм (кластер S), 36-40 мм (кластер M) и 46-50мм (кластер L). Основу составлял крупно- (кластер L) и среднеразмерный криль (кластер M) - 48.6 и 43.7% соответственно. Встречаемость мелкого криля (кластер S) составила 7.7%.

Молодь криля была сосредоточена в южной части пролива Брансфилд, ближе к шельфу Антарктического полуострова. Крупный половозрелый криль, формирующий кластер L, распределялся к северу от Южных Шетландских и Южно-Оркнейских островов и в открытой части моря Скотия. Криль, формирующий кластер M, превалировал в уловах в районе о. Мордвинова, центральной части пролива Брансфилд и к северо-востоку от Южных Оркнейских островов.

Данные материалы впервые получены Россией, начиная с международной съемки АНТКОМ 2000. В дальнейшем они послужат основой для понимании формирования современной популяционной структуры криля, функциональной структуры его ареала и пополнения. Также на основе полученных данных будут выработаны предложения к сбору данных научными наблюдателями АНТКОМ.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ «ВНИРО» на 2020 год № 076-00005-20-02 от 14 февраля 2020 г., а также комплексной экспедиционной Программы выполне-

ния ресурсных исследований криля и исследований экосистемы Южного океана (Атлантический сектор Антарктики) на 2018-2023 гг., утвержденной руководителем Росрыболовства от 1 декабря 2017 г.

Список литературы

1) Методические указания по сбору и первичной обработке в полевых условиях материалов по биологии и распределению антарктического криля. 1982. М: ВНИРО, 102 с.
2) Методические рекомендации по сбору и обработке промысловых и биологических данных по водным биоресурсам Антарктики для российских научных наблюдателей в зоне действия Конвенции АНТКОМ. 2014. М: ВНИРО, 103 с.
3) Makarov R.R., Denys C.J. 1980. Stages of sexual maturity of Euphausia superba Dana. BIOMASS Handbook № 11. 13 pp.
4) Ward J.H. Hierarchical grouping to optimize an objective function // J. of the American Statistical Association, 1963. — 236 p.
5) Siegel V., Kawaguchi S., Ward P., Litvinov F., Sushin V., Loeb V., Watkins J. 2004. Krill demography and large-scale distribution in the southwest Atlantic during January/February 2000. Deep Sea Research. Part II: Topical Studies in Oceanography. Vol. 51:P. 1253–1273.

СВЯЗЬ МЕЖДУ РАЗЛИЧНЫМИ ПОДХОДАМИ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ШУМ В ЗАДАЧЕ ОБНАРУЖЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ДЕЛЬФИНОВ

Тышко А.А., Шатравин А.В., Криницкий М.А.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва.

alexey.tyshko@icloud.com

Ключевые слова: гидроакустика, акустические сигналы морских млекопитающих, отношение сигнал/шум

Обнаружение морских млекопитающих (ММ) по издаваемым ими акустическим сигналам часто составляет важный этап комплексного мониторинга состояния популяций животных и существенно дополняет, а иногда и заменяет, прямые наблюдения. Акустический мониторинг позволяет оценивать численность популяций в заданной акватории, выявлять характерные паттерны миграций животных, отслеживать связь их присутствия с внешними условиями среды. Одним из видов морских млекопитающих, для которых характерна активная вокализация, является афалина. Акустический репертуар этих животных чрезвычайно богат и содержит как эхолокационные импульсы, так и тональные и импульсно-тональные сигналы [1]. По сравнению с эхолокационными щелчками, тональные сигналы обладают слабее выраженной направленностью, а также меньше подвержены затуханию при распространении в водной толще в связи с более низкими характерными частотами излучения. По этим причинам пассивный акустический мониторинг (ПАМ) афалин часто основывается на обнаружении именно их тональных сигналов в записях подводного звука. Наиболее эффективным способом обнаружения таких сигналов в записях является их анализ опытным экспертом. В большинстве случаев объем материала при ПАМ оказывается на порядки больше, чем доступно для анализа «вручную» за приемлемое время. Поэтому востребованными являются методы автоматического обнаружения сигналов. Широкое применение нашли подходы, основанные на выделении в спектрограммах записей так называемых контуров - протяженных во времени кривых повышенной спектральной мощности [2]. В последние годы наблюдается всплеск исследований, посвященных методам поиска сигналов ММ на основе искусственных нейронных сетей глубокого обучения [1, 2, 3, 4].

При сравнении эффективности автоматических алгоритмов обнаружения сигналов и поиске оптимального для конкретных условий (например, специфических фоновых шумах в заданной акватории) подхода естественным образом возникает необходимость охарактеризовать «сложность» набора данных, на которых алгоритмы тестируются. Естественным выбором для «метрики сложности» является отношение сигнал/шум (ОСШ) - отношение мощности сигнала к мощности окружающего шума. При этом существует большая свобода в выборе способа разделения акустического потока на сигнал и шум, порождающая неопределенность в конечной математической формуле для подсчета ОСШ.

В нашей работе анализируются различия двух интуитивно обоснованных, но существенно отличающихся по способу расчета, подхода к вычислению ОСШ на большом массиве записей сигналов афалин, находящемся в открытом доступе (http://www.mobysound.org/workshops_p2.html). Записи в этом наборе сопровождаются выполненной опытными экспертами разметкой частотно-временных контуров, соответствующих сигналам ММ. Количество сигналов, использованных в представленной работе, равно 3208. Частоты подавляющего большинства сигналов лежат в пределах от 8 до 30 кГц. Плотность распределения частот унимодальная с пиком на ∼11500 Гц и средним ∼17500 Гц. Распределение ширины диапазона частот в контурах являлось унимодальным с пиком на 1 кГц и основной массой между 1 и 7 кГц.

Первый способ расчета ОСШ основан на отделении контура на спектрограмме от окружающих его частотно-временных отсчетов, попадающих в фиксированный частотный диапазон непосред-

ственно во время регистрации сигнала ММ. Мощностью сигнала полагалась мощность отсчетов, попавших близко контуру, мощностью шума - мощность остальных отсчетов. Частотный диапазон являлся гиперпараметром алгоритма. Во втором способе сигналом полагался весь звуковой поток за временной промежуток, соответствующий контуру, а шумом - весь поток за короткие участки времени непосредственно до и после регистрации сигнала ММ.

В результате были выявлены статистически значимые различия и нелинейная связь между значениями ОСШ, рассчитанными двумя способами. В области малых значений ОСШ (< 0 дБ) зависимости практически не наблюдается, в то время как в области высоких значений ОСШ ($>$ 2 дБ) наблюдаются два явно разделенных кластера сигналов ММ, для которых значения ОСШ, рассчитанные двумя способами, связаны друг с другом, и их зависимость хорошо приближается линейно или полиномом второй степени. Полученные результаты подчеркивают актуальность задачи разработки альтернативной более универсальной метрики, характеризующей «сложность обнаружения» сигналов ММ на фоне шума. Дальнейшие исследования планируется посвятить поиску такой метрики.

Список литературы

1) Caldwell M. C., Caldwell D. K. The whistle of the Atlantic bottlenosed dolphin (Tursiops truncatus)—ontogeny //Behavior of marine animals. – Springer, Boston, MA, 1979. – С. 369-401.
2) Madhusudhana S., Gavrilov A., Erbe C. Automatic detection of echolocation clicks based on a Gabor model of their waveform //The Journal of the Acoustical Society of America. – 2015. – Т. 137. – №. 6. – С. 3077-3086.
3) Kohlsdorf D., Herzing D., Starner T. An Auto Encoder For Audio Dolphin Communication //2020 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN). – IEEE, 2020. – С. 1-7.
4) Yu S. et al. Deep neural networks for automated detection of marine mammal species //Scientific Reports (Nature Publisher Group). – 2020. – Т. 10. – №. 1.
5) Woodward S. F., Reiss D., Magnasco M. O. Learning to localize sounds in a highly reverberant environment: Machine-learning tracking of dolphin whistle-like sounds in a pool //PloS one. – 2020. – Т. 15. – №. 6. – С. e0235155.
6) Liu J. et al. A convolution neural network for dolphin species identification using echolocation clicks signal //2018 IEEE International Conference on Signal Processing, Communications and Computing (ICSPCC). – IEEE, 2018. – С. 1-4.

ГОДОВАЯ ДИНАМИКА ФИТОПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА ГОЛУБОЙ БУХТЫ (Г. ГЕЛЕНДЖИК) 2018-2019 ГГ.

Фёдоров А.В., Бородулина П.А., Лифанчук А.В.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

aleksey_fedorov_199001@mail.ru

Ключевые слова: фитопланктон, Черное море, годовая динамика, диатомовые, кокколитофориды, абиотические факторы

Несмотря на богатую историю исследования фитопланктона северо-восточной части Черного моря, до сих пор не существует единой концепции смены видов. В контексте набирающих обороты изменений климата и, соответсвенно, условий мосркой среды задача исследования динамики возникновения «цветений» и их причин не только не теряет актуальность, но и требует изучения с точки зрения их связи с метеорологическими и гидрологическими условиями. А кратковременные метеорологические явления могут быть триггерами вспышек численности и смены доминирующих видов.

В данной работе проведен анализ динамики видовой структуры и количественных характеристик фитопланктона поверхностного слоя моря в 2018-2019 гг. в Голубой бухте (г. Геленджик), подверженной интенсивному водообмену с шельфовыми водами, а в зимний и весенний периоды - влиянию речного стока. Всего собрано и обработано стандартными методами 175 проб фитопланктона [1]. При трактовке динамики фитопланктона использовали данные по скорости и направлению ветра, температуре воздуха и воды на поверхности моря Геленджикской метеостанции, данные CTD-зондирований на разрезе от Голубой бухты центру моря до изобат 500 м, а также результаты замеров концентраций биогенных элементов, выполненные Лабораторией химии ЮО ИО РАН в Голубой бухте за период исследования. *Целью* данной работы было определить особенности годовой динамики фитопланктона, проанализировать её связь с абиотическими факторами среды.

Динамика гидрохимических параметров в Голубой бухте 2018-2019 гг. имела выраженную сезонность с повышенным фоном нитратов и кремния зимой и весной, а фосфатов - зимой [2]. При этом летом 2018 г. были отмечены высокие, сопоставимые с зимними, концентрации нитратов и кремния в периоды, когда фиксировались апвеллинги. С данными событиями были ассоциированы увеличения биомассы на порядки в течение нескольких дней и изменения видовой структуры фитопланктона Голубой бухты.

Зима и весна 2018-2019 гг. характеризовались в целом невысокими биомассами фитопланктона в поверхностном слое Голубой бухты. Наиболее выраженным повышение численности и биомассы было в феврале 2019 года, когда численность *Skeletonema costatum* находилась на уровне свыше 800 тыс. кл/л и биомасса до 177 мг/м^3. В марте и апреле наибольший вклад в численность и биомассу фитопланктона в период исследования вносили *Emiliania huxleyi* и *Pseudo-nitzschia delicatissima*, виды рода *Chaetoceros,* а также различные виды динофлагеллят (роды *Prorocentrum, Ceratium, Gonyaulax* и др.), при этом показывая невысокие количественные характеристики.

Динамика температуры воздуха в апреле 2019 г. включала период аномально низких значений, в отличие от 2018 г., что привело к конвективному перемешиванию до глубин более 50 метров по данным CTD-зондирований. Это способствовало последующему быстрому росту численности кокколитофорид за счёт обогащения приповерхностного слоя биогенными элементами. При этом максимальная численность кокколитофориды *Emiliania huxleyi* была больше в 5 раз в 2019 г. по сравнению с 2018 г. (около 2 млн. кл/л и 400 тыс. кл/л, соответственно). Кокколитофориды регулярно входят в доминирующий комплекс видов в период с мая по июль, однако изменчивость их максимальной численности может достигать порядков.

В июле 2018 г. наблюдалась резкая перестройка видовой структуры фитопланктона Голубой бухты с комплекса *E. huxleyi* и динофлагеллят на практически полное доминирование *Pseudosolenia calcar-avis* (свыше 90% от общей биомассы фитопланктона, максимальная биомасса 19 июля, 1121 мг/м^3) в течение нескольких дней вследствие вызванного северо-западными ветрами развитого апвеллинга. После высоких значений биомассы (9 июля начало роста, 30 июля конец) данный вид показал значительное снижение. В августе наблюдалась кратковременная вспышка численности *Pseudo-nitzschia delicatissima*, вероятно из-за подъема вод термоклина (20 августа, биомасса - 90 мг/м^3) под действием сильных северо-восточных ветров. В целом, для лета характерно регулярное доминирование *Ps. calcar-avis,* отмечаемое в июле-августе. В течение всего лета 2019 г. происходила плавная смена видовых комплексов: кокколитофориды (май-июнь, максимум 24 мая, 370 мг/м^3), преобладание группы видов динофлагеллят без явных доминант (середина июня, максимум 11 июня, суммарно 414 мг/м^3), крупные диатомовые *Ps. calcar-avis* с присутствием *Proboscia alata* (конец июня-середина августа, максимум 11 июля, 1312 мг/м^3).

Несколько периодов (конец сентября-начало октября и конец октября-начало ноября) понижения температур воздуха вместе с ветрами осенью 2018 г., вероятно стали причиной интенсивного развития *Pr. alata* (до 577 мг/м^3, 28.09.2018) и, в меньшей степени, *Hemiaulus hauckii* (до 109 мг/м^3, 30.10.2018). В 2019 г. осень в регионе исследования также включала период повышения биомассы, но приходился он лишь на первую половину сентября. Биомасса диатомовых в поверхностном слое формировалась в первой половине сентября за счёт *Ps. calcar-avis* (до 133 мг/м^3) и *Pr. alata* (до 220 мг/м^3), а после существенный вклад вносили различные виды динофлагеллят и кокколитофорида *E. huxleyi*. В целом биомасса фитопланктона осеннего периода 2018 г. была выше, чем в 2019 г.

Таким образом, в Голубой бухте за период исследования происходила типичная для северо-восточной части Черного моря смена видов-доминант с характерными периодами увеличения численности и биомассы: мелкие диатомовые (конец зимы - первая половина весны) - кокколитофориды (конец мая-июнь) - крупные диатомовые (июль-октябрь) [3]. Метеорологические события относительно малых временных масштабов вызывали интенсивный рост и смену доминант фитопланктона в данном регионе.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 0128-2021-0013

Список литературы

1) Радченко И.Г., Капков В.И., Федоров В.Д. Практическое руководство по сбору и анализу проб морского фитопланктона: учебно-методическое пособие для студентов биологических специальностей университетов. – М.: Мордвинцев, 2010. – 60 с.

2) Бородулина П.А., Часовников В.К. Сезонная динамика азотсодержащих веществ в прибрежной зоне Черного моря на примере Геленджикской и Голубой бухт // Экология гидросферы. 2020. №1(5). С. 0–20. URL: http://hydrosphere-ecology.ru/200. DOI: https://doi.org/10.33624/2587-9367-2020-1(5)-10-20

3) Лифанчук А.В., Федоров А.В. Смена экологических стратегий в фитопланктонном сообществе северо-восточной части Черного моря в течение годового цикла // Экология гидросферы. 2018. №1(2). URL: http://hydrosphere-ecology.ru/99

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ АДАПТАЦИИ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ К РАЗЛИЧНЫМ СВЕТОВЫМ УСЛОВИЯМ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Фёдоров А.В., Лифанчук А.В.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

aleksey_fedorov_199001@mail.ru

Ключевые слова: диатомовые водоросли, свет, Черное море, строение клетки, строение хроматофора, хлоропласт, подвижность хлоропластов.

Свет необходим для осуществления процесса фотосинтеза первичным продукционным звеном - фитопланктоном. Следовательно, от него зависит функционирование большинства экосистем в океане. Однако в морской среде именно свет является самым вариабельным фактором, а его недостаток также, как и избыток лимитируют продукционные процессы. Диатомовые водоросли являются пассивно парящими в толще воды, а регуляция плавучести у них ограничена, в отличие от имеющих жгутики видов. Известны способы акклимации фитопланктона к чрезмерной облучённости при помощи изменения концентрации и состава пигментов (время реакции - часы, дни), а также при помощи активации циклов ксантофиллов (десятки минут) [1]. Что касается морфологических приспособлений к изменению световых потоков, проявляющихся за время нескольких делений клетки, то увеличение или уменьшение объёмов, как и соотношения объёма хлоропластов к объёму клетки (отношение С:Хл *a*) способствуют поддержанию гомеостаза и нормального функционирования. У высших растений и у некоторых диатомей хорошо известен феномен перемещения хлоропластов внутри клетки в реакциях избегания [2]. Однако экологическое значение подобных морфологических адаптаций у видов-доминант фитопланктона исследовано в основном с точки зрения объёмов, формы и площади поверхности клетки, без учёта особенностей строения хроматофора [3].

Целью работы было выявить основные морфологические адаптации диатомовых водорослей северо-восточной части Черного моря к условиям обеспечения световой энергией и определить их роль в конкурентной борьбе.

В течение 2018-2019 гг. проводили изучение динамики фитопланктона Голубой бухты (г. Геленджик), отбор и обработку проб производили стандартными методами. Использовали видеофиксацию изменений хроматофора под действием света высокой интенсивности. Опыты по культивированию проводили в термолюменостате, лимитирование биогенными элементами нивелировалось добавками, а при помощи программируемого контроллера настраивали интенсивность и продолжительность работы светодиодного овещения.

В 2018-2019 гг. несколько видов диатомовых водорослей обеспечивали наибольший вклад в биомассу (до 1 г/м^3) и имели хорошо выраженную сезонность. Зимне-весенний период был представлен видами, характеризующимися малым объёмом клеток, наличием одного-двух или, реже, нескольких хлоропластов (порядка десятков), а также высоким соотношением площади поверхности клеток к объему. В период с февраля по май доминирующими были виды: *Pseudo-nitzschia delicatissima, Chaetoceros affinis, Skeletonema costatum* и *Thalassionema nitzschioides.*

Во второй половине года (июнь-июль) среди диатомовых водорослей преобладают виды с относительно большим объёмом клеток и хроматофором, включающим в себя большое количество хлоропластов (порядка десятков-сотен), способных перемещаться внутри полости клетки. К таким видам относятся *Pseudosolenia calcar-avis,* регулярно доминирующая в июле и с самым большим объёмом клеток, *Proboscia alata*, *Hemiaulus hauckii,* доминирующие чаще осенью.

В опытах культивированию фитопланктона в разные периоды на протяжении нескольких лет было обнаружено влияние различных режимов освещения на средние объемы клеток доминирующих видов диатомовых водорослей. При более высоких интенсивностях света этот параметр

увеличивался во всех опытах у *Skeletonema costatum* (от 122 до 237 мкм^3, при ФАР от 18 до 432 мкЭ м$^{-2}$с$^{-1}$), у *Dactyliosolen fragilissimus* разброс составлял 2000-6000 мкм^3 с такой же тенденцией, как и у *Leptocylindrus danicus* (от 250 до 500 мкм^3, при ФАР от 11,8 до 132,4 мкЭ м$^{-2}$с$^{-1}$).

Были отмечены существенные различия в реакции на повышенные дозы световой энергии (500-1000 мкЭ м$^{-2}$с$^{-1}$) хроматофора диатомовых. Одиночный пластинчатый хлоропласт *Chaetoceros affinis* в течение 10-минутной засветки менял форму, начинал обесцвечиваться. Хлоропласты эллипсоидальной формы *Dactyliosolen fragilissimus* стягивались в агрегат у стенок клетки в течение 10-20 минут. Множественные мелкие хлоропласты перемещались с током цитоплазмы вдоль стенок клетки *Pseudosolenia calcar-avis* по «конвейерному» типу, а время оборота между центральным скоплением и концами составляло в среднем 5-15 минут, при этом единовременно в скоплении находилось в разы больше хлоропластов, чем в остальном объеме клетки. У *Hemiaulus hauckii* множественные хлоропласты также были подвижны и имели среднее время оборота 1-10 минут, однако проходили меньший путь и в целом перемещались менее интенсивно, как и у *Ps. calcar-avis* в осенних пробах. Длительное воздействие яркого света приводило к потере хлоропластами формы и способности двигаться. Описанный выше механизм, вероятно, обеспечивает защиту от накопления критического уровня повреждений пигментных систем избыточным светом, а значит и снижение метаболических затрат клеток на их восстановление. Это становится критически важным преимуществом в конкурентной борьбе при недостатке биогенных элементов и высоких интенсивностях света у поверхности.

В нашей работе впервые выносится в качестве одной из важнейших причин смены доминант внутри группы диатомовых водорослей в верхнем слое Черного моря наличие или отсутствие адаптаций морфологии клеток, соответствующих условиям обеспечения световой энергией, и, в первую очередь, строение и поведение хроматофора в различных световых условиях. Показана смена морфотипов доминант диатомовых водорослей в течение 2018 и 2019 гг. в Голубой бухте (северо-восточная часть Черного моря, г. Геленджик), носящей регулярный, ежегодный характер.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-05-00068.

Список литературы

1) Kirk J.T.O. Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems. –New York: Cambridge University Press, 2011. – 649 p.

2) Kiefer D.A. Chlorophyll a and fluorescence in marine centric diatoms: responses of chloroplasts to light and nutrient stress // Mar. Biol.1973. V.23. P 39–46.

3) Sommer U., Charalampous E., Genitsaris S., Moustaka-Gouni M. Benefits, costs and taxonomic distribution of marine phytoplankton body size // Journal of Plankton Research. 2017. V.39. I. 3. P. 494–508.

РЕВИЗИЯ РОДА THALASSIOSIRA (BACILLARIOPHYTA) В ЯПОНСКОМ МОРЕ

Шульгина М.А.[1] **, Шевченко О.Г.**[1,2]

[1]*Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, г. Владивосток*

[2]*Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, г. Владивосток*

annekee@mail.ru

Ключевые слова: диатомовые водоросли, аннотированный список, Thalassiosira.

В настоящее время по оценкам различных исследователей род *Thalassiosira* включает 100-400 видов [1, 2]. По видовому разнообразию среди центрических диатомовых водорослей он находится на втором месте после рода *Chaetoceros*. На основании оригинальных и литературных данных впервые составлен аннотированный список видов рода *Thalassiosira* в Японском море. В результате исследования представлены морфологические описания по данным электронной микроскопии для *T. aestivalis*, *T. hyalina*, *T. pseudonana* и *T. tenera* - редких для северо-западной части Японского моря видов.

Материалом для исследований послужили пробы фитопланктона, собранные с мониторинговых станций в бухтах Парис и Житкова (залив Петра Великого, Японское море) в 2013-2018 гг. Материал исследовали в световом микроскопе Carl Zeiss Axio Vert.A1. Для уточнения видового состава и исследования ультраструктуры панцирей материал исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа Carl Zeiss Sigma 300.

Сведения о таксономии видов рода *Thalassioisra* в северо-западной части Японского моря крайне ограничены; в нескольких работах представлены морфологические описания, иллюстрированные микрофотографиями [3, 4]. В юго-восточной части видовой состав рода изучен более детально [5, 6]. Аннотированный список содержит информацию о 36 таксонах *Thalassiosira* (34 вида и 2 разновидности). В результате анализа фитогеографического распределения показано, что в Японском море более половины (55.5%) от общего числа представителей *Thalassiosira* составляют тепловодные виды (тропическо-бореальные и тропические). Также значителен вклад холодноводных видов (аркто-бореальных и биполярных) - 30.5%. Широко распространенные виды (космополиты и тропическо-аркто-бореальные) наименее представлены - 14%. Основу рода составляют неритические виды - 72.2%, доля панталассных и океанических видов ниже - 25% и 2.8% соответственно.

В целом, видовая идентификация рода на уровне световой микроскопии вызывает затруднения, связанные со сложностью рассмотрения основных диагностических признаков - число краевых выростов или количество ареол в 10 мкм. Зачастую сведения о встречаемости мелких видов *Thalassiosira* в Мировом океане зависит от степени изученности акватории, а не от их присутствия в планктоне. Для подтверждения достоверной идентификации микроводорослей, в частности видов рода *Thalassiosira*, необходимо рекомендовать при проведении мониторинговых исследований применение методов электронной микроскопии.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 19-04-00752. Исследования проведены на площадке ЦКП “Приморский океанариум”.

Список литературы

1) Round F.E., Crawford R.M., Mann D.G. The diatoms: biology and morphology of the genera. Cambridge: Cambridge University Press. 1990. 747 p.

2) Alverson A.J., Kang S.H., Theriot E.C. Cell wall morphology and systematic importance of Thalassiosira ritscheri (Hustedt) Hasle, with a description of Shionodiscus gen. nov. // Diatom Research 21. 2006. P. 251–262.

3) Макарова И.В. Диатомовые водоросли морей СССР: род Thalassiosira Cl. Ленинград. 1988. 117 с.

4) Шевченко О.Г., Орлова Т.Ю., Стоник И.В. Новые для Дальневосточных морей России виды рода Thalassiosira (Bacillariophyta) // Ботанический журнал 88(5). 2003. С. 152–156.

5) Park J.S., Jung S.W., Lee J.H. A study on the fine structure of the marine diatoms of Korean coastal waters – genus Thalassiosira 4. // Algae 24. 2009. P. 67–77.

6) Park J.S., Jung S.W., Lee S.D., Yun S.M., Lee J.H. Species diversity of the genus Thalassiosira (Thalassiosirales, Bacillariophyta) in South Korea and its biogeographical distribution in the world // Phycologia 55(4). 2016. P. 403–423.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГАЗОНАСЫЩЕННЫХ ОСАДКОВ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ

Ананян А.С. [1,2], **Ульянова М.О.** [1,2], **Егошина Е.Д.** [3]

[1] *Балтийский Федеральный университет им. И.Канта, Калининград, Россия*

[2] *Институт океанологии им.П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия*

[3] *Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия*

ananyan.anahit.s@gmail.com

Ключевые слова: донные осадки, метан, Балтийское море, газовая хроматография.

Экологическое состояние придонного слоя Балтийского моря, в частности, Гданьской впадины, зависит от поступления в Балтику североморских вод. В результате так называемых «больших затоков» — поступления значительных объемов соленой и насыщенной кислородом воды — происходит обновление вод придонного слоя впадин Балтийского моря. В отсутствии затоков соленость и содержание растворенного кислорода придонного слоя уменьшаются, что приводит к снижению доступности сульфатов и, следовательно, способствует метаногенезу - основному процессу разложения органического вещества в морских отложениях. При отсутствии кислорода происходит анаэробное окисление метана (АОМ), опосредованное микробами. Сульфат считается наиболее важным и доминирующим акцептором электронов для АОМ в морских отложениях [1]. АОМ также может быть связано с восстановлением оксидов железа [2]. В связи с тем, что цикл железа тесно связан с циклами других элементов (например, C, S, P, N) взаимосвязь Fe-АОМ влияет как на удаление, так и на поставку питательных веществ в морскую среду и определяет количество железа, поступающего в открытый океан [3]. Считается, что взаимосвязь Fe-АОМ встречается, в основном, в эстуариях и прибрежных районах с высокой скоростью седиментации, высоким притоком гидроксида железа и низкой соленостью [4].

Исследование направлено на изучение влияние метана на формы железа в донных осадках российской части Юго-Восточной Балтики. Для сравнения были выбраны 3 полигона илистых осадков: газонасыщенные (ГНО), осадки покмарка и обычные (негазосыщенные). Пробы были отобраны в 47 рейсе НИС «Академик Николай Страхов» в июне 2020 г. с помощью герметичной грунтовой трубки и ударной прямоточной грунтовой трубкой. Данные по содержанию метана были получены с помощью газового хроматографа, оснащённого детекторами по теплопроводности (Хроматэк-Газохром 2000). Валовое содержание железа было определено методом рентгенофлуоресцентной спектрометрии на воздушно-сухих образцах донных осадков. Спектрофотометрически были определены водорастворимые формы железа и сульфатов.

Вертикальное и количественное распределение метана, валового и водорастворимого железа в осадках покмарка и ГНО практически идентично и сопоставимо количественно с максимумами на горизонте 50-55 см (метан максимум 12,9-13,5 % при среднем 6,9-7,5 %; валовое железо - среднее 7,35 мг/дм^3; водорастворимое - 3,8 мг/дм^3). Исчерпание сульфатов в покмарке происходит достаточно резко до горизонта 50 см (с 1153 до 78 мг/дм^3), а в ГНО более плавно - до 100 см. В обычных осадках метана и валового железа в среднем в 1,5-3 раза меньше (4,9 % и 4,8 мг/дм^3 соответственно), максимум метана приходится на горизонт 30 см, о распределении железа судить сложно, так как длина колонки составила всего 40 см и, скорее всего, максимальные значения характерны для нижележащих горизонтов. В илах покмарка на горизонте 30-50 см зафиксирована сульфат-метановая транзитная зона. Глубже этой зоны находится зона метаногенеза, где распределение метана и железа находится в противофазе, а выше 30 см в зоне сульфатредукции наблюдается прямая зависимость. Таким образом, сульфат-метан транзитная зона представляет собой зону с градиентными значениями многих элементов.

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

Список литературы

1) Knittel K., Boetius A. Anaerobic oxidation of methane: progress with an unknownprocess // Annu. Rev. Microbiol. 2009. Vol.63. P. 311–334.

2) Рубан А., Рудмин М., Гершелис Е., Леонов А., Мазуров А., Дударев О., Семилетов И. Аутигенные минералы в донных осадках сиповых областей моря Лаптевых // Изв. ТПУ. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331. № 7. С.24-36.

3) Broclawik O., Lukawska-Matuszewska K., Brodecka-Goluch A., Bolalek J. Impact of methane occurrence on iron speciation in the sediments of the Gdansk Basin (Southern Baltic Sea) // Science of The Total Environment. 2020. 721:137718.

4) Rooze, J., Egger, M., Tsandev, I., Slomp, C.P. Iron-dependent anaerobic oxidation ofmethane in coastal surface sediments: potential controls and impact // Limnol. Oceanogr. 2016. Vol.61. P. 267–282.

КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ, ПРИРОДНЫХ И КОСМОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

Бежин Н.А., Довгий И.И., Козловская О.Н., Кременчуцкий Д.А., Шибецкая Ю.Г.

ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН», Севастополь

nickbezhin@yandex.ru

Ключевые слова: морская радиохимия, сорбция, сорбенты, космогенные, природные, техногенные радионуклиды.

Высокое солесодержание морской воды и низкие объемные значения активности радионуклидов в ней делают достаточно сложным получение большого объема натурных данных для решения задач океанологии и радиоэкологии. Зачастую объем проб часто составляет сотни литров и доходит до нескольких кубических метров. Определение природных значений активности радионуклидов в морской воде и на взвеси используется для изучения ряда океанологических процессов, в том числе вертикального переноса, определение потоков взвешенного органического вещества, датировки осадков и т.д.

Другой сложностью является поиск эффективных сорбентов, определение степени извлечения радионуклидов и параметров процесса количественного извлечения радионуклидов. Решение этих вопросов позволит более эффективно изучать океанологические задачи.

В настоящей работе проводятся исследования концентрирования ряда радионуклидов различного происхождения, космогенных - ^{7}Be, ^{32}P, ^{33}P, природных - ^{210}Pb, изотопы Ra и Th, техногенных - ^{137}Cs, ^{90}Sr из морской воды, включая выбор наиболее эффективных сорбентов и параметров процесса извлечения, и изучение их распределения в поверхностном слое Черного моря.

Для концентрирования радионуклида ^{137}Cs из морской воды были использованы доступные сорбенты: Анфеж, Никет, Уникет (производства ООО НПП «Экосорб»), ФСС, ФД-М (производства ООО НПП «Эктос-Атом»), Axionit RCs (производства АО «Аксион - Редкие и Драгоценные Металлы»), Термоксид-35, Термоксид-3А (производства АО ПНФ «Термоксид»), НКФ-Ц (полученные в УрФУ).

Для концентрирования ^{90}Sr, изотопов Ra и Th из морской воды использовались сорбенты: ДММ, МДМ, ФД (производства ООО НПП «Эктос-Атом»), Модикс (производства ООО НПП «Экосорб»), Термоксид-3К (производства АО ПНФ «Термоксид»), СРМ-Sr (полученный в ИХ ДВО РАН), а также волокно на основе MnO_2 собственного изготовления.

Для концентрирования ^{7}Be, ^{32}P, ^{33}P применяли гранулированный оксид алюминия и волокно импрегнированные гидроксидом железа(+3) химическим осаждением или окислением ферратом натрия.

По полученным данным изучено распределение техногенных (^{137}Cs, ^{90}Sr), природных (^{210}Pb, ^{226}Ra, ^{228}Ra, ^{234}Th) и космогенных (^{7}Be, ^{32}P, ^{33}P) радионуклидов в поверхностном слое Черного моря. Результаты распределения ^{137}Cs представлены в работе [1], ^{210}Pb - [2], ^{226}Ra, ^{228}Ra, ^{234}Th - [3], ^{7}Be - [4], ^{32}P, ^{33}P - [5].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 19-33-60007 (конкурс «Перспектива»), государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема «Океанологические процессы» № 0827-2020-0003).

Список литературы

1) Dovhyi I.I., Kremenchutskii D.A., Kozlovskaia O.N., Bezhin N.A., Milyutin V.V., Kozlitin E.A. Distribution of 137Cs in the Surface Mixed Layer of the Black Sea in summer 2017 // Physical Oceanology. – 2020. – Vol. 36, No. 2. – P. 387-396.

2) Dovhyi I.I., Bezhin N.A., Kapranov S.V., Lyapunov A.Yu. Lead sorption by extraction chromatographic resins on the base Di-(tert-butylcyclohexano)-18-crown-6 and its application for analysis of marine samples // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2020. – Vol. 324, No. 3. – P. 1189–1201.

3) Dovhyi I.I., Kremenchutskii D.A., Bezhin N.A., Shibetskaya Yu.G., Tovarchii Ya.Yu., Egorin A.M., Tokar E.A., Tananaev I.G. MnO2 fiber as a sorbent for radionuclides in oceanographic investigations // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2020. – Vol. 323, No. 1. – P. 539–547.

4) Kremenchutskii D.A., Batrakov G.F., Dovhyi I.I., Sapozhnikov Y.A. Role of suspended matter in controlling beryllium-7 (7Be) in the Black Sea surface layer // Journal of Marine Systems. – 2021. – 103513.

5) Довгий И.И., Кременчуцкий Д.А., Козловская О.Н., Бежин Н.А., Хлыстов В.А., Проскурнин В.Ю. Использование космогенных радиоизотопов 32P, 33P для изучения биодинамики фосфора в акватории гераклейского полуострова в весенний период // Ученые записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2020. – Т. 6 (72), № 1. – С. 274-286.

ДИНАМИКА СЕЗОННЫХ КОЛЕБАНИЙ ВЕЛИЧИНЫ pH ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПРИДОННЫХ ВОД АКВАТОРИИ ПРИУСТЬЕВОГО ВЗМОРЬЯ РЕКИ ДУНАЙ

Гребнева Е.А.

ФГБНУ «Институт природно-технических систем» (ИПТС), г. Севастополь

lenagrebneva12@gmail.com

Ключевые слова: pH, Черное море, приустьвая акватория реки Дунай – р. Дунай, северо-западная часть Черного моря, сезонный ход величины pH.

Северо-западная часть Черного моря (СЗЧМ) - гипертрофная акватория, в которую впадают четыре крупные реки - Дунай, Днепр, Днестр и Южный Буг. Дунай - наиболее полноводная река Черноморского бассейна, на него приходится около 80 % речного стока в СЗЧМ и около 36 % естественного притока пресных вод Черного моря. Основное влияние на колебания стока р. Дунай оказывают изменения климатических условий над площадью его водосбора. Годовой сток в полноводные годы достигает 313 км^3, а в засушливые - может снижаться до 123 км^3. Это приводит к значительным межгодовым вариациям гидролого-гидрохимических характеристик вод в приустьевой зоне моря [1]. В тоже время на качественные харакеристики этих вод (особенно за последние тридцать лет) оказывают принципиальное влияние развитие промышленности крупных городов, расположенных в бассейне реки, а также сельскохозяйственная деятельность. Это проявляется в эвтрофикации вод СЗЧМ и приводит к существенным изменениям гидрохимических и фитопланктонных характеристик. Необходимо подчеркнуть, что этот район подвержен влиянию не только стока Дуная, собирающего отходы промышленности и жизнедеятельности десяти государств Европы, но также стоков Днепра, Южного Буга и Днестра. Вместе с тем, взморье Дуная представляет собой зону постоянного взаимодействия речных и морских вод, в результате которого изменяются их свойства, образуются водные массы с новым качеством.

Формирование гидрохимических условий взморья происходит под воздействием сложных гидрофизических, гидродинамических процессов характерних для этого района. Поэтому приустьевое взморье Дуная представляет собой одно из самых сложных для исследования гидролого-гидрохимического режима районов Черного моря. Поступление значительного количества биогенных элементов с пресноводным стоком обеспечивает обильную кормовую базу для фитопланктона в течение всего года. В период максимального развития эвтрофирования, концентрация биогенных элементов возрастает в десятки раз. В результате, в этой зоне регулярно отмечается неконтролируемые локальные повышения биопродуктивности, так называемое «цветение», последствием чего является возникновение гипоксии в теплый период года, снижение биоразнообразия и рыбных запасов. Именно по этой причине значительное внимание исследователей биогеохимического режима Черного моря было сосредоточено на акватории приустьевых областей СЗЧМ [2,3,4]. Описанная особенность приустьевого района СЗЧМ выражается и в значительном возрастание размаха колебаний величины pH (одного из важнейших гидрохимических показателей вод). Диапазон колебаний pH в поверхностном слое на взморье Дуная составляет от 7,9 до более, чем 9,0. В мае, в период половодья, среднее значение pH - 8,48. Для сравнения, в северо-восточной части Черного моря, среднее значение величины pH, для этого месяца, в приустьевых районах рек Мзымта, Кудепста, Сочи и Битха составляет 8,35 [5].

На основе массива архивных данных Института природно-технических систем за период с 1960 по 2000 гг. описан сезонных ход величины pH в поверхностном (горизонт 0 м) и придонном (горизонт 20 м) слоях акватории приустьевого взморья р. Дунай. Сезонная динамика pH, на поверхности, в значительной степени определяется сезонным циклом в развитии биопродукционных процессов, зависящих от температурных условий и вертикальной стратификации, на которые существенным образом влияет объем стока речных вод. От зимы к лету начинается постепенное

увеличение значений (июль, август - 8,6 ед. pH), а затем падение к осени (ноябрь, декабрь - 8,35 ед. pH). Размах осредненной сезонной изменчивости величины pH составляет 0,22 ед.

В придонном слое процесс фотосинтеза практически прекращается. В результате высокой летней стратификации возникает интенсивный процесс деструкции (разрушения) органического вещества [6]. В процессе деструкции происходит активное потребление кислорода и выделение углекислого газа - CO_2, затем процесс диссоциации угольной кислоты - уровень pH падает. На взморье Дуная, в придонном слое, от зимы к лету величина pH снижается, достигая минимума в августе (8,17 ед.), затем наблюдается постепенное повышение. В зимние месяцы pH достигает 8,35 ед. Размах осредненной сезонной изменчивости величины pH составляет 0,24 ед.

Работа частично выполнена при поддержке РФФИ (грант № 18-45-920014).

Список литературы

1) Северо-западная часть Черного моря: биология и экология / Под ред. Зайцева Ю.П., Александрова Б.Г., Миничевой Г.Г. Киев: Наукова думка, 2006. 701 с.

2) Екосистема узмор'я Української дельти Дунаю / Відп. ред. Л. В. Воробйова. Одеса: Астропринт, 1998. 332 с.

3) Mikhailov V.N., Mikhailova M.V. River Mouths / The Handbook of Environmenta Chemistry. Berlin Heidelberg. Springer-Verlag. 2008.V.5. Part Q. P.91–133.

4) Михайлов В.Н., Морозов В.Н., Михайлова М.В., Гранич П.С. Гидрологические процессы в устьевой области Дуная и их возможные изменения // Водные ресурсы.1988. № 1. С.24–32.

5) Костылева А. В. Распределение растворенного органического углерода в приустьевых районах Большого Сочи (Северо-восточная часть Черного Моря) // Океанология, 2015, том 55, № 2, с. 224–230.

6) Толмазин Д. М. Гидролого-гидрохимическая структура вод в районе гипоксии и заморов северо-западной части Черного мря // Биология моря. 1977. №. 43. С. 12–17.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА БИОГЕННОГО АПАТИТА И ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ КОНКРЕЦИЙ КАПСКОЙ КОТЛОВИНЫ (АТЛАНТИЧЕСКИЙ ОКЕАН)

Григорьев Д.Ю.[1,2]**,Дубинин А.В.**[1]**, Римская-Корсакова М.Н.**[1]

[1]*Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, г. Москва*

[2]*Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, г. Москва*

d.iu.grigorev@mail.ru

Ключевые слова: железомарганцевые конкреции, биогенный апатит, стронциевая изотопная хемостратиграфия.

Железомарганцевые рудные отложения в морях и океанах представлены конкрециями, микроконкрециями и корками, которые преимущественно состоят из оксигидроксидов Fe и Mn. Эти отложения имеют тенденцию накапливать значительное количество редких и редкоземельных элементов. В связи с этой особенностью железомарганцевые руды представляют значительный интерес, как альтернативный источник минеральных ресурсов[1].

Рудные отложения в океане формируются с различной скоростью. Их возраст варьирует от тысяч лет до десятков миллионов. Скорость образования определяет обогащение железомарганцевых руд редкими элементами. Чтобы определить потоки редких элементов в Fe-Mn конкреции можно использовать биогенный апатит, который иногда встречается в ядерной части рудных отложений. Эмаль биогенного апатита сохраняет изотопный состав стронция морской воды при жизни животного. Используя эволюционную кривую изотопного состава стронция в океанской воде можно определить возраст зубов и начало образования конкреций. Стронций в оксигидроксидах Fe и Mn, в отличие от апатита, обменивается с морской водой и поровыми водами. Примесь оксигидроксидов меняет изотопный состав стронция в апатите. По этой причине необходимо отделение оксигидроксидов Fe и Mn от эмали апатита [2,3].

Методика очистки апатита от оксигидроксидов Fe и Mn и алюмосиликатного вещества подробно описана в работе [4]. Очистка проводилась в три этапа: механическая чистка путем воздействия ультразвуковых волн (1); восстановительная чистка, основанная на добавлении к образцам растворов 1M $NaHCO_3$, 0,3M NaCit и $Na_2S_2O_4$ и последующим воздействием ультразвуковых волн(2); ополаскивание образцов разбавленным раствором азотной кислоты (3).

Полученные результаты показали, что метод стронциевой хемостратиграфии вполне применим для определения возраста конкреций, а изотопный состав неодима дал неоднозначные результаты. Источником вещества для формирования конкреций была не только придонная вода, но и поровые воды, где присутствовал радиогенный неодим вулканических пород. Для определения источников вещества конкреций необходимо расширение количества изучаемых образцов.

Данная работа является продолжением исследования скорости роста конкреций Капской котловины и посвящена первой необходимой стадии исследований: разделению фаз биогенного апатита и оксигидроксидов Fe и Mn и определению их химического состава.

В качестве объектов исследования были отобраны две биоморфные Fe-Mn конкреции (образцы 8 и 9) на станции 2188 (Капская котловина), содержащие зубы в ядерной части. Способ отбора конкреций подробно изложен в работе [4], где обсуждались результаты, полученные для конкреций 4 и 5 той же станции.

Химический состав Fe-Mn конкреций и биогенного апатита после его очистки от оксигидроксидов был определён методами масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой и спектрофотомерии (P). Содержание стронция в образцах биогенного апатита варьирует от 1686 мкг/г до 1944 мкг/г. В зубах живых рыб концентрация стронция составляет от 1000 мкг/г до 2000 мкг/г [5]. Как видно, полученные нами значения находятся в этом интервале. Содержание марганца в

образцах апатита менялось от 22 мкг/г до 162 мкг/г, алюминия - от 17 мкг/г до 77 мкг/г, титана - от 66 мкг/г до 81 мкг/г. По остаточному содержанию марганца в зубной эмали можно судить об эффективности химической очистки. Так, используя соотношение концентраций Mn и Sr в оксигидроксидах и концентрацию Mn в апатите, можно рассчитать содержание «оксигидроксидного» стронция в апатите. Полученные значения концентраций лежат в интервале 0,120-0,874 мкг/г. В современных оксигидроксидах Fe и Mn отношение $^{87}Sr/^{86}Sr$ отражает отношение $^{87}Sr/^{86}Sr$ в морской воде, чья величина заключена в пределах 0,709073-0,709243 [2]. Предположив, что наш апатит имеет возраст 5 млн. лет, величина отношения $^{87}Sr/^{86}Sr$ для которого составляет 0,709021-0,709037 [4], и, зная концентрацию стронция в апатите, можно рассчитать возможный вклад в ошибку определения отношения $^{87}Sr/^{86}Sr$ от оставшегося количества оксигидроксидов в зубной эмали. Она имеет порядок 10^{-8}, что в 100 раз меньше, чем погрешность измерения изотопного состава стронция [3].

К числу стратегически важных металлов в железомарганцевых отложениях с точки зрения добычи относят кобальт, никель, медь. Содержание кобальта в оксигидроксидной части конкреций варьирует от 718 мкг/г до 1421 мкг/г, никеля - от 1477 мкг/г до 4826 мкг/г, меди - от 1628 мкг/г до 2069 мкг/г. Среди редкоземельных металлов наблюдается высокое содержание церия, чья концентрация составляет 393-1002 мкг/г. Содержание лантана меняется от 92 мкг/г до 172 мкг/г, неодима - от 104 мкг/г до 204 мкг/г. В составе РЗЭ наблюдается положительная цериевая аномалия, она составляет 1,6-2,7.

В результате проделанной работы удалось разделить фазы биогенного апатита и оксигидроксидов Fe и Mn путем химической очистки дитионитом в карбонат-цитратной системе, о чем можно судить по остаточному содержанию марганца. Так же был определен химический состав биогенного апатита и железомарганцевых слоев конкреций. Полученные данные позволят в дальнейшем определить возраст биогенного апатита, а, следовательно, скорости роста Fe-Mn конкреций при помощи метода стронциевой изотопной хемостратиграфии.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 20-05-00539.

Список литературы

1) Дубинин А. В. и др. Редкие элементы и изотопный состав Nd и Sr в марганцевых микроконкрециях Бразильской котловины Атлантического океана //Литология и полезные ископаемые. – 2017. – №. 2. – С. 99-120.

2) Кузнецов А. Б. и др. Изотопный состав Sr в водах мирового океана, окраинных и внутренних морях: возможности и ограничения Srизотопной хемостратиграфии //Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2012. – Т. 20. – №. 6. – С. 3-3.

3) McArthur J. M., Howarth R. J., Shields G. A. Strontium Isotope Stratigraphy. – 2012.

4) Дубинин А. В. и др. Изотопный состав Nd и Sr в эмали зубов из Fe–Mn конкреций Капской котловины (Атлантический океан): возраст и источники вещества //Геохимия. – 2018. – №. 12. – С. 1173-1184.

5) Martin E. E., Scher H. D. Preservation of seawater Sr and Nd isotopes in fossil fish teeth: bad news and good news //Earth and Planetary Science Letters. – 2004. – Т. 220. – №. 1-2. – С. 25-39.

РАСТВОРЕННЫЕ Mo, W И V НА ГРАНИЦЕ АЭРОБНЫХ И АНАЭРОБНЫХ ВОД В ЧЕРНОМ МОРЕ

Зологина Е.Н.[1,2], **Римская-Корсакова М.Н.**[1]

[1]*Институт Океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, г. Москва*

[2]*Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, г.Москва*

zologekaterina@gmail.com

Ключевые слова: Черное море, гидрохимия, молибден, ванадий, вольфрам.

Многие микроэлементы благодаря своему уникальному геохимическому поведению позволяют отслеживать изменение окислительно-восстановительных условий в океане. Например, такие элементы как молибден и ванадий являются важнейшими индикаторами анаэробных условий в палеоокеане [1].

В окисленной морской воде микроэлементы молибден, вольфрам и ванадий присутствуют в форме оксианионов: MoO_4^{2-}, WO_4^{2-} и HVO_4^{2-}. В океане молибден и ванадий ведут себя консервативно, концентрации молибдена составляют ∼100 нМ, а ванадия ∼30 нМ [2]. Содержание вольфрама в окисленной воде разных океанов составляет 0.04-0.06 нМ [3]. W и Mo заметно фракционируются в процессах выветривания и транспортировки в океан. Если в верхней континентальной коре мольное отношение Mo/W близко к 1 (содержание Mo составляет 1.1 мкг/г, а W - 1.9 мкг/г [4]), то в океанской воде, содержание W оказывается на три порядка меньше, чем Mo.

В условиях сероводородных бассейнов Mo и V начинают накапливаться в осадках. Молибден образует тиомолибдаты вида $MoO_xS_{4-x}^{2-}$ (x=0-4), которые сорбируются на взвешенных сульфидах железа или/и органическом веществе, а также образует самостоятельные фазы вида Fe-Mo-S [5] и со временем восстанавливается с образованием нерастворимого MoS_2. Ванадий (V) восстанавливается сероводородом до V(III), который гидролизуется с образованием нерастворимых оксигидроксидов. Из-за низких содержаний в морской воде поведение W в анаэробных условиях изучено мало.

Особенностью гидрохимической структуры Черного моря является наличие на границе окисленных и восстановленных вод переходной «субокислительной» зоны, где концентрации кислорода и сероводорода крайне низки, но присутствуют в заметных количествах взвешенные оксигидроксиды Mn и Fe. За счёт образования и растворения оксигидроксидов в пределах этой зоны происходит транспорт сорбированных ими микроэлементов. Значительная толщина субокислительной зоны, позволяет детально изучить поведение W, Mo и V при переходе из окисленных в восстановленные условия в Черном море.

Исследуемые образцы вод Черного моря были отобраны в рейсе на НИС «Ашамба» в июле 2018 года на двух станциях с координатами 44.536° с.ш., 37.930° в.д. (Ашамба 14б, глубина дна 165 м) и 44.489° с.ш., 37.869° в.д. (Ашамба 14, глубина дна 1200 м) в 3.5 и 7 милях от Голубой бухты г. Геленджика, соответственно. Отбор образцов производили, начиная с глубины 600 метров в направлении поверхности через каждые 50 метров. Отбор проб проводился с помощью комплекса “Rosette”, оснащенного шестью 4-литровыми батометрами Нискина. Воду отбирали полиэтиленовыми шприцами непосредственно из батометра и фильтровали через шприцевой фильтр (PVDF 0.45 мкм, Millipore) в полипропиленовые бутыли, подкисляя с помощью ультраочищенной HNO_3 до pH <2. Параллельно отбирали из батометра шприцом образцы нефильтрованной воды, подкисляя аналогичным образом до pH <2.

В образцах было определено содержание сероводорода, кислорода, марганца, форсфора и железа. Для определения Mo, W и V их предварительно концентрировали методом твердофазной экстракции с 8-оксихинолином на сорбенте C18ec CHROMABOND (6 мл/1000 мг, Macherey-Nagel) [2]. Элементный анализ молибдена, ванадия и вольфрама, а также Mn проводили на ИСП масс-

спектрометре используя In и Re в качестве внутреннего стандарта. Сероводород, фосфор и железо определяли фотометрическим методом, кислород - методом титрования по Винклеру.

На ст. Ашамба 14б все образцы были отобраны в толще окисленных вод, минимальная концентрация кислорода у дна составила 6 μM. На ст. Ашамба 14 глубина появления сероводорода находится примерно на 147 м. В окисленных водах обеих станций концентрации Mo и V практически постоянны и составляют 40-44 нМ и 12-13 нМ, соответственно. В анаэробной зоне ст. Ашамба 14 концентрации растворенных Mo и V с глубиной убывают. В субокислительной зоне вольфрам и ванадий формируют максимумы своих растворенных форм.

В анаэробной зоне железо находится в форме Fe(II) и в присутствии сероводорода образует взвешенные сульфиды. Они сорбируют тиомолибдаты, тем самым переводя Mo из растворенной формы в нерастворимую с последующим восстановлением до Mo (IV). Поведение W и V в свою очередь контролируется окислительно-восстановительным циклом Mn. В окисленной зоне концентрации растворенного Mn минимальны. Формирование взвешенного MnO_2 приводит к сорбции на них W и V. Сорбция продолжается по мере опускания частиц MnO_2 в толще окисленных вод. Растворение оксигидроксидов марганца в верхней части анаэробной зоны приводит к высвобождению сорбированных элементов и формированию повышенных концентраций ванадия (до 14.8 нМ) и вольфрама (до 257.5 пМ). После растворения на хемоклине оксидов марганца с сорбированным на них вольфрамат-ионом, W количественно возвращается в растворённую форму, в отличие от V, который подвержен процессу восстановления. Это приводит к дальнейшему снижению концентраций V с глубиной, вследствие ограничения его подвижности.

На мелководной ст. Ашамба 14б распределение изучаемых оксианионов в окисленных водах подобно их распределению в окисленных водах глубоководной части Черного моря. В придонных образцах наблюдается повышение концентраций Mn и W. Это, вероятно, связано с растворением взвешенных оксигидроксидов Mn в иловых водах восстановленных осадков шельфовой области Черного моря и поступлением этих элементов в придонные слои.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 20-05-00539.

Список литературы

1) Chester R., Jickells T. Marine geochemistry. – Oxf.: Blackwell Publishing, 2012. – 420 p.

2) Римская-Корсакова М. Н., Бережная Е. Д., Дубинин А.В. Определение молибдена, вольфрама и ванадия в воде Атлантического океана методом ИСП-МС после концентрирования твердофазной экстракцией с 8-Оксихинолином // Океанология. – 2017. – Т. 57. – №. 4. – С. 587-596.

3) Sohrin Y., Isshiki K., Kuwamoto T. Tungsten in north Pacific waters // Marine Chemistry. – 1987. – Vol. 22. – P. 95-103.

4) Rudnick R.L., Gao S. Composition of the Continental Crust // Treatise on Geochemistry / Eds. Holland H.D., Turekian K.K. Amst: Elsevier, 2003. – Vol.3. – P. 1-64.

5) Dahl T. W., Chappaz A., Hoek J., McKenzie C.J., Svane S., Canfield D.E. Evidence of molybdenum association with particulate organic matter under sulfidic conditions // Geobiology. – 2017 – Vol 15. – № 2. – P. 311-323.

ОЦЕНКА КОЛИЧЕСТВА ПРЕСНЫХ ВОД РАЗНОГО ГЕНЕЗИСА В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ КАРСКОГО МОРЯ

Казакова У.А.[1], **Полухин А.А.**[2]

[1]*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва*

[2]*Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

ulya_kazakova_2910@mail.ru

Ключевые слова: Карское море, речной сток, поверхностный опресненный слой, талые воды, гидрохимия.

В Карское море впадает около 55% всего речного стока сибирской Арктики [1]. Осолоненные в эстуариях пресные воды Оби и Енисея, попадая в море, формируют поверхностный опресненный слой (ПОС) моря, распространяющийся по акватории моря под действием гидрологических и метеорологических факторов [2]. Помимо материкового стока в формирование поверхностного слоя Карского моря вносят вклад атмосферные осадки и воды, образованные при таянии морского и речного льда, который выносится в море реками.

Основная цель работы - исследовать вклад речного стока и талых вод в формирование поверхностного опресненного слоя Карского моря. Оценка вклада различных источников в формирование поверхностного слоя позволит уточнить механизм формирования ПОС в Карском море за последние годы, а так же выявить межгодовую и межсезонную изменчивость структуры поверхностного опресненного слоя за рассматриваемый период.

При рассмотрении только солености поверхностных вод определение количества пресных вод может быть затруднительным. Идентифицировать речные и талые воды можно, используя гидрохимические показатели вод. Соотношение главных ионов в морской воде отличается от такового в речных и талых водах. Речные воды отличаются повышенным содержанием растворенного кремния и пониженными значениями общей щелочности. При этом возможно идентифицировать воды Оби и Енисея, используя в расчете величины общей щелочности и растворенного кремния, которые характерны для вод этих рек. Эти значения были получены в результате многолетних исследований в устьевых областях рек [3].

Значения доли вод разного происхождения получены в результате решения системы уравнений [4], включающей в себя значения солености, общей щелочности и содержания растворенного кремния в водах, которые непосредственно наблюдаются в поверхностном слое и предположительно участвуют в процессе смешения. Значения солености и щелочности талых вод принимаются за таковые значения дистиллированной воды. При увеличении числа известных гидрохимических параметров вод возможно вычисление большего количества долей водных масс, которые участвуют в процессе смешения. При этом важно учитывать то, что используемый в расчете параметр должен иметь консервативное распределение в зоне река-море.

Исследование было проведено на основе данных, полученных в ходе 6 экспедиций НИС «Академик Мстислав Келдыш» с 2015 по 2020 гг., во время которых определялись основные гидрохимические параметры воды в соответствии со стандартными методами [5], включая растворенный кислород, биогенные элементы, водородный показатель pH, щелочность и компоненты карбонатной системы.

Распространение речного стока по акватории моря в рассматриваемые периоды в основном было веерообразным. В 2015, 2017 и 2020 гг. речные воды распространялись далеко на север и практически достигали западного берега архипелага Новая Земля. Доля речных вод обского и енисейского происхождения составляла от 20 до 90% по мере приближения к устьевым областям. Достаточно высок коэффициент корреляции между долей речных вод и соленостью поверхностного слоя, он равен -0,9: наблюдается обратная линейная зависимость. Использование данных

многолетних измерений и регрессионного анализа позволили определить средние величины общей щелочности и содержания растворенного кремния отдельно для каждой реки, что, в свою очередь, позволило рассчитать отдельный вклад вод различного происхождения в формирование ПОС.

Вклад талых вод в формирование поверхностного слоя Карского моря не превышал 20%, за исключением прибрежной зоны архипелага Новая Земля, где талые воды вносят наибольший вклад по сравнению с другими источниками, что связано с ледниковым стоком. Полученные результаты сравнимы с ранее опубликованными в работе [3]. Использование несколько другого подхода позволило более точно проследить вклад талых вод в формирование ПОС: в основном они наблюдаются в юго-западной и восточной частях моря и достаточно незначительно представлены около устьевой области Обской губы.

Работа выполнена в рамках госзадания ИОРАН (тема №0149-2019-0008), при поддержке РНФ (проект № 19-17-00196) и гранта Президента Российской Федерации № МК-860.2020.5.

Список литературы

1) Русанов В.П., Васильев А.Н. Распространение речных вод в Карском море по данным гидрохимических определений // Тр. ААНИИ. 1985. Т.389. С.33-35.

2) Зацепин А.Г., Завьялов П.О., Кременецкий В.В., Поярков С.Г., Соловьев Д.М. Поверхностный опресненный слой в Карском море // Океанология, 2010. Т.50 №5. С.698-708.

3) Полухин А.А., Маккавеев П.Н. Особенности распространения материкового стока по акватории Карского моря // Океанология, 2017. Т.57. №1 С.25-37.

4) Недашковский А.П. Гидрохимическая изменчивость в верхнем квазиоднородном слое вдоль траектории дрейфа станции «Северный полюс 35»// Океанология. 2012. Т. 52. №4. С. 498-508.

5) Современные методы гидрохимических исследований океана / Ред. О.К. Бордовский, В.Н. Иваненков. М.: АН СССР. Ин-т Океанологии. 1992. 200 с.

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВОД ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧУКОТСКОГО МОРЯ В АВГУСТЕ 2019 Г.

Кодрян К.В., Кивва К.К., Зубаревич В.Л.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», г. Москва, Россия

kodryan@vniro.ru

Ключевые слова: Чукотское море, гидрохимическая структура, биогенные элементы, пространственное распределение, водные массы.

Чукотское море является одним из мелководных окраинных морей Северного Ледовитого океана, 56% площади дна которого занимают глубины менее 50 метров. Гидрохимическая структура Чукотского моря зависит от распространения различных водных масс, их локальных типов в исследованном районе и определяется водообменом с Центральным арктическим бассейном, Тихим океаном и Восточно-Сибирским морем, а также ледовыми условиями. К сожалению, западная часть Чукотского моря является менее изученной, чем восточная, в которой относительно регулярно выполняются гидролого-гидрохимические и комплексные исследовательские работы по национальным и международным научным программам. Поэтому основной целью исследований являлось изучение гидрохимической структуры именно российской (западной) части Чукотского моря, а также оценка пространственной изменчивости основных гидрохимических характеристик.

Работа основана на данных, полученных в ходе трансарктической экспедиции на НИС «Профессор Леванидов» в Чукотском море с 11 по 29 августа 2019 года. Гидрохимические работы выполнены на 55 станциях, из них 33 станции в мелководной южной части моря, где глубины составляли около 50 м, и 22 станции в северной части моря за приделами 70-метровой изобаты с наибольшей глубиной на полигоне 252 метра. Гидрохимический анализ включал определения содержания растворенного кислорода, минеральных соединений фосфора, кремния, нитритного, нитратного и аммонийного азота, выполненные по стандартным методикам.

Гидрохимические условия мелководного южного района Чукотского моря в августе 2019 г. формировались в результате распределения тихоокеанских вод, поступающих через Берингов пролив, отчетливо прослеживаемых по высокой температуре (8-9 °С). А также адвекции Восточно-Сибирских распресненных вод, поступающих с запада вдоль побережья Чукотки, прослеживаемым по низким значениям солености [1].

В южной части Чукотского моря вертикальная гидрохимическая структура характеризуется наличием однородного 10-20 метрового поверхностного слоя с низким содержанием биогенных элементов и высоким процентным насыщением вод кислородом. Содержание растворенного кислорода на поверхности менялось от 5,03 до 9,53 мл/л, а степень насыщения воды кислородом была от 97 до 137 %. Максимальные значения, достигающие 158 %, приурочены к слою пикноклина. Придонный слой благодаря влиянию беринговоморских вод характеризуется высоким содержанием биогенных элементов и насыщением вод кислородом от 60 до 80%. Концентрации кремния в мелководной части Чукотского моря изменялись в диапазоне от 0,26 до 49,91 мкМ. На поверхности его значения находились в пределах от 0,29 до 14,96 мкМ. Все относительно высокие концентрации кремния (выше 9 мкМ) на поверхности были приурочены к водам с соленостью ниже 28 ‰ и наблюдались на станциях, находящихся к югу и юго-востоку от о. Врангеля. В придонном слое концентрации кремния южной части моря могли достигать высоких значений от 7,94 до 49,91 мкМ.

Акватория Чукотского моря к северу от острова Врангеля более глубоководная и имеет более сложную вертикальную гидрохимическую структуру вод. В северной части моря на поверхности насыщение воды кислородом было около 100 %. В придонном слое содержание растворенного кислорода находилось в диапазоне от 2,1 до 5,5 мл/л, а насыщение вод кислородом от 25 до 68

%. Концентрации кремния имели больший разброс: от 0,53 до 97,28 мкМ. Поверхностные воды исследуемого полигона подвержены влиянию речного стока, распространяющегося из Восточно-Сибирского моря, соответственно, для пространственного распределения кремния на поверхности есть тенденция увеличения концентраций с востока на запад. В вертикальном распределении кремния в районе материкового склона к северу от о. Врангеля на горизонте 130 м отмечается промежуточный максимум кремния (31,75 мкМ), приуроченный к воде с соленостью 33 ‰, что, скорее всего, говорит о распространении зимней тихоокеанской воды на этом горизонте [2].

В придонном слое северной части Чукотского моря можно выделить 2 района с максимальным содержанием кремния. К первому относятся станции, располагающиеся к северу и северо-западу от о. Врангеля с глубиной не превышающей 70 м. Высокие концентрации кремния (от 83 до 108 мкМ), измеренные на этих станциях в придонном слое, были приурочены к водам с соленостью от 32,4 до 32,7 ‰. Эти воды также характеризовались высоким содержанием азота нитратов (от 12,33 до 14,39 мкМ) и фосфатов (от 2,33 до 3,10 мкМ) и насыщением воды кислородом от 29 до 57 %. По гидрологическим параметрам (S≈32,6‰ и T≈-1,5°C) они имеют характеристики остаточной тихоокеанской зимней водной массы. Ко второму району, где наблюдались максимальные концентрации кремния (от 93,25 до 97,28 мкМ) в придонном слое, относятся станции, располагающиеся к северо-востоку от острова Врангеля, однако имеющие уже большие глубины от 117 до 137 м. В этот раз максимумы кремния были приурочены к более теплым (от -0,49 до 0,01 °C) и соленым (от 34,16 до 34, 48 ‰) водам. Эти воды имеют характеристики атлантической водной массы по температуре и солености, однако сильно от нее отличаются по содержанию биогенных элементов и растворенного кислорода. Вероятно, оба максимума питательных веществ, в том числе и кремния, формируются в контакте с осадками. Воды с соленостью около 33 ‰ формируются в основном на шельфе, где придонная вода хорошо насыщена кислородом (в результате конвективного перемешивания), в то время как воды с соленостью 34,5 ‰ образуется на глубине более 100 м.

Работа выполнена согласно плану ресурсных исследований и государственного мониторинга водных биоресурсов на 2019 год, утвержденному приказом Федерального агентства по рыболовству от 30 ноября 2018 г. № 701, пп. 22-25, 38, 91, 92.

Список литературы

1) Орлов А. М., Бензик А. Н., Ведищева Е. В. и др. Рыбохозяйственные исследования в Чукотском море на НИС «Профессор Леванидов» в августе 2019 г.: некоторые предварительные результаты // Труды ВНИРО. Т. 178. С. 206–220

2) Anderson L. G., Björk G., Holby O. et al. Shelf-Basin interaction along the East Siberian Sea // Ocean Science. 2017. V. 13. № 2. P. 349-363.

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ВОД В ЖЕЛОБЕ СВ. АННЫ (КАРСКОЕ МОРЕ)

Костылева А.В.[1], Щука А.С.[1], Замятин И.А.[1], Полухин А.А.[1], Чульцова А.Л.[1], Селиверстова А.М.[1], Гусак Г.В.[2], Казакова У.А.[3]

[1]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

[2]*Санкт-Петербургский Государственный университет Институт Наук о Земле, г. Санкт-Петербург*

[3]*Московский Государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва*

ventis-ire@yandex.ru

Ключевые слова: Карское море, материковый сток, фронтальная зона, гидрохимические параметры, гидрофизическая структура вод.

Исследования физических, физико-химических и биологических процессов в желобах арктических морей вызывают все больший интерес. Это связано, прежде всего, с разнообразием водных структур на сравнительно небольшой по площади акватории. Влияние распресненных шельфовых вод Карского моря, вод Арктического бассейна, трансформированных атлантических и баренцеворских вод в желобе Св.Анны [1] влечет за собой разнообразие биогеохимических условий в акватории желоба.

Настоящая работа посвящена исследованию особенности гидролого-гидрохимической структуры вод в желобе Св. Анны. В основу работы легли данные, полученные в сентябре 2020 года в 81-м рейсе НИС "Академик Мстислав Келдыш". Исследования проводились в северо-восточной части Карского моря на разрезе протяженностью 156.6 км. В работе было проанализировано распределение температуры, солености, растворенного кислорода, AOU (apparent oxygen utilization - кажущееся потребление кислорода), pH, щелочности, основных биогенных элементов и флуоресценции хлорофилла-а. Профилирование водной толщи от поверхности до дна на станциях проводилось с использованием CTD-зонда SBE911 Plus с датчиками давления, температуры, электропроводности, кислорода, мутности и флюорисценции. Отбор проб воды осуществлялся во время зондирования каруселью на 12 батометров объемом 5 л. Определение гидрохимических параметров проводилось в соответствии со стандартными методиками [2].

Согласно величинам солености, влияние пресных вод прослеживается в приповерхностном слое разреза до 76° 37.96' с.ш и 71° 15.25' в.д. В исследуемом районе солёность изменялась от 13.99 psu (глубина 1 м., 75° 40.11' с.ш. и 72° 13.86' в.д.) до 34.87 psu (глубина 294 м., 76° 56.89' с.ш и 70° 22.02' в.д. Мощность распресненного слоя с соленостью менее 25 psu составляла 8 м в южной части разреза. По распределению общей щелочности и растворенного кремния можно заключить, что формирование этого слоя происходило под влиянием вод материкового стока.

Поверхностные и подповерхностные воды северной части разреза более насыщены кислородом, нежели воды южной части разреза. Минимальные величины AOU тоже были отмечены в подповерхностных и поверхностных водах северной части разреза (до -20,00 μM), что может быть следствием превалирования продукционных процессов над деструкционными в этом районе. Кислородный максимум расположен на глубине 20-50 м как в северной, так и в южной части разреза. В южной части эта особенность связана с пониженной температурой в этом слое вплоть до -0.83 °C на глубина 50 м, что в свою очередь сопряжено с холодным промежуточным слоем (ХПС) Карского моря, формирующемся в процессе зимнего выхолаживания и конвективного перемешивания [3]. В северной части разреза кислородный максимум вероятнее всего может быть обусловлен как более низкой температурой (арктический ХПС) [3], так и фотосинтетической деятельностью одноклеточных водорослей, о чем косвенным образом можно судить по глубинному максимуму флуоресценции хлорофилла-а (0.83 μg/l на самой северной станции разреза на глубине 44 м) и низким значениям AOU.

Основной рост содержания нитратов и минерального фосфора происходит под кислородным максимумом. Максимальное содержание нитратов составило 10.79 μM. Максимум нитритов и аммонийного азота охватывает "промежуточный" слой с глубиной 30-250 м.

В склоновой части разреза наблюдается высокоградиентная фронтальная зона протяженностью около 7.6 км. Южная часть фронтальной зоны ограничивается почти вертикальной стенкой более холодных вод (до 3.05°C на глубине 17 м), которые имеют карскоморское происхождение. Для этой части фронтальной зоны характерен подповерхностные максимумы кислорода и флуоресценции хлорофилла-а (1.6 мг/м^3 на глубине 3.8 м). Северная часть фронтальной зоны отличается более высокой и равномерно распределенной температурой (с 5.95 °C на поверхности до 1.90 °C на глубине 60 м), относительно однородным содержанием кислорода и минерального фосфора, более низкой глубиной выклинивания нитратного азота, а также самым высоким содержанием в водном столбе аммонийного азота и нитритов. Однородность гидрохимических параметров может быть связана с высокой мощностью циклонического течения, проходящего над склонами желоба [3].

В целом структура вод повторяет картину, наблюдаемую в сентябре 2007 года в 54-м рейсе НИС "Академик Мстислав Келдыш", что может свидетельствовать о стабильности фронтальной зоны.

Работа выполнена в рамках госзадания ИОРАН (№0128-2021-0002) при финансовой поддержке грантов РНФ №19-17-00196, РФФИ №18-05-60302 и №20-35-70039.

Список литературы

1) Сергеева В.М., Суханова И.Н., Флинт М.В. и др. Фитопланктон желоба Св. Анны: влияние абиотических факторов. // Океанология. 2020. Т. 60. № 4. С. 528-544.

2) Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана. Ред. Сапожников В.В. М.: Изд-во ВНИРО, 2003. 202 с.

3) Зацепин А.Г., Морозов Е.Г., Пака В.Т. и др. Циркуляция вод в юго-западной части Карского моря в сентябре 2007 г. // Океанология. 2010. Т. 50. № 5. С. 683–697.

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА КИСЛОРОДНОЙ СТРАТИФИКАЦИИ ВОД И СОДЕРЖАНИЯ В НИХ ХЛОРОФИЛЛА-А В ЭВФОТИЧЕСКОМ СЛОЕ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Костылева А.В., Мошаров С.А.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

ventis-ire@yandex.ru

Ключевые слова: Черное море, сезонная динамика, растворенный кислород, хлорофилл-а, сезонный термоклин, продукционно-деструкционные процессы.

В работе представлены промежуточные результаты исследования формирования кислородной стратификации в процессе эволюции сезонного термоклина в эвфотическом слое в северо-восточной части Черного моря. Работа основана на анализе данных измерений растворенного кислорода и хлорофилла-а (Chl-a), а также оценки кажущегося потребления кислорода (AOU) на 5-ти мильном разрезе, поперечном шельфу в районе Голубой бухты (г. Геленджик) в 2012 г. с апреля по ноябрь включительно. Отбор проб сопровождался гидрофизическим зондированием с использованием CTD-зонда SBE 19plus. В точке с глубиной 10 м пробы отбирались с поверхности. На 25 м - с горизонтов 0, 10 м и у дна. На 50 м - с горизонтов 0, 10, 20, 30 м и у дна. На 100 м - с горизонтов 0, 10, 20, 30 и 50 м. На 500 м - с горизонтов 0, 10, 20, 30, 50 и 70 м.

Определение хлорофилла-а в морской воде проводилось с использованием стандартного флюориметрического метода [1] на флюориметре МЕГА-25 (производство кафедры биофизики МГУ им. М.В. Ломоносова). Кислород определялся методом Винклера. AOU определялось как разница между концентрацией кислорода в состоянии равновесия с атмосферой при температуре и солености in situ и фактической измеренной концентрацией кислорода [2; 3].

Из-за холодной зимы толщина термоклина в 2012 году была небольшой, в среднем около 11 метров. Термоклин появился в конце апреля, и просуществовал до конца всего периода наблюдений. Минимальная температура в верхних 50 м за исследуемый период составила 6,75 °C (10 мая, глубина 50 м, станция с глубиной 500 м), максимальная - 27,23 °C (26 июля, поверхность, станция с глубиной 500 м).

В течение года концентрация Chl-a в верхнем 50-м слое изменялась в пределах от 0,01 до 1,39 мкг/л. Самые высокие значения Chl-a были отмечены в начале апреля и конце июня. Четвертого апреля концентрация Chl-a достигла своей максимальной отметки и на горизонте 10 м на станции с глубиной 50 м составила 1,39 мкг/л. При этом обилие фитопланктона, согласно данным Chl-a, увеличивалось по мере приближения к берегу. Таким образом, сезонная динамика Chl-a носила «волнообразный» характер, заключающийся в чередовании периодов с низким и высоким его содержанием.

Концентрация кислорода в течение года варьировала в верхнем 50-м слое от 240 до 351 μM. В целом сезонная динамика кислорода повторяла сезонный тренд температуры, что связано с прямой зависимостью растворимости газов от температуры. Поэтому увеличение концентрации кислорода с июля по ноябрь связано, скорее, с остыванием поверхностных вод, которое способствует лучшему растворению кислорода. В том числе и по этой причине максимум содержания кислорода наблюдался в апреле, поскольку апрель характеризуется самой низкой температурой за весь исследуемый период.

Показатель AOU служит для того, чтобы исключить влияние температуры и солености на насыщение вод кислородом и более четко продемонстрировать отклонение содержания кислорода от равновесия [2]. Величина AOU в течение года менялась от -76,9 μM (22 июня на поверхности станции с глубиной 10 м) до 69,6 μM (28 сентября на станции с глубиной 50 м у дна). Согласно распределению AOU, слой, в котором превалируют продукционные процессы над деструкционными,

располагался в верхних 30 м, причем меньшая продукционная активность этого слоя наблюдалась в апреле и ноябре, а наибольшая - 26 июля и совпадала с максимумом температуры. В этот же период (26 июля) средняя в верхнем 50-м слое величина AOU достигала минимальных значений для станций с глубинами 25, 50, 100 и 500 м и составляла соответственно -34,9, -18,4, -14,0 и -14,2 μM. В течение ноября активность продукционных процессов снизилась, и 26 ноября в верхнем 20 м слое в среднем составляла около 0 μM.

Из анализа обработанного материала были получены следующие выводы:
1) Максимум кислорода наблюдался чаще всего непосредственно в термоклине или под ним, причем последнее в значительной степени обусловлено понижением температуры.
2) Сезонная динамика Chl-a носила «волнообразный» характер, заключающийся в чередовании периодов с низким и высоким его содержанием. Максимальные величины хлорофилла-а в водном столбе наблюдались в большинстве случаев на горизонтах 10-20 м.
3) Минимальные величины AOU наблюдались чаще всего над термоклином, преимущественно на поверхности, что может быть связано с максимумом первичной продукции, характерным для подповерхностного слоя между 5 и 10 м глубины [4].

Работа выполнена в рамках госзадания ИОРАН (тема №0128-2021-0007), при поддержке РФФИ (проект №19-05-00459).

Список литературы

1) Holm-Hansen O. Chlorophyll-a determination: improvements in methodology / O. Holm-Hansen, B. Riemann // Oikos. – 1978. – Vol. 30. – P. 438–447.

2) Redfield A.C., Ketchum B.H., Richards F.A. The influence of organisms on the com-position of seawater / The Sea / M.N. Hill (ed).– NY: Intersc., 1963.– 2.– P.26-77.

3) Weiss R.F. The solubility of nitrogen, oxygen, and argon in water and seawater / R.F. Weiss // Deep Sea Research. – 1970. – Vol. 17. – P. 721–735.

4) Сорокин Ю.И. Черное море: Природа, ресурсы / Ю.И. Сорокин. – М.: Наука, 1982. – 218 с.

РАЗВИТИЕ ЗОН ДЕФИЦИТА КИСЛОРОДА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ В РАЙОНЕ КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА

Куринная Ю.С., Орехова Н.А.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

kurinnaya-jul@yandex.ru

Ключевые слова: Керченский пролив, донные отложения, поровые воды, кислород, полярография.

Керченский пролив относится к числу наиболее загрязненных акваторий Азово-Черноморского бассейна, являясь транспортным коридором между Азовским и Черным морями. Его береговая часть характеризуется хорошо развитой городской и промышленной инфраструктурой. При этом он имеет важное рекреационное значение.

Увеличение интенсивности судоходства и проведение дноуглубительных работ, функционирование портов и верфей, поступающие загрязнения с судов, гидротехническое строительство оказывают негативное влияние на состояние экосистемы пролива [1]. В частности, отмечается повышенное содержание взвешенного вещества и биогенных элементов, снижение концентрации кислорода в водной тоще [2], а в поверхностном слое донных отложений может развиваться гипоксия или даже аноксия.

Это обусловлено тем, что усиление антропогенной нагрузки приводит к увеличению поступления органического вещества (ОВ) в акваторию, что в свою очередь влияет на условия осадконакопления и многие экологические характеристики акватории. Увеличение содержания ОВ в водной толще и донных отложениях приводит к расходованию кислорода на его окисление, а также других восстановленных органических и неорганических соединений. В случаях, когда поступление ОВ превышает поступление кислорода, в придонном слое вод и в донных осадках возникает дефицит кислорода. Биогеохимической основой этих изменений является развитие восстановленных условий в осадках [3].

Целью данной работы является выявление районов, в которых возникают гипоксийные и аноксийные условия в донных отложениях Керченского пролива.

В работе были проанализированы данные, полученные в июле и сентябре 2020 г. Всего было отобрано 5 колонок- 2 колонки в южной части Керченского прилива и 3 колонки в центральной части Таманского залива. Пробы отбирались трубками из оргстекла, которые герметично закрывали сверху и снизу. Для получения химического профиля поровых вод с высоким вертикальным разрешением использовался полярографический метод анализа со стеклянным Au-Hg микроэлектродом [4]. На основе полученных данных дан прогноз развития зон дефицита кислорода в донных отложениях.

Время отбора проб приходилось на наиболее благоприятные условия для развития дефицита кислорода (повышение температуры водной толщи, снижение растворимости кислорода и интенсификация биогеохимических процессов). Повышенное содержание биогенных элементов также способствовало продукции ОВ в водной толще.

Поток кислорода в донные отложения определяется градиентом его концентрации между придонным слоем вод и верхним слоем донных отложений. Глубина проникновения кислорода в донные отложения зависит от его концентрации в придонном слое вод, а также геохимических характеристик донных отложений, в том числе гранулометрического состава. Наличие или отсутствие кислорода влияет на окислительно-восстановительные условия, а также скорость развития дефицита кислорода в придонном слое вод, на поверхности и в толще донных осадков [4, 5].

Согласно ранее полученным результатам [6] установлено, что в районе Керченского предпроливья со стороны Черного моря, отмечается наличие аэробных условий на поверхности донных отложений. Это может указывать как на то, что уровень антропогенного воздействия на данном

участке значительно ниже, чем в самом проливе, так и на преимущественный вклад гидродинамических условий в формирование донных отложений. Однако в самом Керченском проливе гидродинамические условия значительно изменяются, а уровень антропогенного воздействия значительно возрастает, что также отражается на геохимической структуре донных отложений.

Анализ полученных результатов на разных участках Керченского пролива позволил оценить влияние интенсивности антропогенного воздействия с одной стороны и гидродинамической структуры вод - с другой, на формирование донных отложений и окислительно-восстановительных условий в них.

Отмечено, что для придонного слоя вод центральной части Таманского залива характерно наличие зоны дефицита кислорода. Кроме того, интенсивное накопление ОВ в толще донных отложений Таманского залива привело к активному расходованию кислорода и, как следствие, появлению восстановленных форм серы (сероводорода) в поровых водах верхнего слоя отложений.

В верхнем слое донных отложений Керченского пролива со стороны Черного моря также отмечено отсутствие кислорода (аноксия), однако сероводород в поровых водах зафиксирован не был. Поровые воды в этом районе отличались высоким содержанием железа (Fe (II, III)).

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0555-2021-0005 "Прибрежные исследования", а также при поддержке грантов РФФИ № 20-35-90103 и № 18-05-80028.

Список литературы

1) Еремеев В.Н., Иванов В.А., Ильин Ю.П. Океанологические условия и экологические проблемы Керченского пролива // Морской экологический журнал. 2003. 2(3). С. 27–39.

2) Горячкин Ю.Н., Кондратьев С.И., Лисиченок А.Д. Гидролого-гидрохимические характеристики и динамика вод в Керченском проливе в марте 2004 г. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2005. № 12. С. 108–119.

3) Holmer Marianne. The Effect of Oxygen depletion on anaerobic organic matter degradation in marine sediments // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 1999. 48. P. 383–390.

4) Орехова Н.А., Коновалов Кислород и сульфиды в донных отложениях прибрежных районов Севастопольского региона Крыма // Океанология. 2018. Т. 58. № 5. С. 739–750.

5) Zhang J., Gilbert D., Gooday A.J. et al. Natural and human-induced hypoxia and consequences for coastal areas: synthesis and future development // Biogeosciences. 2010. № 7. P. 1443–1467.

6) Kurinnaya Y., Orekhova N. Coastal hypoxia in areas under anthropogenic pressure // Proceedings of 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 2020, Conference Proceedings, 18 August – 24 August, 2020 Albena, Bulgaria. Vol. 20. Issue 3.1. P. 823–830. doi: 10.5593/sgem2020/3.1/s15.106.

ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА СОДЕРЖАНИЕ ХЛОРОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ РЕКИ ЧЕРНОЙ (СЕВАСТОПОЛЬ, КРЫМ)

Малахова Л.В., Проскурнин В.Ю., Лобко В.В.

Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН, г. Севастополь

lobkoveronika@gmail.com

Ключевые слова: донные осадки, ДДТ, полихлорбифенилы, тяжелые металлы, р. Черная.

Приоритетными загрязняющими веществами (ЗВ) для водных экосистем являются хлорорганические соединения (ХОС) и тяжелые металлы (ТМ). К ХОС относятся ДДТ и его метаболиты ДДЭ и ДДД (их концентрация представлена в работе суммой ДДТ) и полихлорированные бифенилы (их концентрация представлена суммой 6 индикаторных конгенеров - ПХБ).

В донных отложениях (ДО) различные соединения в процессе седиментации накапливаются в течение длительного времени, поэтому послойное определение их состава позволяет оценить процессы, проходящие в период формирования ДО, в том числе хронологию поступления ЗВ.

Целью настоящего исследования было изучение накопления ХОС и ТМ в кернах ДО реки Черной. Керны были отобраны трубчатым пробоотборником гравитационного типа в феврале 2020 г. в устьевом районе реки в точке с координатами 44°36.235 с.ш. и 33°36.209 в.д. Значение солености воды в точке отбора кернов составляло 14.13 ‰, что свидетельствует о смешении речной и морской воды в этом районе. Керн глубиной 9 см разделили на слои толщиной 1 см для анализа ХОС. Для определения ТМ была отобрана колонка длиной 16 см и разделена на слои 2 см. Определение ЗВ проводили на базе НОЦКП «Спектрометрия и Хроматография» ФИЦ ИнБЮМ: ХОС - газохроматографическим методом на хроматографе Хроматэк Кристалл 5000 с микро ЭЗД, ТМ - методом ИСП-МС на масс-спектрометре «PlasmaQuant MS Elite» (Analytik Jena, Германия).

Для определения хронологии поступления ЗВ в ДО реки в устьевом районе, было принято допущение, что скорость седиментации в районе отбора кернов была равна 0.93 см/год, как и в Инкерманском ковше [1], непосредственно граничащим с районом отбора проб. Таким образом для кернов длиной 9 и 16 см соответствовали периоды захоронения осадков начиная с 2012 и 2003 гг. по 2020 г. соответственно.

Концентрация ДДТ в ДО неравномерно увеличивалась с глубиной от 11.3 в поверхностном слое до 39.4 нг/г (здесь и далее на сухую массу) на горизонте от 8 до 9 см. Распределение ПХБ в толще ДО оказалось более равномерным, чем у ДДТ, их содержание изменялось в диапазоне от 23.52 до 28.79 нг/г, за исключением горизонта от 5 до 7 см, где в профиле обнаружено резкое снижение концентрации на порядок значений до 2.52 нг/г.

При различных уровнях содержания микроэлементов Cu, Cr, V, Ni, Ti, Ba и Fe профили их вертикального распределения в колонке грунтов оказались в большой степени похожими: содержание металлов незначительно увеличивалось от поверхностного слоя до 4 см, в интервале 5-7 см наблюдалось существенное уменьшение концентрации, также, как на профиле ПХБ, а начиная с глубины 9 см до 15 см содержание этих элементов довольно плавно увеличивалось в разы (от 1.3 для Ni до 5.5 для Ti).

Таким образом, в вертикальном распределении ПХБ, Cu, Cr, V, Ni, Ti, Ba и Fe в колонках ДО определена одинаковая особенность: во всех профилях обнаружена пониженная концентрация в слое от 5 до 7 см. Известно, что малые реки весьма быстро реагируют на изменения природно-антропогенного воздействия на площадь их водосбора. Об отсутствии существенных изменений в процессе осадконакопления верхних 16 см толщи ДО в точке отбора можно судить по однородному гранулометрическому составу и закономерному плавному снижению значений естественной влажности от 58 до 47% по глубине ДО. Отсюда можно сделать предположение, что особенности

в профилях распределения ЗВ определялись антропогенными факторами. Таким фактором может быть существенное снижение техногенного пресса на окружающую среду Крыма [2]. Данный факт в период 2014-2015 гг. обусловлен трудностями переходного периода для экономики Крыма, снижением объёмов производства и показателей экономической деятельности в целом. Это сказалось на снижении к 2015 г. на 51.1% выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и плотности выбросов на 1 кв. метр по сравнению с 2011 г.. Кроме этого, прекращение подачи днепровской воды через Северо-Крымский канал повлияло на резкое сокращение водозабора (на 79,3% в 2014 г. по сравнению с 2011 г.). Как следствие, в 2015 г. на 74,4% снизился и показатель объёма сброса загрязнённых сточных вод [2].

Согласно реконструкции хронологии осадконакопления, формирование горизонта керна с пониженными значениями ЗВ относится к 2014-2015 гг., т.е. к годам переходного периода в экономике Крыма и Севастополя.

В отличие от профилей распределения Cu, Cr, V, Ni, Ti, Ba и Fe, где наблюдалось повышение концентрации с глубиной осадков, концентрации Pb и Zn с глубиной снижались, их наибольшие концентрации определены в верхних слоях донных осадков. По-видимому, это связано с поступлением Pb и Zn из локальных региональных источников, интенсивность которых не зависела от изменений в экономической ситуации.

Работа выполнена в рамках регионального гранта РФФИ и города Севастополя 20-45-920004 р-а «Балансовое изучение влияния стока реки Черной на эвтрофикацию и загрязнение Севастопольской бухты антропогенными радионуклидами, тяжелыми металлами и хлорорганическими ксенобиотиками» (АААА-А20-120013090118-8).

Список литературы

1) Egorov V.N. Rating Water Quality in Sevastopol Bay by the Fluxes of Pollutant Deposition in Bottom Sediments / Gulin S.B., Malakhova L.V., Mirzoeva N.Y. et al. // Water Resources. 2018. Vol. 45. № 2. P. 222-230.

2) Анализ тенденций социально-экономического развития Республики Крым : монография / под ред. д.э.н., доцента Ю.П. Майданевич ; ФГАОУ ВО КФУ им. В.И. Вернадского. Симферополь : ПОЛИПРИНТ, 2019. – 362 с.

ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИЕ АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ

Майорова А. Ю.

Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, г. Калининград, Россия,
Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия

anastace.may@gmail.com

Ключевые слова: прибрежные воды, донные отложения, рыба, ПАУ, диагностические коэффициенты.

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) относят к приоритетным загрязнителям, так как некоторые из них обладают канцерогенной активностью и представляют опасность для здоровья человека [1,2,3]. В связи с этим научный интерес к ПАУ не ослабевает в течение последних десятилетий. Поставка ПАУ связана с биогенными, нафтидогенными и пирогенными источниками [4, 5].

Цель исследования - установить состав и генезис ПАУ в прибрежных водах Юго-Восточной Балтики, а также некоторых видах населяющих их промысловых рыб.

Для исследований были отобраны пробы воды в период с 2019-2020 гг. с 22 станций, расположенных в прибрежной зоне Балтийского моря (северное побережье Калининградского полуострова) (8 станций), Куршского залива (2 станции), Калининградского залива (12 станций). Образцы рыб разных видов были выловлены весной 2019 г. (всего 10 особей).

Аналитическое определение ПАУ проводили на высокоэффективном жидкостном хроматографе Agilent 1260 с флуориметрическим детектированием и селективной колонкой - Zorbax Eclipse PAH (5 мкм, 3.0 x 250 мм). Целевыми компонентами являлись Naphthalene, Acenaphthene, Fluorene, Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene, Benzo[a]anthracene, Chrysene, Benzo[b] fluoranthene, Benzo[k]fluoranthene, Benzo[a]pyrene, Dibenzo[a,h]anthracene, Benzo[g,h,i]perylene, Indeno[1,2,3-c,d]pyrene. Количественное определение ПАУ проводили методом абсолютной калибровки.

Средняя суммарная концентрация ПАУ в воде Балтийского моря и Куршского залива в большей части исследованных проб превышает глобальный фоновый уровень (0,02 нг/мл). Содержание ПАУ в пробах воды и Калининградского залива соответствует фоновым значениям. Содержание нормируемого ПАУ (бенз(а)пирена) в рыбе не превышает ПДК (5 нг/г). Наименьшее суммарное содержание ПАУ в пробах установлено в воде Калининградского залива (0,195 нг/мл). Основной вклад вносят бенз(а)пирен и бенз(а)антрацен (9% и 91% соответственно). Наибольшее суммарное содержание ПАУ обнаружено в судаке (118,21 нг/г), а наименьшее - в окуне (5,13 нг/г), при этом концентрация бенз(а)пирена во всех пробах рыб не превышала ПДК. В тканях рыб в большей степени аккумулируется нафталин (от 14% до 41% от суммарного содержания ПАУ). ПАУ в воде Куршского залива представлены флуорантеном (0,27 нг/мл) и нафталином (0,26 нг/мл). Наименьшая концентрация установлена для бенз(а)пирена. Для изученных образцов рыбы Куршского залива характерно присутствие в заметных количествах бенз(а)антраценом (11,22 нг/г) и индено(1,2,3-cd)пиреном (6,66 нг/г). Максимальное суммарное содержание ПАУ установлено в подлеще (42,29 нг/г), а наименьшее - в окуне (1,08 нг/г), концентрация бенз(а)пирена во всех образцах рыбы не превышала ПДК. Характерной особенностью содержания ПАУ в пробах воды прибрежной части Балтийского моря является присутствие в ней бенз(а)антрацена (63%).

В пробах доминируют тяжелые 4-7 кольцевые ПАУ, в то время как летучие (2-3 кольцевые) обнаружены в минимальном количестве. Средняя концентрация ПАУ в воде Балтийского моря и заливов превышает глобальный фоновый уровень (суммарное содержание ПАУ в морской воде чистых районов Антарктики - 0,02 нг/мл) на большей части исследованной акватории за исключением Калининградского залива.

Для идентификации ПАУ были рассчитаны диагностические коэффициенты (соотношение ПАУ в образцах) [5], которые показали как наиболее вероятный источник загрязнения ПАУ процессы горения и сжигание топлива (k= B(α)A/(B(α)A+Chr) $<$ 0,35) с последующим атмосферным переносом продуктов горения и осаждением их на поверхность водоемов [5,6]. Как один из видов трансформации атмосферных осаждений ПАУ на поверхности Балтийского моря может рассматриваться последующая аккумуляция их биотой, в том числе накопление органических поллютантов промысловыми видами рыб.

Список литературы

1) Exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons with special focus on cancer / T. Rengarajan, P. Rajendran, N. Nandakumar, B. Lokeshkumar, P. Rajendran, I.Nishigak. // Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine. – 2015. – Vol. 5.– P. 182–189.
2) Ambient polycyclic aromatic hydrocarbons and pulmonary function in children / A. M.Padula, J. R.Balmes, E. A.Eisen, J. Mann, E. M.Noth, F. W.Lurmann, B. Pratt, I. B.Tager, K. Nadeau & S. K. Hammond// Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology. – 2015. – Vol. 25, P. 295–302
3) Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in seawater and sediments from the northern Liaodong Bay, China / A. Zhang, S. Zhao, L. Wang,X. Yang, Q. Zhao, F.X. Yuan. // Marine Pollution Bulletin. – 2016. – Vol. 113. – P. 592 – 599
4) C. Wang, X. Zou, J. Gao, Y. Zhao, W. Yu, Y. Li, Q. Song. Pollution status of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments from the Yangtze River Estuary and its adjacent coastal zone // Chemosphere – 2016. – V. 162. - P. 80-90
5) Ровинский, Ф.Я. Фоновый мониторинг полициклических ароматических углеводоров. / Ровинский, Ф.Я., Теплицкая Т.А., Алексеева Т.А./ –Ленинград.– Гидрометеоиздат. – 1988. – 516 с.
6) Загрязнение Балтийского моря стойкими органически загрязнителями // Метеорологический Синтезирующий Центр - Восток (МСЦ-В) [Электронный ресурс] URL: http://www.ru.msceast.org/index.php/pollution-assessment/marginal-seas/baltic-sea (дата обращения: 17.12.2020)

СУТОЧНАЯ ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРЕННОГО МЕТАНА В ВОДЕ КИСЛОРОДНОГО СЛОЯ ЧЕРНОГО МОРЯ ДЛЯ ГЛУБОКОВОДНОГО И ПРИБРЕЖНОГО РАЙОНОВ (ПО ДАННЫМ 113 РЕЙСА НИС "ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ")

Малахова Т.В., Мурашова А.И.

ФИЦ Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН, г. Севастополь

alenamyra@mail.ru

Ключевые слова: растворенный метан, "метановый парадокс", суточная динамика, Черное море.

Концентрация CH_4 в насыщенных кислородом верхних слоях Мирового океана часто превышает равновесные с атмосферой значения, несмотря на то, что микробная продукция метана требует исключительно анаэробных условий. Разными исследователями отмечалось наличие концентрационного пика CH_4 в подповерхностных слоях кислородсодержащих водах морей, океанов и озер, в том числе в аэробных водах Черного моря. На происхождение такого приповерхностного максимума, получившего название “метанового парадокса”, нет единой точки зрения. Долгое время объяснение этого феномена сводилось к выявлению в водной толще анаэробных микрониш, в которых возможно развитие метаногенных архей. Однако в настоящее время “метановый парадокс” объясняют метаболической активностью аэробных пелагических микроорганизмов, способных к восстановлению метилированных соединений (метилфосфоната и диметилсульфониопропионата) до метана.

Обнаруженные максимумы концентрации метана в кислородсодержащих водах Черного моря имели различную величину и глубину залегания. Сезонные исследования вертикального распределения CH_4 в верхнем фотическом слое воды Черного моря, проведенные в 102, 103, 105, 106 и 110 рейсах НИС «Профессор Водяницкий», не выявили сезонной и пространственной зависимости распределения подповерхностных максимумов, что вероятно связано с процессами меньшего временного и пространственного масштаба. В связи с этим была поставлена цель исследовать суточную динамику вертикального распределения CH_4 в кислородной зоне Черного моря.

Исследования проводились на 2 станциях в северной части Черного моря в 113-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» в июне 2020 г. Были отобраны пробы воды в диапазоне 0 - 39 м для прибрежной ст. 123 и 0 - 100 м - для глубоководной ст. 220. На мелководной ст. 123, глубина которой составляла 39 м, пробы отбирались с шагом 5 м через каждые 2 ч. Вода с соответствующих горизонтов была отобрана с использованием 10-литровых батометров *Niskin* зондирующего комплекса типа *Rosette*. На глубоководной ст. 220, глубина которой составляла 1570 м, пробы отбирались в дрейфе ручным батометром с шагом 10 м через каждые 4 ч. На всех горизонтах пробы отбирались в 2 повторностях.

Содержание метана в воде определяли после фазово-равновесной дегазации проб на газовом хроматографе HP-5890 с пламенно-ионизационным детектором при следующих условиях: газ-носитель - азот, объемная скорость - 30 мл/мин, температура детектора - 225°C, инжектора - 120°C, колонка стальная набивная, длина колонки - 1 м, внутренний диаметр - 2 мм, сорбент - *Porapack Q* 80/100 меш. (*Serva*). Ошибка определения метана не превышала 7%.

На прибрежной ст. 123 было выполнено 12 зондирований между 7:00 8 июня и 7:00 9 июня 2020 г. Распределение метана в толще воды в течение указанного промежутка времени имело неоднородный характер, диапазон значений концентрации CH_4 составил 0 - 44 нмоль/л. Концентрационные максимумы в течение суток меняли свое расположение, при этом находясь в средних по глубине слоях между 20 и 30 м. Исключение составляли ночные часы в промежутке между 21:00 и 3:00, когда максимумы содержания CH_4 находились в придонном слое. Для нескольких

зондирований в слое 5-10 м были обнаружены повышенные концентрации CH_4, меньшие по абсолютному значению по сравнению с основными залегающими ниже максимумами. Поверхностный горизонт для всех зондирований характеризовался невысокими значениями концентрации CH_4, которые находились в диапазоне от 0 до 16 нмоль/л. Также низкие концентрации метана, без концентрацироннных максимумов, были обнаружены во всей толще воды в утренние часы с 9:00 до 11:00.

На глубоководной ст. 220 было выполнено 7 зондирований между 13:00 13 июня и 13:00 14 июня 2020 г. Распределение метана в толще воды в течение указанного промежутка времени так же, как и для прибрежной станции, было неравномерным. Профиль распределения CH_4 во время первого зондирования в 13:00 13 июня характеризовался наличием максимума на глубине 30 м, который к 1:00 заглубился до 60 м. Наиболее высокие концентрации были измерены в 21:00, как в целом по профилю, так и по абсолютному максимуму, обнаруженному на глубине 40 м и равному 84 нмоль/л. В утренние и дневные часы 14 июня концентрации CH_4 были близки к 0 почти во всем исследованном слое от поверхности до 100 м.

Сравнение данных динамики концентрации CH_4 для 2 станций показало, во-первых, высокую изменчивость концентрации CH_4 для обеих станций, во-вторых, вертикальную миграцию максимумов в течение суток. Максимум концентрации CH_4 был измерен для глубоководного района, при этом он не был устойчивым во времени, а также мигрировал по направлению ко дну. Через 8 часов после детекции максимальных величин концентрации CH_4 во всем исследованном столбе воды глубоководной станции значения снизились до уровня равновесия с атмосферой. На мелководной станции в течение 24 часов вся толща воды характеризовалась значениями, превышающими равновесные концентрации. В целом результаты исследования суточной динамики вертикального распределения концентрации CH_4 в воде показали высокую вариабельность значений в толще, которые изменялись на 2 порядка величин, тогда как поверхностный слой характеризовался стабильно невысокими концентрациями CH_4, что определяется, вероятно, перераспределением метана на границе вода-атмосфера. Суточная динамика для мелководной станции отличалась от глубоководной, что может быть связано с различными источниками поступления CH_4. Известно, что для мелководных шельфовых станций на структуру вертикального распределения CH_4 значительное влияние могут оказывать его потоки из донных осадков, тогда как в глубоководных районах аэробной зоны CH_4 образуется *in situ.* Его продукция может быть связана с планктонными сообществами, которые способны мигрировать на значительные расстояния в течение суток. Дальнейшие исследования будут нацелены на установления закономерностей суточных изменений содержания CH_4 в воде, в том числе связи со структурой звукорассеивающих слоев.

Работа выполнена по теме ФИЦ ИнБЮМ «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№АААА-А18-118020890090-2).

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАРСКОГО МОРЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕДИЦИИ 2019 ГОДА

Новиков М.О., Ерёмина Т.Р.

Российский государственный гидрометеорологический университет, г.Санкт-Петербург

m_nowikov@rambler.ru

Ключевые слова: Карское море, натурные данные, биогенные элементы, речные плюмы.

В работе представлен анализ данных, полученных в ходе 4-го этапа экспедиции "Трансарктика-2019", а именно разрезов, выполненных на НИС "Профессор Мультановский" с 26 августа по 03 сентября в Карском море. Краткое описание результатов работы в ходе 1-го и 4-го этапов экспедиции представлено в [1].

В ходе работ в Карском море было выполнено 4 широтных разреза (77 °с.ш., 75 °с.ш.,72 °с.ш. и 71 °с.ш.), в которые вошли 44 станций и 3 станции вдоль пролива Карские ворота. Гидрохимические определения включали в себя анализ проб морской воды на содержание растворенного кислорода, активной реакции морской воды (pH) и общей щелочности, биогенных элементов(аммонийный азот, нитриты, нитраты, фосфаты, силикаты). Кроме того, проводились определения содержания нефтяных углеводородов, СПАВ, фенолов и $БПК_5$.

Отбор проб воды на гидрохимический анализ на океанографических станциях проводился судовым пробоотборным комплексом с батометрической кассетой из 12 батометров и гидрологическим зондом SBE911 на стандартных горизонтах для глубокого моря. Методы гидрохимических определений использовались стандартные и общепринятые при проведении морских исследований. Содержание растворенного кислорода и общая щелочность определялись титриметрическими методами, pH — потенциометрическими, содержание биогенных элементов - спектрофотометрическими методами. При обработке и визуализации данных использовался язык программирования Python.

Распределение растворённого кислорода на всех разрезах соответствует летнему периоду, когда поверхность моря была ещё свободна ото льда. Слой, насыщенный кислородом (100 - 110 %) из-за интенсивного вертикального перемешивания, составлял примерно 50 м. Максимальная концентрация кислорода составляла 9 мл/л и убывала с глубиной, где минимум кислорода составлял - 5 - 6 мл/л, что соответствует 60 - 70 % от концентрации насыщения.

Распределение фосфатов в толще воды в основном имело характер возрастания концентрации с глубиной. Максимальные концентрации минерального фосфора наблюдались в районе Новоземельского желоба от 0.9 до 1.4 мкмоль/л, что объясняется оседанием летнего детрита. В поверхностном перемешанном слое концентрация фосфатов фактически была равна нулю.

Распределение ниратного азота в водной толще было аналогично распределению минерального фосфора. Его максимальные концентрации в Новоземельском желобе составляли от 10.5 до 14.5 мкмоль/л.

Довольно интересно распределение растворённого кремния. На широтных разрезах сильные максимумы содержания этого биогенного элемента (40 - 22 мкмоль/л) соответствуют минимумам солёности, что говорит о распространении в районе исследования в это время Обско-Енисейских плюмов. Минимумы содержания кремния (0.1 - 2.0 мкмоль/л) находятся в промежуточных водах. В придонных водах его содержание вновь возрастает ввиду распада органического вещества.

Среди загрязняющих веществ повышенные значения фенолов (0.0012 мг/л) были отмечены на трёх станциях, относящихся к северной части исследуемого района, а на одной станции - относительно высокая величина концентрации нефтяных углеводородов (0.036 мг/л).

Проведённый анализ данных позволил распознать такие процессы, как транспорт речных плюмов и связанный с ними перенос химических веществ, в том числе загрязняющих. Для сравнения было бы интересно проанализировать данные на начало летнего сезона в исследуемом районе.

В заключение, следует сказать, что подобные измерения имеют огромную научно-практическую ценность и позволяют исследовать процессы, происходящие в столь важных акваториях, как Арктический бассейн и Карское море, в частности. Полученные данные могут быть использованы для верификации математических моделей для изучения биогеохимических процессов в эстуариях крупных сибирских рек.

Список литературы

1) Гангнус И.А., Добротина Е.Д., Вязигина Н.А., Чернявская Е.А., Жеуров К.В., Анисимова Е.В., Онищук М.В., Ханина К.Н., Карпов М.В., Татаренко Ю.А. Гидрохимические исследования арктических морей России в первом и четвёртом этапах экспедиции "ТРАНСАРКТИКА-2019" // Комплексные исследования природной среды Арктики и Антарктики. Тезисы докладов международной научной конференции. Санкт-Петербург, 02–04.03.2020. С. 240-243.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ «ФОНОВЫХ» КОНЦЕНТРАЦИЙ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПРИМЕРЕ АНАЛИЗА ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ДАННЫХ НА РАЗРЕЗЕ "КОЛЬСКИЙ МЕРИДИАН"

Пастухов И.А.[1], **Намятов А.А.**[1,2]

[1]*Мурманский Морской Биологический Институт Российской Академии Наук, г. Мурманск*
[2]*ООО «Фертоинг», г. Санкт-Петербург*

johawhich@gmail.com

Ключевые слова: гидрохимия, Баренцево море, методология.

Океанографический разрез «Кольский меридиан» имеет давнюю историю и характеризует в целом Баренцево море и происходящие в нем экологические процессы.

В апреле 2019 года проведены исследования некоторых гидрохимических параметров морских вод (фосфатного фосфора, нитратного азота и кремния) на океанографическом разрезе «Кольский Меридиан» с целью изучения продукционно-деструкционных процессов в весенний период. Сотрудниками ММБИ РАН в ходе экспедиции на НИС «Дальние Зеленцы» на 10 гидрохимических станциях отобраны 53 пробы воды. Пробы отбирались и обрабатывались с помощью стандартных гидрохимических методов [1].

В работе вводится понятие «фоновой» концентрации, выведенное на основе трехкомпонентной системы смешения водных масс [2,3]. Под «фоновой» понимается концентрация какого-либо элемента при условии, что его изменения связаны только с процессами смешения с другими водами, а также с трансформациями вод вызванными процессами ледообразования или ледотаяния. Разница (dP, dN и пр.) между «фоновой» концентрацией и измеренной дает представление о величине и направленности таких гидрохимических процессов как фотосинтез или минерализация органического вещества. Это значение не зависит от наличия или отсутствия ледовых явлений и от изменений исследуемого параметра за счет адвективных процессов. Это величина «неконсервативности» [4,5].

На распределение гидрохимических параметров в любое время года значительное влияние оказывает положение водных масс. Для Баренцева моря это особенно характерно, так как из-за сложного рельефа дна взаимодействие холодных арктических течений и теплых ветвей Нордкапского течения образует сложную гидрологическую структуру. В нашем исследовании удалось выделить несколько районов с характерными гидрологическими показателями:

- Мурманское прибрежное течение: самая южная станция разреза, на глубине 25-50 метров, характеризуется наименьшей соленостью и температурой около 4 °C;

- Мурманское течение: станция в районе 71° с.ш., в придонных слоях глубже 100 метров, температуры до 4,4 °C и соленость 34,7-34,8 епс;

- Центральная ветвь Нордкапского течения: станции в районе 74-75° с.ш., на глубине 25-50 метров, температура 2,5-2,8 °C, соленость 34,9 епс;

- «Прикромочная» область: станции в районе 76° с.ш., характеризуются взаимодействием холодных вод Центрального течении и теплых вод Центральной и Северной ветвей Нордкапского течений, температура не превышает 1,2 °C на поверхности, соленость выше 34,9 епс.

Построив и проанализировав графики распределения величины «неконсервативности» некоторых гидрохимических параметров на разрезе «Кольский меридиан», полученных в ходе экспедиции, были отмечены следующие особенности их распределения. В апреле 2019 г. еще не сформировались вертикальные градиенты температуры и солености. Как в поверхностном, так и в придонном слоях можно встретить как положительные, так и отрицательные значения dP, dN и

dSi. Распределение очагов потребления биогенных элементов носит мозаичный характер, что соответствует ранневесеннему характеру распределения. Максимальные объемы потребления нитратного азота наблюдались на северных станциях, вблизи кромки отступающего льда. На остальном пространстве разреза, южнее 74° с.ш, наблюдалось равномерное распределение положительных величин «неконсервативности», что характеризует эти воды как «зимние». Фосфор фосфатный потреблялся на всем разрезе в небольших количествах, за исключением придонного горизонта прибрежной станции. Вероятно, это связано с материковым стоком и опусканием органического вещества на дно, где уровень его потребления меньше уровня поступления. Кремний потреблялся из толщи воды на всем пространстве разреза без исключения, что, скорее всего, объясняется ростом популяции диатомовых водорослей, которые активно строят из него свой «панцирь». Максимальные изменения концентрации кремния отмечены в прибрежных водах Мурманского течения до +150 мкг/л, здесь же регистрируется максимальные изменения концентрации фосфора −14 мкг/л. На некоторых станциях в этом районе изменения концентрации азота также отрицательны −7.2 мкг/л. То же можно сказать и о прикромочных станциях. Азот - до − 80 мкг/л, кремний - до − 60 мкг/л и фосфор до − 5 мкг/л.

Данные полученные на разрезе «Кольский меридиан» в апреле 2019 года показывают, что гидрологическое лето еще не наступило, что подтверждается картиной распределения гидрохимических параметров и величиной «неконсервативности», рассчитанной для них. Благодаря исследованиям были зарегистрированы два очага «извлечения» биогенных элементов: в водах Мурманского прибрежного течения и в «прикромочных» областях на севере разреза, что может свидетельствовать о вспышках развития фитопланктона, являющиеся маркерами перехода к летнему типу распределения гидрохимических параметров. Вместе с тем, это подтверждает теорию о начале «цветения» фитопланктона в северных морях вблизи ледовой кромки.

Список литературы

1) Руководство по химическому анализу морских вод. Л.: Гидрометеоиздат, 1993. 263 с.
2) Bauch D., Dmitrenko I. Wegner C., Hölemann J. Kirillov S., Timokhov L., Kassens H. (2009), Exchange of Laptev Sea and Arctic Ocean halocline waters in response to atmospheric forcing, Journal of Geophysical Research, V. 114. C005008. doi:10.1029/2008JC005062.
3) Bauch, D., & Cherniavskaia, E. (2018). Water mass classification on a highly variable arctic shelf region: Origin of Laptev sea water masses and implications for the nutrient budget. Journal of Geophysical Research: Oceans, 123. https://doi.org/10.1002/2017JC013524.
4) Namyatov, A., Pastukhov, I., & Semeruk, I. (2020). Applying the δ18O Parameter for Evaluating of Organic Matter Production-destruction Processes in the Barents Sea. KnE Life Sciences, 5(1), 615–623. https://doi.org/10.18502/kls.v5i1.6137
5) Намятов А.А., Пастухов И.А., Семерюк И.А. Исследование изменчивости гидрохимического состава водных масс Баренцева моря с использованием изотопного трассера d18O.// Материалы Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование - MARESEDU 2019», ИО РАН, Москва, 2019 г.

ОСОБЕННОСТИ АБИОТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ Р. ПРЕГОЛЯ (БАЛТИЙСКОЕ МОРЕ) ПОСЛЕ ПРОВЕДЕННЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТ

Перевозчикова Д. П.[1], Полунина Ю.Ю.[1,2], Герб А. А.[2], Володина А.А.[2]

[1]Балтийский Федеральный Университет им. И. Канта, Калининград, Россия

[2] Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

darya20777@yandex.ru

Ключевые слова: река Преголя, температура, прозрачность воды, содержание биогенных элементов.

Река Преголя протекает с востока на запад практически через всю Калининградскую область, впадая в Вислинский залив Балтийского моря. В устьевой области расположен г. Калининград с населением почти 500 тыс., портами, крупными предприятиями и пр. и антропогенная нагрузка на этот участок реки очень мощная. Для этой области реки характерны сгонно-нагонные явления, и осолоненная вода из залива и канала может проходить вверх по реке на десятки километров. В период 2014-2018 гг. произошла значительная техногенная трансформация русел рукавов Старая и Новая Преголя, которая привела к существенным изменениям конфигурации дна и изменению состава выстилающего его грунта, сведению водной и прибрежной растительности, отсыпке и бетонированию берегов и пр. Такие изменения могли повлиять как на динамику, так и на отдельные физико-химические показатели вод реки. Цель работы - анализ гидрологических и гидрохимических показателей вод реки после проведенной трансформации русла реки.

Отбор проб проводили в устьевой области р. Преголи (протяженность 17 км от устья) на 10 разрезах (20 станций), расположенных в рукавах Старая и Новая Преголя, на участке после слияния рукавов (УПСР) и в устье. На этих участках были проведены измерения прозрачности (диском Секки, м), температуры (водным термометром, °С), солености (зондом Idronaut 316, епс) вод 25-26 июня и 19 августа 2019 года. Концентрации растворенных форм азота (аммонийный, нитратный, нитритный) и фосфора (общий, в который складывался из минерального и органического) определялись физико-химическим методом - колориметром фотоэлектрическим КФК-3 в июле и методом капилярного электрофореза КАПЕЛЬ-105М в августе 2019 года.

Температура воды в июне в поверхностном слое составляла 24,5-26,0 °С, в придонном слое - 20,1-24,0°С. В августе температура воды была ниже: в поверхностном слое - 20,9-22,0 °С, в придонном - 20,0-21,0 °С. Прозрачность воды в июне составляла 1,0-1,8 м, в августе - 1,6-3,0 м. Прозрачность увеличивалась в направлении от устья к Старой Преголе. В среднем она имела значение 1,4±0,2 м в июле и 2,1±0,3 м в августе. Более низкая прозрачность в июне была обусловлена развитием микроводорослей в этот период, и средняя биомасса фитопланктона в Старой Преголе достигала 1,65±0,01 г/м^3 [1]. Значения прозрачности превышали среднемноголетние величины за период 1994-2005 гг. [2].

Максимальные показатели солености были отмечены в июне в устье и на УПСР - 5,6 епс, а в августе - 3,9 епс. Повышение солености до 4 епс на данном участке реки было отмечено и в предыдущие годы исследований (1994-2005 г.) в результате нагона морских вод [2]. В летний период (июль) 2015 года [3] соленость составила 2,2 епс и увеличивалась к устью реки до 4,3 епс, которая характерна для вод залива. Нагонные явления обычно возникают при западных ветрах и особенно значимы в осенний период, хотя могут происходить и в летние месяцы, что, вероятно, наблюдали и в июне 2019 г., поскольку соленость в рукавах у дна на некоторых станциях превышала 1 епс.

В июне и августе 2019 г. концентрации биогенных элементов составляли: аммонийный азот - 0,06±0,01 и 0,46±0,09 мг/дм^3, азот нитритный - 0,04±0,02 и 0,09±0,02 мг/дм^3, азот нитратный -

0,34±0,12 и 0,25±0,09 мг/дм^3 и растворенный фосфор - 0,06±0,03 и 0,16±0,03 мг/дм^3, соответственно, что указывает на высокий трофический статус водоема. Летом содержание аммонийного азота в устьевой области р. Преголя поднималось до 0,12 мг/дм^3 и наблюдалось превышение ПДК по иону аммония и нитрит-ионам (среднемноголетние данные 2013-2019 гг.) [4]. Было выявлено уменьшение содержания азота нитратного и нитритного (на 0,49 и на 0,02 мг/дм^3) в период исследования, по сравнению с летним периодом (июль) 2016 года [5].

В целом, по средним летним данным (2013-2018 гг.) эти показатели были выше [4], чем в нашем исследовании 2019 г. Снижение биогенной нагрузки может быть связано с прекращением работ в рукавах реки и началом стабилизации экосистемы.

Таким образом, выявлены некоторые изменения абиотических параметров среды после проведения техногенной трансформации русла реки Преголя: показатели общей солености в июне 2019 г. превышали средние значения до трансформации русла реки, что может быть обусловлено нагоном вод в реку из залива и канала в этот период. Отмечена низкая прозрачность вод реки в июне, вероятно, обусловленная массовым развитием микроводорослей, вызванным высокими значениями температуры воды. Концентрация растворенных форм азота и фосфора в воде летом 2019 г. не превышала среднелетние показатели 2013-2019 гг., что на наш взгляд связано с прекращением масштабных работ в русле и береговой зоне рукавов реки и началом стабилизации экосистемы после антропогенного воздействия.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Калининградской области в рамках научного проекта № 19-45-390006 «Изменения биоценозов устьевой области реки бесприливного внутреннего моря в результате техногенной трансформации берегов».

Список литературы

1) Полунина Ю. Ю., Герб М. А., Ланге Е. К., Володина А. А., Ежова Е.Е, Кочешкова О.В. Предварительные результаты гидробиологических исследований нижнего течения р. Преголи после техногенной трансформации русла //Региональная экология. 2019. № 3 (57). С. 91-101.

2) Чубаренко Б.В. Зонирование Калининградского залива и устьевого участка реки Преголи по показателям гидролого-экологического состояния в целях оптимизации мониторинга / Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов российских морей Северо-Европейского бассейна (проект подпрограммы «Исследование природы Мирового океана» федеральной целевой программы «Мировой океан»). Апатиты, КНЦ РАН, 2007, вып. 2. С. 591–602.

3) Лукашин В. Н., Кречик В.А., Клювиткин А. А. Геохимия взвешенного вещества в маргинальном фильтре реки Преголи (Балтийское море) //Океанология. – 2018 – Т. 58 – №. 6 – С. 933-947.

4) Эйдельман Я. В., Королева Ю. В., Голубева Ю. В. Комплексная оценка загрязнения реки Преголи и акватории Калининградского залива //Международный научно-исследовательский журнал. – 2020. – №. 6-2 (96).

5) Кривенко В. В. Исследование и анализ геоэкологического состояния реки Преголи в городе Калининград //Столица Науки. – 2019. – №. 6. – С. 226-233.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ КАРБОНАТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТНОГО И ПРИДОННОГО СЛОЯ КАРСКОГО МОРЯ

Пронина Ю.О., Полухин А.А.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

jpronina2013@yandex.ru

Ключевые слова: карбонатная система, гидрохимия, асидификация, Карское море.

Карское море является шельфовым арктическим морем. Основным фактором, определяющим структуру его вод, является поступающий материковый сток, который составляет порядка 40% от всего речного стока в Арктику [1]. Последние работы показывают, насколько гидрохимическая структура поверхностного слоя Карского моря может быть изменчива из-за влияния плюма, формируемого ежегодно речным стоком Оби и Енисея [2]. Неорганические соединения углерода находятся в океане в виде угольной кислоты и ее производных, связаны между собой сложными равновесными процессами - все вместе они объединяются в карбонатную систему океана (КС). Увеличение концентрации ионов водорода (асидификация) в морской воде происходит вследствие смещения равновесий в её карбонатной системе. Параметры КС зависят от множества факторов: температуры, концентрации CO_2 в атмосфере, объема материкового стока и других [3]. Акватория Северного Ледовитого океана наиболее всего подвержена влиянию глобальных климатических изменений [4]. Рост содержания диоксида углерода в атмосфере и, как следствие, в морской воде, приводит к снижению значений водородного показателя pH, что в свою очередь повышает растворимость карбоната кальция и может привести к снижению уровня насыщения вод арагонитом Ω_{Ar} [3].

Основной задачей данного исследования является анализ многолетней среднегодовой изменчивости и выявление долгопериодных трендов карбонатных параметров поверхностного и придонного слоев Карского моря. В работе использовались архивные и современные натурные данные ИО РАН (температура T, соленость, pH (шкала NBS) и общая щелочность Alk) за период с 1929 г. по 2016 г. Расчет уровня насыщения арагонитом Ω_{Ar} выполнен в программе CO2SYS. Для оценки влияния речного стока акватория Карского моря была разделена на две зоны - зону существенного влияния речного стока (соленость на поверхности от 28 до 13 епс) и зону отсутствия или минимального влияния речного стока (соленость на поверхности более 28 епс). Все пробы отбирались с июля по октябрь. Анализ данных выполнен с помощью программы Grapher13.

За рассмотренный интервал времени среднегодовые значения температуры поверхностных вод Карского моря (горизонт до 25 м) в морской части выросли на 4,05 °C, в зоне влияния речного стока - на 2,15 °C. Среднегодовые значения общей щелочности Alk вод, находящихся под влиянием речного стока, выросли на 6,8 %, тогда как в зоне морских вод статистически значимой динамики не наблюдается. Значения pH в морской части акватории снизились на 0,20 ед., в зоне влияния речного стока на 0,21 ед. При этом насыщение арагонитом Ω_{Ar} поверхностных вод в морской части снизилось на 0,38 ед. (23 %), в зоне влияния стока на 0,36 ед. - 28%.

Рост среднегодовых значений температуры в придонном слое Карского моря в морской части акватории (средний горизонт 259 м) составил 0,56 °C , в зоне влияния речного стока (средний горизонт 100 м) - 0,61 °C. Как и в случае с поверхностным слоем, в придонном рост среднегодовых значений Alk был отмечен только в областях влияния речного стока и составил 3,4%. Значения pH в придонном слое в морской части снизились примерно на 0,08 ед., в зоне влияния речного стока на 0,10 ед. Снижение среднегодовых значений Ω_{Ar} придонных вод в морской части акватории составило 0,13 ед. (11,8 %), в зоне влияния речного стока - 0,12 ед. (10,7 %).

Результаты исследования показали, что по сравнению с поверхностным слоем акватории Карского моря, рост средних значений температур в придонном слое наблюдается, однако, он значительно меньше. Вероятно, это связано с летней стратификацией, наиболее выраженной на боль-

ших глубинах морской части акватории, тогда как в среднем более мелководная опресненная часть моря лучше перемешивается. Рост общей щелочности в зоне опреснения для поверхностного и придонного слоев, на фоне отсутствия значимой динамики для морских вод, может быть связан с наблюдаемым ростом объемов стока рек Обь и Енисей [1], а также с ростом карбонатной составляющей щелочности этих рек [5].

В обоих слоях отмечается существенное снижение средних значений как водородного показателя pH, так и насыщения вод арагонитом Ω_{Ar}. Придонный слой Карского моря, по сравнению с поверхностным, характеризуется более низкими средними значениями pH - 7,99 и 7,97 ед. и Ω_{Ar} - 1,03 и 0,99 соответственно для морской и опресненной областей, тогда как для поверхностного слоя средние значения pH составляют 8,14 и 8,08 ед., Ω_{Ar} - 1,42 и 1,01. Интенсификация процесса асидификации в поверхностном слое акватории Карского моря вызывает больше опасений. По сравнению с придонным слоем снижение средних значений pH в поверхностном слое Карского моря происходит быстрее (в 2,5 раза быстрее в морской части его акватории, в зоне опреснения в 2,1 раза быстрее). Насыщение поверхностных вод арагонитом (по сравнению с придонными водами) снижается в 2,9 раза быстрее в морской части акватории и в 3 раза быстрее в зоне влияния речного стока.

Гидрохимическая структура вод Карского моря характеризуется значительной пространственной и временной изменчивостью. Речной сток является одним из основных факторов асидификации акватории Карского моря [6]. При этом снижение значений водородного показателя pH и насыщения вод арагонитом в поверхностном слое акватории наблюдается как в зоне влияния речного тока, так и вне ее. Можно предположить, что в отличии от поверхностного слоя асидификация придонного слоя обусловлена усилением деструкционных процессов (в том числе на фоне наблюдаемого роста средних значений температуры водных масс).

Работа выполнена в рамках госзадания ИОРАН (тема №0149-2019-0008), при поддержке РНФ (проект № 19-17-00196) и гранта Президента Российской Федерации № МК-860.2020.5.

Список литературы

1) Полухин А.А., Маккавеев П.Н. Особенности распространения материкового стока по акватории Карского моря / Океанология. 2017. Т.57. №1. С. 25–37.

2) Полухин А.А. Динамика гидрохимических характеристик поверхностного распресненного слоя Карского моря в августе-сентябре 2014 года // Экосистема Карского моря – новые данные экспедиционных исследований. – М.: АПР, 2015. – 320 с. – С. 58–61.

3) Алекин О.А., Ляхин Ю.И. Химия океана. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 343 с.

4) Richter-Menge, J., M. L. Druckenmiller, and M. Jeffries, Eds., 2019: Arctic Report Card 2019, https://www.arctic.noaa.gov/Report-Card.

5) Пронина Ю. О., Полухин А. А. Многолетняя изменчивость химических параметров речного стока Оби и Енисея //Комплексные исследования Мирового океана. – 2020. – С. 393-394.

6) Polukhin A. The role of river runoff in the Kara Sea surface layer acidification and carbonate system changes //Environmental Research Letters. – 2019. – Т. 14. – №. 10. – С. 105007.

ВЛИЯНИЕ СТОКА РЕКИ ЛЕНА НА ГИДРОХИМИЧЕСКУЮ СТРУКТУРУ ВОД ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ В ЛЕТНИЙ СЕЗОН В 2019 ГОДУ

Рогожин В.С.[1], **Полухин А.А.**[2], **Якушев Е.В.**[2,3], **Семилетов И.П.** [4,5]

[1] *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва*

[2] *Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

[3] *Норвежский институт водных исследований (NIVA), г. Осло, Норвегия*

[4] *Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток*

[5] *Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск*

xp70851@gmail.com

Ключевые слова: Арктика, море Лаптевых, материковый сток, гидрохимия.

Море Лаптевых - одно из окраинных морей, относящееся к бассейну Северного Ледовитого океана. Ежегодные поступления речных вод в море Лаптевых составляют 745 км^3, большая часть которых приходится на сток реки Лена - 525 км^3 [1]. Особенность материкового стока реки Лена - повышенная концентрация растворенных соединений кремния, в 3 раза превышающая концентрации в водах других сибирских рек, например Оби и Енисея [2]. Многолетние изменения объема стока реки Лена играют значительную роль в изменчивости масштаба распространения пресноводных линз в море Лаптевых. Процессы трансформации химического стока, которые протекают в придельтовой области р. Лена, оказывают влияние на гидрологическую и гидрохимическую структуру вод на шельфе и континентальном склоне моря Лаптевых, в том числе, благодаря переносу больших по площади линз опресненной воды. Влияние речного стока в работе рассматривается для акватории от устья Лены до континентального склона моря Лаптевых.

В исследовании были использованы данные, полученные в ходе экспедиций ИО РАН [3] и совместной экспедиции ТПУ и ТОИ ДВО РАН в 2019 году. Определения гидрохимических параметров проводились стандартными методами [4]. Расчёт доли пресных вод выполнялся при помощи уравнения 0,99×e(-0.08×S)-0.001×S, где S - соленость в точке измерения. Данное уравнение позволяет оценить вклад речных вод в формирование поверхностного слоя. Расчёт удельной щелочности (УЩ) производился как отношение щелочности к солёности. Гидрологические и гидрохимические данные по реке Лена были получены из открытых данных проекта Arctic Great Rivers Observatory (https://arcticgreatrivers.org/).

Гидрохимическая структура вод моря Лаптевых в момент проведения исследований отражала влияние речного стока. Максимальные значения растворённых соединений кремния наблюдались в придельтовой части разреза, достигая показателей свыше 30 μМ/л, что в целом совпадает со значениями данного показателя в 2015 году и больше, чем в 2017. При движении от придельтовой области на север наблюдалось постепенное уменьшение вертикального градиента концентрации кремния до 250 километров от устья. Далее к северу на глубинах 20-35 метров был заметен «язык» пониженного содержания соединений кремния. Его верхняя граница совпадает с нижней границей зоны распреснения вод моря Лаптевых материковым стоком. Концентрация растворенных соединений кремния может служить показателем, определяющим границу влияния речных вод. Основываясь на литературных данных, границу проводят по изолинии 10μМ/л [5]. На рассматриваемом разрезе изолиния 10 μМ/л в целом определяет границу опреснения на глубинах 20-25 метров.

Расчет доли пресных вод, проведённый на основе данных о солёности в 2019 году, показал, что максимальные значения наблюдались вблизи дельты реки Лена и составили 30-35 %. При движении на север доля речной воды значительно снижалась, оставаясь на уровне в 10% только в приповерхностном слое 5-10 метров. Проводя сравнение с аналогичными расчётами, выполненными для разрезов 2015 и 2017 годов, стоит отметить, что доля пресных вод снизилась. Возможно,

это связано с тем, что поступление материкового стока в 2019 году являлось самым низким за исследуемый период.

При рассмотрении распределения УЩ, служащей трассером речных вод [6], стоит отметить заглубление границы в 0,07 ед. В 2019 году данная граница находилась на глубинах от 20 до 40 метров, что является нетипичным показателем для данной акватории. Как правило, граница влияния материкового стока, выделяемая по УЩ, располагается на глубинах 15-20 метров, что и наблюдалось на разрезах, выполненных ранее. Возможно, что это связано с повышением поступления карбонатных соединений, что заметно по увеличению значений карбонатной щелочности в Ленских водах.

Работа выполнена в рамках госзадания ИОРАН (тема №0149-2019-0008), при поддержке РНФ (проект № 19-17-00196) и гранта Президента Российской Федерации № МК-860.2020.5.

Список литературы

1) Gordeev V.V., Martin J.M., Sidorov I.S., Sidorova M.V. Assessment of the Eurasian river input of water, sediment, major elements, and nutrients to the Arctic Ocean // American Journal of Science, Vol. 296, June, 1996. P. 664–691

2) Cauwet G., Sidorov I. The biogeochemistry of Lena River: organic carbon and nutrients distribution // Mar.Chem. V. 53, 1996. P. 211–227.

3) Маккавеев П. Н. и др. Динамика биогенных элементов в приустьевом районе реки Лены: результаты экспедиций в сентябре 2015 и 2017 гг //Арктика: экология и экономика. – 2018. – №. 2. – С. 30.

4) Современные методы гидрохимических исследований океана // Ред. Бордовский, Иваненков. Ин-т океанологии им. П. П. Ширшова. — М.: ИОРАН, 1992. 199 с.

5) Русанов В.П. Гидрохимическая характеристика поверхностных вод Арктического бассейна. // Биология Центрального Арктического бассейна. М.: Наука, 1980. С.15–35.

6) Смирнов А.А. Проникновение речных вод в Карское море и море Лаптевых //Труды Арктического Научно-исследовательского института. Л.: Морской транспорт, 1955. Т. 72, Вып. 2. С. 92–104.

КАЖУЩЕЕСЯ ПОТРЕБЛЕНИЕ КИСЛОРОДА В ГЛУБОКОВОДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ БУЕВ БИО-АРГО

Свищев С.В.

ФГБУН ФИЦ МГИ РАН, г. Севастополь, Россия

sergsvishchev09@gmail.com

Ключевые слова: кажущееся потребление кислорода, AOU, буи Био-Арго, Черное море.

Одним из наиболее важных гидрохимических показателей является содержание растворенного в воде кислорода. Образование первичной продукции в процессе фотосинтеза сопровождается выделением кислорода, при обратном процессе - деструкции органического вещества - кислород, напротив, поглощается. Однако концентрация кислорода, измеренная in situ, не может быть использована в качестве меры продукционно-деструкционных процессов в виду разной растворимости газа в зависимости от гидрологических параметров (температуры и солености) водных масс.

С середины двадцатого века для оценки деструкции органического вещества и дыхания стал применяться такой параметр, как «кажущееся потребление кислорода», обычно обозначаемый AOU (apparent oxygen utilization). Кажущееся потребление кислорода - это разница между концентрацией кислорода в состоянии равновесия с атмосферой при температуре и солености in situ и фактической измеренной концентрацией кислорода [1]. При AOU = 0 содержание кислорода в водной массе такое же, какое было бы на поверхности при тех же температуре и солености. Если AOU < 0, содержание кислорода больше, чем в водах, находящихся в равновесии с атмосферой. Подобного рода избыток кислорода связывают с преобладанием продукционных процессов над деструкционными. Когда в водной массе AOU > 0, то, напротив, деструкционные процессы преобладают над продукционными, в результате чего исчерпывание кислорода протекает быстрее, чем его выделение [2].

Целью данной работы является оценка химико-биологических составляющих бюджета растворенного кислорода в глубоководной части Черного моря. Информация о кажущемся потреблении кислорода, наряду с содержанием хлорофилла, дает возможность оценить как внутренние источники килорода (фотосинтетические продукционные процессы), так и стоки (окисление органического вещества и дыхание биоты).

Сезонная и межгодовая изменчивость содержания хлорофилла и кажущегося потребления кислорода (AOU) в глубоководной части Черного моря оценена с высоким вертикальным разрешением (1 метр) по данным измерений буев Био-Арго за 2011-2020 гг. [3]. Построены вертикальные профили значений кажущегося потребления кислорода и концентрации хлорофилла в глубоководной части Черного моря по горизонтам условной плотности и горизонтам глубины.

Первичный анализ показал высокую вариабельность параметра AOU, в зависимости от горизонтов глубины и условной плотности принимающего значение от -140 μM (в верхнем квазиоднородном слое) до 320 μM (в глубоководном слое вод ниже оксиклина). Причем имеются два кластера наблюдаемых значений по наибольшей распространенности, каждый из которых составляет порядка 15-20 % от общего числа наблюдений.

Первый кластер характеризуется пространственно-временной стабильностью и значениями AOU порядка $150 \ldots 320$ μM. Он отвечает глубоководному слою вод (изопикны ниже 15.4 или глубины ниже 70 м) с низким содержанием растворенного кислорода и отсутствием продукционных процессов. Концентрации хлорофилла здесь закономерно малы (не превышают 0.1 мг/м^3), источником его служат вышележащие слои вод.

Второй кластер характеризуется значительной изменчивостью как сезонной, так и пространственной, а также малыми значениями AOU порядка $15 \ldots 60$ μM. Помимо этого, следует выделить непостоянный сезонно наблюдаемый кластер отрицательных значений AOU, отвечающий зонам активного фотосинтеза, где продукционные процессы доминируют.

Верхнему слою вод (глубины выше 30 м) с высоким сезонно изменяющимся содержанием растворенного кислорода и динамическим режимом продукционных и деструкционных процессов отвечают: в течение всего года второй кластер (деструкционные процессы расщепления органического вещества) и в июне-сентябре кластер отрицательных AOU. Именно с данным слоем связаны высокие значения хлорофилла (в среднем около 0.25 - 0.6 мг/м^3).

Профиль корреляции между концентрацией хлорофилла и кажущимся потреблением кислорода на разных горизонтах глубины показывает, что в зимний период (февраль) наибольшая положительная связь между этими параметрами наблюдается на глубинах 28-30 м, а отрицательная - глубже 43 м.

Профиль корреляции между концентрацией хлорофилла и кажущимся потреблением кислорода на различных изопикнических поверхностях показывает характерные вертикальные изменения, общие как для теплого сезона (август), так и для холодного (февраль). От приповерхностного горизонта (с различной плотностью в зависимости от сезона) антикорреляция увеличивается до локального максимума, а затем обратная зависимость уменьшается вплоть до изопикнической поверхности 15.0 достигая отсутствия корреляции (зимой) или значимой корреляции (летом).

Исследование межгодовой изменчивости концентрации кислорода выполнено при поддержке госзадания 0555-2019-0001 (шифр «Перспективные методы»), анализ качества контактных измерений буев Био-Арго выполнен при поддержке гранта РНФ 19-77-00029.

Список литературы

1) Redfield A.C., Ketchum B.H., Richards F.A. The influence of organisms on the composition of seawater / The Sea / M.N. Hill (ed). – NY: Intersc., 1963.– 2.– P.26-77.

2) Libes S. Introduction to Marine Biogeochemistry. 2nd edition. – San Diego: Academic Press, 2009.– 909 p.

3) Архив Ifremer (Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer): [site]. URL: ftp://ftp.ifremer.fr

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ВОД НА ТРАНСАТЛАНТИЧЕСКИХ РАЗРЕЗАХ В 2019-2020 ГГ.

Селиверстова А.М., Полухин А.А., Чульцова А.Л.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

201219941315ann@gmail.com

Ключевые слова: Атлантический океан, гидрохимия, биогенные элементы.

Отличительными особенностями Атлантического океана, формирующими его современный облик, являются: высокая средняя соленость (35,4‰), наличие нескольких стационарных апвеллингов (Канарский, Бенгельский, Гвинейский), влияние пустынных и полупустынных районов Африки, сток крупнейших рек Южной Америки (Амазонка, Парана, Ориноко). Основная цель настоящего исследования - изучение реального распределения и пространственной изменчивости основных гидрохимических параметров в поверхностном слое вод Атлантического океана от северного до южного субтропического пояса.

С 30 ноября 2019 года по 08 мая 2020 года состоялся 79 рейс на НИС «Академик Мстислав Келдыш», целью экспедиции являлось комплексное изучение экосистемы южного сектора Атлантического океана [1]. Гидрохимические исследования поверхностного слоя на трансатлантических разрезах велись с 13 декабря 2019 г. (от 33° с.ш. 13° в.д.) по 05 января 2020 г. (до 33° ю.ш. 49° в.д.) и с 24 марта 2020 г. (от 34° ю.ш. 53° з.д.) по 24 апреля 2020 г. (до 25° с.ш. 19° з.д.). Для удобства, в настоящей работе данные разрезы названы «Первый» и «Второй», соответственно. Поверхностные пробы воды для измерения гидрохимических параметров отбирались из проточного комплекса, установленного на судне (глубина отбора $\sim$ 6 м) каждые шесть часов и в ходе гидрологических станций пятилитровыми пластиковыми батометрами комплекса ROSETTE. Отбор проб и определение гидрохимических параметров проводилось по стандартным методикам, принятым в отечественной практике [2]. Велось определение таких параметров, как pH, общая титруемая щелочность, кремний, фосфор и нитритный азот.

В распределении pH четко прослеживается широтная закономерность. Области северного и южного тропических районов, а также район экватора отличаются пониженным pH. Для первого разреза низкие значения pH (7,93-7,95 ед.) и высокие - щелочности (2,534 мг-экв/л) - отмечены в районе 20-23° с.ш., в области поднятия глубинных вод Канарского апвеллинга. Несмотря на тенденцию щелочности к увеличению с севера на юг в Атлантическом океане [3] (по нашим данным от 2,485 мг-экв/л в районе 33° с.ш. до 2,5 мг-экв/л у 25° ю.ш.), в области влияния стока р. Парана (30-33° ю.ш.) значения ее снижаются до 2,44 мг-экв/л. Во время работ на втором разрезе влияние Канарского апвеллинга на величины pH и общей щелочности практически не наблюдается, однако у залива Ла-Плата ярко выделяются три станции, расположенные в области влияния стока р. Парана: водородный показатель здесь равен 8,00-8,07 ед., а значения общей титруемой щелочности падают до 1,981-2,066 мг-экв/л.

На обоих разрезах от 35° с.ш. до 35° ю.ш. наблюдаются крайне низкие значения фосфатов и нитритов (около аналитического нуля), что соответствует литературным данным [4]. Однако следует отметить повышение содержание растворенного фосфора и нитритов во время работ на первом разрезе в районе 20-23° с.ш. (0,09-0,16 μM и 0,11-0,31 μM, соответственно), что связано с влиянием Канарского апвеллинга и выносом глубинных, обогащенных биогенными элементами, вод [5]. Для второго разреза влияние Канарского апвеллинга на фосфаты не выявлено, но, как и для величины общей титруемой щелочности, заметно повышение до 0,45-0,53 μM на трех станциях, расположенных у залива Ла-Плата.

Среднее содержание кремния на первом разрезе - 0,86 μM. Выделяются две области повышенного его содержания: до 1,3-1,6 μM в районе 33° ю.ш., что обуславливается выносом вод р.

Парана (подтверждается падением солености на этом участке) и до 1,3-1,4 μM в районе 5-10° с.ш., что может быть объяснено влиянием выноса аэрозолей из пустынных и полупустынных районов Африки северо-восточными пассатами [5, 6]. Для второго разреза среднее содержание кремния было 0,70 μM, однако выделяется скачок до 9,94 μM в районе 35° ю.ш., обусловленное влиянием речного стока.

Можно сделать вывод, что наблюдавшиеся значения исследованных параметров соответствуют среднеклиматическим характеристикам для акватории Атлантического океана [4].

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОРАН №0128-2019-0008.

Список литературы

1) Морозов Е.Г., Спиридонов В.А., Молодцова Т.Н., Фрей Д.И., Демидова Т.А., Флинт М.В. Исследования экосистемы атлантического сектора Антарктики (79-й рейс научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш») // Океанология. 2020. Т. 60. № 5. С. 823-825.

2) Бордовский О. К., Чернякова А. М. Современные методы гидрохимических исследований океана //М.: ИО РАН, 1992. – 200 с.

3) Булатов Р. П. Атлантический океан. – Мысль, 1977. – 296 с.

4) Степанов В. Н. Мировой океан: динамика и свойства вод. – Знание, 1974. – 256 с.

5) Духова Л. А. и др. Комплексные исследования пелагической экосистемы у побережья западной Африки на СТМ “Атлантида” в июле августе 2007 г //Океанология. – 2008. – Т. 48. – №. 3. – С. 484-487.

6) Jickells T. D. et al. Global iron connections between desert dust, ocean biogeochemistry, and climate //science. – 2005. – Т. 308. – №. 5718. – С. 67-71.

ИЗОТОПНЫЙ И ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ ОТКЛИК РАЗГРУЗКИ ГРУНТОВЫХ ВОД В ЭСТУАРИИ РЕКИ РАЗДОЛЬНОЙ (АМУРСКИЙ ЗАЛИВ) В ПЕРИОД ЗИМНЕЙ МЕЖЕНИ

Семкин П.Ю., Анисимова Е.В., Барабанщиков Ю.А., Михайлик Т.А., Тищенко П.П.

ФГБУН Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток

pahno@list.ru

Ключевые слова: эстуарий, разгрузка грунтовых вод, радионуклиды: Ra-223, Ra-224, Ra-226, Ra-228, стабильные изотопы δO-18 и δD.

Разгрузка субмаринных грунтовых вод (СГВ) в прибрежных акваториях подразумевает сброс пресных вод суши и сброс рециркулируемой морской воды [1], существующей в виде клина соленых вод повсеместно в прибрежных водоносных горизонтах [6]. Поэтому, наряду с эстуариями в их классичском понимании обсуждаются также и подземные эстуарии [4], в которых морские и пресные грунтовые воды, принципиально различные по химическому составу, взаимодействуют между собой. Актуальность исследований разгрузки СГВ связана в основном с возникновением специфических экологических ситуаций, таких как температурные аномалии, избыточные потоки биогенных, органических и загрязняющих веществ [5], гипоксия придонных вод [2] и красные приливы [3].

Трансграничная река Раздольная (Китай - Приморский край РФ) впадает в северную часть Амурского залива, который является заливом второго порядка залива Петра Великого, расположенного в северо-западной части Японского моря. Средний расход реки за многолетний период составляет 70.6 м^3/с. В водном режиме р. Раздольной выделяется устойчивая зимняя межень со среднемесячным расходом реки в январе и феврале - 2-3 м^3/с, и абсолютным наименьшим расходом в феврале - 0.3 м^3/с. Весеннее половодье наблюдается в мае. Абсолютные максимумы расхода в период паводков летом и осенью в отдельные годы превышают 2000 м^3/с. В период ледостава с конца ноября по начало апреля в эстуарии р. Раздольной устанавливается режим проникновения клина осолоненных вод на расстояние до 28 км от устьевого бара. При этом соленость воды в Амурском заливе составляет около 34‰, а выше мелководного лимана - не более 26‰.

С 10 по 13 февраля 2020 г. были отобраны пробы воды с придонного и поверхностного горизонтов на протяжении эстуария. В пробах воды проведены измерения растворенных изотопов радия с использованием системы задержанных совпадений (RaDeCC). Стабильные изотопы воды анализировали на лазерном анализаторе Picarro L2130-i (Picarro Inc., USA) с использованием стандарта VSMOW-2. Биогенные вещества в неорганической форме определяли по стандартной методике. Соленость измеряли на солемере Guildline Autosal 8400B (Guildline Instruments, USA). Концентрации макрокомпонентов определяли на хроматографе LC-20A (Shimadzu, Japan). Для получения профилей температуры, солености, мутности, освещенности и кислорода на каждой станции использовали профилограф SBE 19 plus (Sea-bird Electronics, USA) и оптический датчик кислорода ARO2-Infinity (JFE Advantech Co., Ltd., Japan). В районе разгрузки СГВ измеряли течение с использованием электромагнитных измерителей (INFINITY JFE Advantech Co., Ltd., Japan) в составе заякоренной автономной станции. Внутрисезонная изменчивость температуры придонного слоя воды в районе разгрузки СГВ получена с помощью автономной донной станции Water Quality Monitor (WQM) (Wet-Labs, USA).

Разгрузка СГВ в эстуарии р. Раздольной обнаружена на основании “квартета радия” и положительной температурной аномалии в вершине эстуария. Активность радионуклидов в зоне СГВ составляет: ^{224}Ra - 66.32±0.60 dpm 100L^{-1}, ^{223}Ra, - 2.85±0.17 dpm 100L^{-1}, ^{226}Ra - 61.12±2.69 dpm 100L^{-1}, ^{228}Ra - 159.15±0.13 dpm 100L^{-1}. Согласно модельному расчету “возраста” радия на основании соотношения ^{224}Ra / ^{223}Ra, трансформированные грунтовые воды с соленостью ∼25‰ распространяются в направлении приемного бассейна и преодолевают расстояние 15 км по руслу

эстуария за период менее 8 суток. Измеренные течения в районе СГВ подтверждают существование избыточного потока осолоненных вод в приемный бассейн. Температура грунтовых и речных вод была соответственно +4.3 и +0.09°C, морских вод минус 1.2°C, при этом температура в придонном слое вод в районе СГВ повышалась до +1.2°C. По данным заякоренной автономной станции, установленной в районе влияния СГВ, температура клина осолоненных вод в период ледостава достигает 2.5°C. Состав стабильных изотопов δ^{18}O и δD и макрокомпонентов в зоне разгрузки определяется соотношением доли морских и речных вод. Поэтому, в качестве основной причины разгрузки СГВ рассматривается проникновение морской рециркулируемой воды в верхний водоносный горизонт в период зимней межени и последующая разгрузка этих вод в наиболее глубоком плёсе эстуария. Установлено, что насыщение вод кислородом имеет отрицательную корреляцию с короткоживущим радионуклидом ^{224}Ra, что указывает на участие потока СГВ в формировании кислородного режима вод в эстуарии реки Раздольной в период ледостава. В районе разгрузки СГВ отмечено повышение соотношения DIN/DIP и понижение соотношения DISi/DIN.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации (проект МК-153.2020.5).

Список литературы

1) Burnett W.C., Aggarwal P.K., Aureli A. et al. Quantifying submarine groundwater discharge in the coastal zone via multiple methods // Science of The Total Environment V. 367(2–3). 2006. P. 498-543

2) Guo X., Xu B., Burnett W.C. et al. Does submarine groundwater discharge contribute to summer hypoxia in the Changjiang (Yangtze) River Estuary? // Science of The Total Environment V. 719. 2020

3) Luo X., Jiao J.J. Submarine groundwater discharge and nutrient loadings in Tolo Harbor, Hong Kong using multiple geotracer-based models, and their implications of red tide outbreaks // Water Research V. 102. 2016. P. 11-31

4) Moore W.S. The subterranean estuary: a reaction zone of ground water and sea water // Marine Chemistry V. 65(1–2). 1999. P. 111-125

5) Wang X., Baskaran M., Su K., Du J. The important role of submarine groundwater discharge (SGD) to derive nutrient fluxes into River dominated Ocean Margins – The East China Sea // Marine Chemistry V. 204. 2018. P. 121-132

6) Werner A.D., Bakker M., Post V. et al. Seawater intrusion processes, investigation and management: Recent advances and future challenges // Advances in Water Resources V. 51. 2013. P. 3-26

СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ

Степанова С.В., Полухин А.А.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

s.stepanova87@gmail.com

Ключевые слова: гидрохимия, сезонная изменчивость, Карское море.

При изучении изменчивости структуры вод Мирового океана важно разделять изменения, связанные с природными процессами от тех, которые происходят в виду антропогенной нагрузки на экосистемы. Для этого необходимо учитывать основные закономерности и масштабы естественной изменчивости исследуемой системы. Для арктических морей изучение изменчивости их основных характеристик и факторов, ее определяющих, имеет важнейшее фундаментальное и прикладное значение.

Для анализа основных особенностей сезонной и межгодовой изменчивости параметров карбонатной системы (pH и общей щелочности) и содержания биогенных элементов в центральной части Карского моря были использованы данные ВНИИГМИ-МЦД Росгидромета г. Обнинск, World Ocean Database 2018 - Лаборатории климата океана Национального центра океанографических данных Национального агентства по исследованию океана и атмосферы (США), а также данные, полученные сотрудниками Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН в ходе экспедиций с 1993 по 2018 гг. Данные о температуре воздуха взяты из материалов CDIAC (Carbon Dioxide Information Analysis Center).

Среднегодовые колебания глобальной температуры воздуха, полученные по данным метеостанций, позволяют выделить четыре фазы климата начиная с конца XIX века и по настоящее время. До 1920 г. наблюдаются значительные изменения температуры, но без определенного тренда. Значительное потепление (около 0,3 °C) происходило в 40-х годах прошлого века, которое позже сменилось менее выраженным похолоданием. Устойчивый рост температуры воздуха проявляется с середины 1970-х гг.

Межгодовые колебания температуры воды в поверхностном слое Карского моря, рассчитанные по реальным данным для конца теплого сезона (август-сентябрь), отражают указанные климатические особенности. Колебания схожей периодичности наблюдаются и в межгодовых изменениях биогенных элементов, а также величины pH и общей щелочности. Корреляционный анализ показал наличие умеренной (0,7) связи между колебаниями стока и концентрацией фосфатов за рассматриваемый период. Причем, наиболее тесная связь прослеживается со стоком Оби. Изменчивость кремния слабее связана с изменениями объема речного стока за рассматриваемый период, при этом наблюдается умеренная связь с колебаниями солености. Еще более выражена взаимосвязь солености и общей щелочности. При этом, для солености и общей щелочность зависимость от объема речного стока не обнаружена.

Величина pH и концентрация растворенного кислорода имеют функциональную зависимость от температуры, т.е. на эти параметры температура может оказывать прямое воздействие, особенно в поверхностном слое. Действительно, в последние годы в распределении pH наблюдается небольшой тренд к уменьшению. Тем не менее, зависимость этих параметров от температуры за рассматриваемый период слабая. Величина pH и растворенный кислород проявляют взаимосвязь и с другими параметрами: наблюдаются значимые слабые корреляции с соленостью и с объемом стока Оби и Енисея, присутствует слабая корреляция и между данными параметрами. В целом, можно утверждать, что на изменчивость величины pH и концентрации растворенного кислорода в разные годы преобладающее влияние могли оказывать различные процессы или их совокупность, прежде всего, особенности распределения и объем поступающего речного стока, процессы синтеза и окисления органического вещества, а также изменение температуры.

Теплый период в центральном районе Карского моря в среднем длится с июля по октябрь. Среднемноголетнее сезонное распределение солености показало, что влияние речного стока на акваторию района проявляется в течение всего года. При этом, заметное снижение солености наблюдается несколько раньше установления положительных температур на акватории - в мае-июне. В центральном районе Карского моря сезонные изменения в большей или меньшей степени проявляются для всех гидрохимических параметров.

Температура и соленость могут оказывать влияние на сезонный ход функционально связанных с ними гидрохимических параметров, сглаживая его. Для оценки их вклада было проведено нормирование гидрохимических параметров относительно среднемноголетних значений [1]. Для параметров, участвующих в процессе фотосинтеза, была проведена оценка вклада продукционно-деструкционных процессов в их сезонную изменчивость через стехиометрическое уравнение [2].

Таким образом, климатические изменения находят отражение как в изменении температуры в поверхностном слое Карского моря в поздне-летний период, так и в изменении солености и содержания рассматриваемых биогенных элементов. В среднем наблюдаются колебания с периодом в 10 лет. Основным фактором этих изменений, учитывая расположение района в зоне влияния стока Оби и Енисея, является речной сток, который служит источником биогенных элементов (растворенных неорганических соединений углерода, фосфора, азота и кремния). В периоды потепления и похолодания происходит изменение разницы между величиной зимнего и летнего стока, что несомненно, должно сказаться и на величине биогенного стока. Действительно, наблюдается тесная взаимосвязь между межгодовыми колебаниями стока рек Оби и Енисея и концентрацией фосфатов. Однако, для элементов-маркеров речных вод большее значение имеют особенности распространения речного стока по акватории, нежели его объем. Теплый период в Карском море в среднем продолжается с июля по октябрь, однако, влияние речного стока на акваторию проявляется раньше устойчивого перехода температуры воды через ноль, обычно в мае-июне, что находит отражение и в распределении гидрохимических параметров. В целом сезонная изменчивость в этом районе проявляется сильнее, чем в других, менее подверженных влиянию речного стока, акваториях Карского моря.

Работа выполнена в рамках госзадания ИОРАН (тема №0149-2019-0008), при поддержке РНФ (проект № 19-17-00196) и гранта Президента Российской Федерации № МК-860.2020.5.

Список литературы

1) Власова Е.С., Маккавеев А.П., Маккавеев П.Н. Растворенный неорганический углерод в водах юго-восточной части Баренцева моря (Печорское море). М.: Океанология №2. том 45. 2005. С.217-223

2) Сапожников В.В., Аржанова Н.В., Мордасова Н.В. Гидрохимические параметры в океане и их практическое использование // Мировой океан. Т. 2: Физика, химия и биология океана. Осадкообразование в океане и взаимодействие геосфер Земли. М.: Научный мир. 2014. С.111–129

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ТОЛЩИ ВОД КАРСКОГО МОРЯ: СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ

Федулов В.Ю., Беляев Н.А.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

burdmeister@gmail.com

Ключевые слова: Карское море, органическое вещество, органический углерод, биогеохимия, сезонная изменчивость, межгодовая изменчивость.

На распространение органического вещества (ОВ) всех шельфовых морей и Карского моря, в частности, влияет большое количество факторов обусловленных резкой сезонностью протекающих в исследуемом регионе процессов [1,2]. Важнейшими из них являются: изменчивость ледового режима, вариации распределения речного стока и ярко выраженная сезонность протекающих биологических процессов.

Накопленные с 2007 по 2020 гг. данные по содержанию растворенного органического углерода (РОУ), взвешенного органического углерода (ВОУ), взвешенного вещества (ВВ), хлорофилла а и феофитина, полученные в различные сезоны года, позволяют выявить вклад вышеописанных процессов в распределение органического вещества в Карском море. Четкое выделение сезонных процессов в Карском море затруднено в связи с определяющим влиянием на экосистему времени наступления половодья и освобождения моря ото льда. Если диапазон наступления половодья изменяется в диапазоне 10 дней, то ледовые условия имеют значительно большую вариативность.

Были обобщены данные по исследуемым параметрам 312 станций (1337 горизонтов), из них 11 в зимний, 44 в весенний, 100 в летний и 157 в осенний периоды. Для выделения сезонов использовались данные по ледовой обстановке и объему речного стока.

Пробы морской воды отбирались батометрами на горизонтах выбранных на основе гидрологического зондирования. В зимний и ранневесенний периоды, когда море покрыто льдом, пробы отбирались с поверхности разводий ведром. Для определения РОУ, ВОУ и ВВ использовалась система фильтрации. Измерение концентраций РОУ, ВОУ и ВВ производили на анализаторах Shimadzu TOC-Vcph и TOC-L с дополнительным модулем SSM-5000A. Более подробно методика отбора, предварительной обработки и последующего анализа проб описана в следующих работах [3,4,5].

На основании физико-географических характеристик в Карском море выделено 4 района:

Для юго-западной части Карского моря (район 1) характерно слабое влияние пресного стока и взаимодействие с водами Баренцева и Печорского моря через пролив Карские ворота. Среднее значение РОУ - 2,65 мг/л (0,56-7,51 мг/л, n=215). Повышенные концентрации РОУ наблюдались в весенний период во фронтальных зонах: на границе пресных и морских вод, на границе вода-дно и связаны с влиянием пресного стока и активным цветением водорослей. Повышение концентраций ВВ и ВОУ также характерно для весеннего периода, но они не коррелируют с повышенными концентрациями РОУ и связаны с ОВ автохтонного генезиса. Средние значения ВОУ - 67,7 мкг/л (3,2-612,5 мкг/л, n=147), ВВ - 0,66 мг/л (0,05-15,95 мг/л, n=182).

В северо-западной части Карского моря, ограниченной Северным островом архипелага Новая Земля (район 2) РОУ среднее - 2,11 мг/л (0,74-5,34 мг/л, n=113), ВОУ - 257,4 мкг/л (5,8-4850 мкг/л, n=89), ВВ - 17,9 мг/л (0,10-364 мг/л, n=66). Высокие значения ВВ и ВОУ соответствуют зонам разгрузки ледников в заливах Северного острова Новой Земли.

Районы, прилегающие к эстуариям рек Обь (район 3a) и Енисей (район 3b), подвергаются постоянному воздействию речного стока и характеризуются наличием мощных биологических фронтов. Для района влияния Обских вод РОУ среднее - 4,81 мг/л (0,77-13,9 мг/л, n=166), ВОУ среднее - 423 мкг/л (9,2-3290 мкг/л, n=166), ВВ среднее - 5,41 мг/л (0,12-106 мг/л, n=121). Для района, находящегося преимущественно под влиянием Енисейских вод средние концентрации РОУ

- 5,36 мг/л (0,89-32,9 мг/л, n=125), ВОУ -325,8 мкг/л (12,8-2905 мкг/л, n=121), ВВ - 2,85 мг/л (0,10-48,06 мг/л, n=103). Высокие концентрации ВВ и ВОУ обусловлены процессами поставки вещества с речным стоком и лавинной седиментацией в зонах маргинального фильтра обеих рек.

Северо-восточная часть Карского моря (район 4), ограниченная с востока архипелагом Северная Земля, с запада островами Известий ЦИК и Арктического Института, изучена довольно слабо. Среднее содержание РОУ - 4,17 мг/л (1,12-7,64 мг/л, n=31), ВОУ среднее - 158,4 мкг/л (21,7-1052,0 мкг/л, n=25), ВВ среднее - 0,51 мг/л (0,17-0,92 мг/л, n=15). Воды этой акватории подвержены влиянию Атлантических водных масс и вод Центрального Арктического бассейна.

На основании результатов анализа обобщенных данных можно сделать выводы, что:

- поступление ОВ в систему Карского моря зависит от величины и путей распространения речного стока;

- зоны формирования максимумов автохтонной продукции подвержены влиянию ледового фактора;

- общая картина распределения ОВ формируется на основании двух факторов: действия речного стока (его объема, времени наступления половодья, направления распространения речных вод) и ледового фактора (время формирования льда, время таяния льда).

Работа выполнена в рамках госзадания №0128-2021-0005

Список литературы

1) Романкевич Е.А., Ветров А.А. Цикл углерода в арктических морях России. М.: Наука, 2001. 302 с.

2) Siberian river run-off in the Kara Sea / Ed. R.Stein, K.Fahl, D.K. Futterer , E.M. Galimov and O.V. Stepanets // Elsevier Sciense. 2003a. 488 p.

3) Беляев Н.А., Поняев М.С., Кирютин А.М. Органическое вещество воды, взвеси и донных осадков центральной части Карского моря // Океанология. 2015. Т. 554. С. 563–576.

4) Беляев Н.А., Поняев М.С., Пересыпкин В.И. Органический углерод воды, взвеси и верхнего слоя донных осадков Карского моря // Океанология. 2010. Т.50. № 5. С. 748- 757.

5) Федулов В.Ю., Беляев Н.А., Колоколова А.В., Сажин А.Ф. Базовые геохимические параметры верхнего слоя вод юго-западной части Карского моря в зимний период // Океанологические исследования. 2018. Том 46. № 1. С. 115–122.

СМЕНА ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ В ГДАНЬСКОЙ ВПАДИНЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ КАК ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА

Бубнова Е.С.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

bubnova.kat@gmail.com

Ключевые слова: взвешенное вещество, Балтийское море, Гданьская впадина, редокс барьер.

Условия в придонном слое Гданьской впадины сильно зависят от объема и частоты затоков североморских вод в Балтийское море. Гидрохимический режим в придонном слое впадины часто характеризуется недостатком содержания растворенного кислорода и наличием сероводорода. Затоковые явления и формирование зон гипоксии оказывают значительное влияние на вещественный состав взвеси в придонном слое, что хорошо иллюстрирую данные электронной сканирующей микроскопии.

Отбор проб для определения содержания взвеси с последующим анализов проб методом электронной сканирующей микроскопии (6 проб), растворенного кислорода и растворенного сероводорода (18 проб) производился на референтной точке в самой глубокой части Гданьской впадины (105 м). Пробы взвеси для анализа были отобраны с декабря 2017 года по ноябрь 2018 года, в период перехода от окислительных условий в глубинных водах к восстановительным. В это время во впадине происходила постепенная ассимиляция затоковых вод, поступивших в результате «большого рождественского затока» 2014 г. и серии более мелких затоков в 2015-2016 гг.

В декабре 2016 года в составе взвешенного вещества были обнаружены минеральные частицы (кварц, ортоклаз, альбит, пирит, глинистые минералы), органический детрит и обломки диатомей, а также небольшое количество образований, в составе которых была большая доля органического вещества и Mn. Эти образования имели круглую форму с небольшими «щупальцами» или «лучами», процентное содержание Mn достигало 76 %. По внешнему виду и химическому составу эти частицы напоминают минерал вернадит на начальной стадии образования — органическая бактериальная природа вернадита была впервые описана в (Чухров и др., 1989)

В апреле 2017 г. увеличилось количество органического вещества и частиц вернадита. Состав минеральной фракции не изменился: преобладающим минеральном являлся кварц, затем шли полевые шпаты (ортоклаз и альбит), глинистые минералы и амфиболы.

Октябрь 2017 г., характеризуется гораздо меньшим количеством Mn-содержащих частиц и большим — останков диатомовых водорослей и других организмов, в том числе, копепод. Концентрация взвешенного вещества повышена по сравнению с предыдущей съемкой, а концентрация растворенного кислорода понижена. Частицы вернадита совсем небольшого размера и имеют меньшее количество «щупалец» по сравнению с предыдущими пробами. Минеральная фракция остается неизменной с доминирующим кварцем.

Август 2018 г. отличается практически полным отсутствием кислорода в придонном слое при наличии сероводорода и крайне низкой концентрацией взвеси, что особенно заметно на изображении, полученном с помощью электронного сканирующего микроскопа. Вместо минеральных или органических частиц в пробе содержались азотсодержащие (до 70% азота) агрегаты с мелкими минеральными включениями (в том числе, золото) и частицы технеция.

В октябре 2018 г. условия придонного слоя в Гданьской впадине были аналогичны тем, что наблюдались в августе того же года: аноксия и сероводородное заражение. Тем не менее, концентрация взвеси увеличилась и изменился ее состав: практически все минеральные зерна, обнаруженные в данном образце, представлены кристаллизованной серой диаметром до 10 мкм. Процесс

образования взвешенной серы на границе дно-вода с участием бактерий рода Beggiatoa описан для Готландской впадины в (Yücel et al., 2017).

В процессе увеличения содержания сероводорода в придонном слое и увеличением этого слоя граница смены окислительных условий на восстановительные переместилась выше, на глубину 80-77 м. Таким образом, условия, благоприятные для бактериального окисления растворенных форм марганца также сместились на эту глубину. Пробы, отобранные в августе 2017 г. показывают уже не начальные стадии развития вернадита, а процесс агрегации его с минеральными частицами (кварцем и глинистыми минералами).

Таким образом, межгодовой ход растворенного кислорода и состава взвешенного вещества в придонном слое Гданьской впадины указывает не только на нерегулярное поступление затоковых североморских вод, но также и на общую для Балтийского моря тенденцию к высокой скорости ассимиляции растворенного кислорода. Наличие перехода от окислительных условий к восстановительным в придонном слое Гданьской впадины вызывает развитие слоя повышения концентрации взвешенных форм марганца, образованных в процессе бактериального окисления. Образовавшиеся частицы не вносят большого вклада в весовую концентрацию взвеси, поэтому зафиксировать наличие аутигенных нефелоидных слоев можно лишь с помощью оптических методов (мутность на мультипараметрическом зонде). Кроме того, в условиях присутствия сероводорода в придонном слое Гданьской впадины жизнедеятельность сульфид-окисляющих бактерий позволяет образовываться чистой кристаллической сере.

Автор благодарит Центр исследования природы (Nature Research Center, Vilnius) за предоставление возможности обработки проб методом электронной сканирующей микроскопии. Работа выполнена в рамках госзадания ИО РАН (тема №0149-2019-0013).

Список литературы

1) Чухров Ф. В., Горшков А. И., Дриц В. А. Гипергенные окислы марганца. Наука, 1989. 208 с.
2) Yücel, M., Sommer, S., Dale, A.W., Pfannkuche, O. Microbial sulfide filter along a benthic redox gradient in the Eastern Gotland Basin, Baltic Sea. Frontiers in microbiology. 2017. Vol. 8. pp.169.

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ЗЁРЕН ОСАДОЧНЫХ ПОРОД НА МИКРОФОТОГРАФИЯХ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ

Голиков В.А.[1], **Криницкий М.А.**[2], **Борисов Д.Г.**[2]

[1]*Московский физико-технический институт, Москва*

[2]*Институт океанологии имени П.П. Ширшова Российской академии наук, Москва*

golikov.va@phystech.edu

Ключевые слова: Фораминиферы, глубокие сети, машинное обучение, геология.

Палеореконструкция - способ оценки геофизических параметров по косвенным признакам, таким как химический состав раковин фораминифер, концентрация различных газов в осадочных породах на дне океана и пр. Распределение видов и размеров фораминифер, размеров и форм кристаллов различных минералов в осадочных породах - важнейшие характеристики, по которым можно восстановить направление и скорость течений, температуру и соленость воды и другие геофизические характеристики.

Сейчас исследователи прибегают ко множеству разных методов изучения состава осадков, таких как визуальное определение размеров зёрен, оценка цветовых характеристик. Также применяются инструментальные методы определения физических свойств, элементного и изотопного состава осадков. Тем не менее, ученые до сих пор активно используют метод визуального анализа осадков под микроскопом Levenhuk DTX 90.

В нашей работе рассматриваются частицы размером от 100 микрон при 80х увеличении. Керны с осадком, из которого взяты исследуемые образцы, были подняты с морского дна при помощи гравитационного пробоотборника. Далее прошедшие через сито частицы были помещены на контрастную зеленую подложку и сфотографированы через микроскоп. Ранее для дальнейшей обработки и классификации этих частиц требовалось большое количество времени квалифицированного ученого, который по отдельности бы определял каждый фрагмент.

Для ускорения процесса обработки была проделана работа по созданию нейронной сети, которая позволит выделять частицы на фотографиях и разбивать их на группы по принципу визуальной схожести. В методах машинного обучения такое разделение на группы называется кластеризацией. Для обособления частиц от фона и друг от друга используется алгоритм SLIC [1]. В нашей работе применялась реализация SLIC, доступная в библиотеке OpenCV. Изображения зерен осадка, отделенные от контрастной подложки, приводятся к виду, подходящему для кластеризации с помощью нейросетевой модели вариационного автокодировщика. С применением этой модели изображения отдельных зерен преобразуются в векторы сокращенной размерности, которые считаются их новым признаковым описанием. С использованием этого признакового описания зерна осадка в образце разбиваются по группам с применением алгоритмов кластеризации, таких как K-means [2], DBSCAN [3] или иерархической агломеративной кластеризации Ланса-Уильямса [4] с критерием объединения по Уорду [5]. В результате каждому зерну из набора данных присваивается метка кластера. Зерна в каждом кластере визуально близки друг к другу, что может говорить о схожести их метрических и оптических свойств. Также можно говорить о видовой однородности раковин фораминифер внутри выделяемых кластеров. Это позволит упростить их классификацию: для этого эксперту необходимо идентифицировать вид для всего кластера, а не каждой раковины по отдельности. При наличии полученной таким образом разметки выделенные кластеры могут стать источником данных для создания полноценного нейросетевого алгоритма, позволяющего значительно снизить затраты времени специалиста на визуальную оценку размеров отдельных зерен, их оптических свойств, а также (при необходимости) видовую идентификацию.

В настоящей работе представлен метод разделения зерен осадка на однородные группы с применением методов глубокого обучения. Однородность подтверждена визуальной инспекцией изображений отдельных зерен внутри кластеров. Представленный метод позволяет существенно

сократить временные затраты эксперта на классификацию экземпляров. Экспертная разметка выделенных кластеров по типам и видам в дальнейшем может стать источником данных для обучения искусственной нейронной сети оценке размеров отдельных зерен и их оптических свойств, а также их классификации.

Работа выполнена в рамках Госзадания № 0149-2019-0007.

Список литературы

1) Achanta, R., Shaji, A., Smith, K., Lucchi, A., Fua, P.V. and Süsstrunk, S.E. SLIC Superpixels Compared to State-of-the-Art Superpixel Methods // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2012. Vol. 34, 11. P. 2274-2282. doi:10.1109/TPAMI.2012.120

2) MacQueen J. Some methods for classification and analysis of multivariate observations // Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Volume 1: Statistics. University of California Press, 1967. P. 281–297.

3) Ester, M., Kriegel, H.-P., Sander, J., and Xu, X. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise // Proc. 2nd Int. Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining. Portland, OR. 1996. P. 226–231.

4) Milligan, G.W. Ultrametric hierarchical clustering algorithms // Psychometrika. 1979. Vol. 44, № 3. P. 343–346.

5) Ward, J.H. Jr. Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function // Journal of the American Statistical Association. 1963. Vol. 58, № 301. P. 236–244.

ДИНАМИКА ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЗАПАДНОГО КРЫМА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ШТОРМОВЫХ УСЛОВИЙ

Гуров К.И.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

gurovki@gmail.com

Ключевые слова: Каламитский залив, береговая зона, наносы, фракционный состав, модель XBeach.

Недостаточная изученность штормовых и сезонных изменений гранулометрического состава донных отложений и деформаций рельефа дна создает значительные трудности при планировании различного рода мероприятий для сохранения и устойчивого развития прибрежных территорий. Известно, что гранулометрический состав донных отложений и наносов береговой зоны является одним из основных параметров, характеризующих интенсивность литодинамических процессов. Изучение источников поступления и оценка динамики песчаных фракций, особенно в условиях интенсивного штормового воздействия, - важная составляющая системы комплексного мониторинга береговой зоны.

В данной работе исследуется участок подводного берегового склона (ПБС) и пляжа в центральной части Каламитского залива в районе пересыпи оз. Сакское. Изучаемый район отличается прямолинейным характером береговой линии и расположением изобат параллельно берегу. Исследование особенностей протекания литодинамических процессов на выбранном участке прибрежной зоны Западного Крыма особенно актуально в связи с проведением работ по строительству набережной и берегозащитных сооружений. Известно, что для Западного Крыма ветровое волнение является определяющим фактором изменения береговой линии, размыва и обрушения берегов, а также разрушения берегозащитных сооружений.

Целью работы является изучение особенностей динамики гранулометрических фракций донных отложений и наносов береговой зоны на участке Каламитского залива в районе пересыпи оз. Сакского под воздействием штормового волнения, вызванного смещением атмосферного циклона с запада на восток.

Штормовые деформации профиля береговой зоны и перераспределение различных фракций прибрежно-морских наносов исследовались с использованием комплексной численной модели XBeach [1] Начало координат располагалось в мористой части расчетной области, ось x направлена к берегу, ось y - вдоль береговой линии. Для проведения численных экспериментов использовались данные о рельефе и гранулометрическом составе наносов, полученные автором в ходе мониторинговых наблюдений в период с августа по сентябрь 2017-2018 гг. Общая длина профиля составляет 540 м. В начальный момент времени первые 500 м исходного профиля соответствовали ПБС, а остальные 40 м - пляжу. Шаг расчетной сетки составлял 1 м. Начальное распределение объемных концентраций осадка на различных участках профиля ПБС задавалось на основе результатов натурных наблюдений и показано до глубины 3,5 м, так как в мористой части профиля параметры гранулометрического состава не изменяются.

Параметры волнения изменялись во времени, имитируя прохождения циклонической аномалии над исследуемым районом. В первые 6 часов высота волн и период линейно увеличиваются до своих максимальных значений (2 м и 12 с соответственно), а затем остаются неизменными в течение 12 часов модельного времени. В следующие 6 часов эти параметры линейно уменьшаются. В первые 6 часов направление волн меняется с юго-западного (245°) на западное (270°). Затем остается западным в продолжение 12 часов. После этого в течение 6 часов направление волн меняется с западного на северо-западное (295°).

Получены количественные характеристики и особенности пространственного распределения различных по крупности фракций донных отложений, медианного диаметра осадка и величины деформаций дна. Установлено, что основная динамика гранулометрических фракций отмечается на участке 0-80 м и ограничивается изобатой 3 м. Отмечено, что максимальные изменения рельефа береговой зоны и верхнего участка ПБС происходят в период с 3 до 6 ч (фаза развития шторма) и через 18 ч (окончание фазы активного штормового воздействия). В эти же временные отрезки наблюдается интенсивное перераспределение песчаного материала. Установлено, что при изменении во времени параметров ветрового волнения перераспределение песчаного материала и деформации рельефа береговой зоны происходят интенсивнее, чем в эксперименте с постоянными волновыми условиями на морской границе [2]. Результаты анализа динамики параметра *sedero*, отражающего отношение аккумулятивных процессов к денудационным, показали, что эрозионное воздействие на участок береговой зоны продолжается до конца фазы активного штормового воздействия (до 18 ч), а затем замедляется.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0555-2021-0005 «Прибрежные исследования».

Список литературы

1) Roelvink, D. Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands / D. Roelvink, A. Reniers, A. Van Dongeren, J. Van Thiel de Vries, R. McCall, J. Lescinski // Coastal Engineering. 2009. № 56. P. 1133–1152.

2) Gurov, K.I. Sediments granulometric composition dynamics in the Kalamitsky Gulf / K.I. Gurov, V.V. Fomin, D.V. Alekseev, E.V. Ivancha // Proceedings of the Fourteenth International MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation, MEDCOAST 19, 22–26 Oct 2019, Marmaris, Turkey / Ed. E. Ozhan. Mugla, Ortaca, Turkey: Mediterranean Coastal Foundation, 2019. Vol. 2. P. 597–606.

ПАЛЕОЭКОЛОГИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БЕНТОСНЫХ ФОРАМИНИФЕР В ГОЛОЦЕНЕ В ДАТСКОМ ПРОЛИВЕ

Киреенко Л.А., Козина Н.В., Тихонова А.В.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

boda11@yandex.ru

Ключевые слова: Северная Атлантика, бентосные фораминиферы, голоцен, плейстоцен, Датский пролив, климат, ледниковые отложения.

Датский полив расположен между островами Гренландии и Исландии и является ключевым районом, соединяющий Атлантический и Северный Ледовитый океаны. В проливе встречаются два течения: с одной стороны течение Ирмингера, проходящее вдоль берегов Исландии, несет относительно теплые и соленые водные массы в Арктику, а с другой - вдоль берегов Гренландии льды и холодные воды, обладающие сравнительно низкой соленостью, Восточно-Гренландского течения поступают в Северную Атлантику [1].

Современные исследования морей и океанов часто включают изучение фораминифер, как наиболее надежных показателей при палеоокеанологических реконструкциях. Короткий жизненный цикл, умение быстро реагировать на экологические изменения и предпочтения к определенным условиям позволяют использовать комплексы фораминифер, как индикаторы различных факторов и изменений окружающей среды [2].

Целью данной работы является изучение комплексов бентосных фораминифер и их экологических особенностей, а также биостратиграфическое расчленение голоценовых и плейстоценовых отложений Датского пролива для дальнейшей реконструкции палеоусловий и процессов осадконакопления.

Колонка АМК-5890 (65°45.081'с.ш.; 25°37.822' з.д.) отобрана в 71-ом рейсе «Академик Мстислав Келдыш» 2018 г [3]. Глубина отбора колонки составила 268 м. Разрез колонки АМК-5890 мощностью 4,24 м получен с помощью ударной грунтовой трубы большого диаметра в Датском проливе на западном склоне Исландии. В исследовании подробно изучен интервал разреза от 10 до 100 см, из которого отобрано 63 пробы донных осадков. Все образцы были промыты через сито 63 мкм и высушены. Далее эту фракцию (>63 мкм) изучали под микроскопом. В каждой из проб всех выделеных комплексов подсчитывалось около 150 - 300 экземпляров бентосных фораминифер.

В предыдущих исследованиях, первичная обработка керна, которая включала литолого-минералогические и геохимиеские исследования донных осадков экспресс методами на судне, показала резкую границу между голоценовыми и ледниковыми отложениями, на которой происходит смена климатических условий. На 43,5 см наблюдается резкое изменение нескольких показателей, таких как увеличение минеральных частиц ледникового и айсбергового разноса, магнитной восприимчивости, содержаний литогенных и редкоземельных элементов, уменьшение карбонатного биогенного материала и показателя содержания карбоната кальция [4].

По результатам фораминиферового анализа первый комплекс отложений представлен предположительно голоценовыми отложениями, где численность бентосных фораминифер в интервале от 10 до 34,5 см достигает максимальных значений (35 000 - 60 000 экземпляров/г сухого осадка). Ниже до 43,5 см этот показатель уменьшается до 10 000 экз./г сух. осадка. Видовое разнообразие колеблется от 25 до 35 видов пробе. Доминирующим видом (до 60%) в отложениях данного комплекса является *Trifarina angulosa*. В голоценовом сообществе в массовом количестве (25-30%) присутствует вид *Cibicides lobatulus*, обитающий в зонах с повышенной гидродинамической активностью. Среди малочисленного сообщества (от 2 до 15%) чаще других встречаются атлантические и бореальные виды *Cassidulina laevigata*, *Cassidulina neoteretis* и *Uvigerina peregrina* [5]. Они вместе с доминантом образуют ассоциацию, обитающую в современных бореальных и арктических

морях с соленостью, близкой к нормальной морской, и положительными придонными температурами. Так же все эти сведения по экологии видов свидетельствуют о благоприятных для развития фораминифер климатических условиях, повышенной продуктивности и широком проникновении атлантических вод на север в голоценовый период. Нижняя часть этого комплекса, по-видимому, соответствует этой эпохе с продолжающимся процессом дегляциации.

На границе 43,5 см происходят резкие изменения всех показателей, которые позволяют выделить второй комплекс, характеризующий переход к ледниковым отложениям плейстоцена: численность фораминифер падает до минимальных значений (1000 - 400 экз./г сух. осадка), видовое разнообразие уменьшается до 20 видов на пробу, а видовой состав почти полностью сменяется. Вначале ледникового комплекса фиксируется пик процентного содержания *Cibicidoides wuellerstorfi* (до 25%), появление которого связано с активной гидродинамикой. Вид-доминант *T. angulosa* практически исчезает, и его место в данном комплексе занимают *C. lobatulus* (до 35%) и *Cassidulina obusta* (до 40 %). В ледниковом комплексе сообщество фораминифер состоит из видов *Cassidulina reniforme*, *Elphidium clavatum* и *Nonion labradoricum*, встречающиеся в холодных водах и предпочитающие арктические условия окружающей среды с наличием ледникового покрова [5].

Таким образом, на основе данных распределения бентосных фораминифер и палеоэкологических исследований, удалость выделить палеоокеанологические особенности развития Датского пролива в голоцене и плейстоцене. Граница, установленная при первичной обработке 43,5 см, так же ясно прослеживается в данных микропалеонтологического анализа и фиксирует ее.

Подготовка, обработка проб и микропалеонтологический анализ выполнен при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-35-90093. Экспедиционные исследования выполнены в рамках проекта РНФ № 14-50-00095, первичные литолого-минералогические и геохимические исследования выполнены в рамках Государственного задания ИО РАН (тема № 0149-2019-0007).

Список литературы

1) Sessford E.G., Tisserand A.A., Risebrobakken B., et al. High-Resolution Benthic Mg/Ca Temperature Record of the Intermediate Water in the Denmark Strait Across D-O Stadial-Interstadial Cycles // Paleoceanography and Paleoclimatology. 2018. V. 33. N. 11. P. 1169-1185.

2) Lorenz A. Variability of benthic foraminifera north and south of the Denmark Strait // PhD Thesis. Faculty of mathematics and Natural Sciences of the Christian Albrecht University of Kiel. Germany. 2005. 139 pp.

3) Новигатский А.Н., Гладышев С.В., Клювиткин А.А., Козина Н.В., Артемьев В.А., Коченкова А.И. Мультидисциплинарные исследования в Северной Атлантике и прилегающей Арктике в 71-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» // Океанология. 2019. Т. 59. № 3. С. 510-512.

4) Козина Н.В., Тихонова А.В., Стародымова Д.П., Булохов А.В. Основные особенности и закономерности осадконакопления на западном склоне Исландии (Датский пролив) по данным литолого-минералогический, геохимических и микропалеонтологических исследований // В сборнике: Комплексные исследования Мирового океана. Материалы V Всероссийской научной конференции молодых ученых. 2020. С. 322-323.

5) Sejrup H.P., Birks H.P.B., Kristensen D.K., Madsen H. Benthonic foraminiferal distributions and quantitative transfer functions for the northwest European continental margin // Marine Micropaleontology. 2004. V. 53. P.197–226.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ДОННЫХ ОСАДКОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ШЕЛЬФА МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

Клеванцева Е. В., Гершелис Е.В., Гринько А.А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

eklevantceva@mail.ru

Ключевые слова: Моря Восточной Арктики, внешний шельф, современный осадочный материал, органический углерод, молекулярный состав, деградация вечной мерзлоты.

Шельф морей Восточной Арктики, самый широкий и мелководный шельф в Мировом океане, является уникальным природным комплексом и играет важную роль в климатической системе планеты. Большая часть данных акваторий подстилается подводной мерзлотой и представляет собой хранилище большого количества органического углерода в различных формах [1]. Постепенное разрушение арктической вечной мерзлоты провоцирует высвобождение значительных объемов органического углерода и вовлечение их в современный биогеохимический цикл [1,2,3]. Важной, но пока малоизученной, является проблема выявления механизмов транспорта и трансформации наземного органического вещества, экспортируемого на шельф Восточной Арктики в результате термоабразии берегов и с речным стоком. Восприимчивость наземного органического углерода к процессам переноса в системе суша-шельф зависит от множества факторов, в числе которых - его молекулярный состав, литология вмещающих осадков, физические факторы транспортировки, гидрохимические условия и др.

Данное исследование направлено на уточнение состава и источника органического углерода, хранящегося в донных осадках северо-западной части шельфа моря Лаптевых. Фактическим материалом для исследования послужили 24 образца поверхностного слоя донных осадков (горизонт 0-10 см), отобранных во время трёх научно-исследовательских экспедиций 2011 года (НИС «Академик М. А. Лаврентьев») и 2018-2019 гг. (НИС «Академик Мстислав Келдыш»).

Преимущественно образцы представлены алевритами и пелитами, реже песками, что указывает на устойчивую подлёдную обстановку осадконакопления с гравитационным механизмом осаждения дисперсных частиц без воздействия волновых процессов. В пределах некоторых станций отмечено атипичное преобладание песчаной фракции. Области высокого содержания песка могут быть связаны с зонами ледового выпахивания и пузырькового выноса тонкодисперсной фракции в пределах зон активной газовой эмиссии. Для большинства образцов установлена прямая зависимость между содержанием пелитовой фракции и количеством общего органического углерода в осадках. Такая зависимость может быть объяснена высокой сорбционной способностью глинистых минералов пелитовой фракции. Количество общего органического углерода в исследуемых образцах варьируется от 0,35 до 1,26 массовых процентов. Такие невысокие значения свидетельствуют о низкой биопродуктивности северо-западной части шельфа моря Лаптевых. По данным хроматомасс-спектрометрического анализа в образцах установлено преобладание нечётных высокомолекулярных н-алканов с распределением, характерным для высшей наземной растительности. Данный факт указывает на преимущественно континентальные окислительные условия формирования органического вещества. Значения индекса нечётности н-алканов указывают на преобладание маркеров высшей наземной растительности. Анализируя в совокупности значения нескольких геохимических индексов установлен высокий вклад органики наземного происхождения, не смотря на удалённость района исследований от береговой линии.

Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации МК-3476.2021.1.5.

Список литературы

1) Natalia Shakhova, Igor Semiletov, Anatoly Salyuk, Vladimir Yusupov, Denis Kosmach, Örjan

Gustafsson (2010). Extensive Methane Venting to the Atmosphere from Sediments of the East Siberian Arctic Shelf. Science, 327, 5970, 1246-1250. https://doi.org/10.1126/science.1182221

2) Semiletov, I., Pipko, I., Gustafsson, Ö. et al. (2016). Acidification of East Siberian Arctic Shelf waters through addition of freshwater and terrestrial carbon. Nature Geoscience, 9, 361-365. https://doi.org/10.1038/ngeo2695

3) Vonk, J. E., & Gustafsson, Ö. (2013). Permafrost-carbon complexities. Nature Geoscience, 6(9), 675-676. https://doi.org/10.1038/ngeo1937

ЛИТОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И МИКРОПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ (ПО МАТЕРИАЛАМ 71-ОГО РЕЙСА НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ»)

Козина Н.В., Тихонова А.В., Стародымова Д.П., Алексеева Т.Н., Булохов А.В.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

kozina_nina@bk.ru

Ключевые слова: Датский пролив, Исландская котловина, плато Роккол, процессы седиментогенеза, минералогия, микро- и макроэлементы, планктонные и бентосные фораминиферы, палеоклимат.

Северная Атлантика (СА) является одним из ключевых районов при формировании единой замкнутой системы циркуляции течений, осуществляющих глобальный перенос тепла, соли, газов, растворенных элементов и осадочного вещества в толще океанских вод [1]. В данном регионе наблюдается процесс активного перемещения и перемешивания холодных глубинных арктических и теплых поверхностных атлантических вод.

Изучение природной среды океанов прошлого дает ключ к пониманию истории современных процессов и способствует долгосрочному прогнозированию климатических изменений. Климатические изменения, в свою очередь, отражаются в характеристиках различных процессов в океане, которые в конечном итоге архивируются в донных отложениях в процессе осадконакопления [1].

Цель данной работы - литолого-геохимическая и микропалеонтологическая характеристики донных отложений в области взаимодействия СА и Арктики с последующим выявлением основных процессов седиментогенеза, а также оценка перспективности полученных разрезов для палеоокеанологических реконструкций.

Материалом для исследования послужили донные осадки трех колонок, отобранных в СА с помощью ударной грунтовой трубки большого диаметра в 71-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 2018 г. [2, 3]. Колонки были получены с плато Роккол, из Исландской котловины и Датского пролива [2, 3]. На борту судна было произведено первичное исследование донных осадков экспресс-методами: определение pH, Eh характеристик; определение содержания $CaCO_3$; измерение магнитной восприимчивости осадка; минералогические исследования и фораминиферовый анализ [2, 3]. Дальнейшие литолого-минералогические и геохимические исследования проводились в лабораториях ИО РАН [3].

Керны, отобранные на плато Роккол (длина керна 406 см) и в Исландской котловине (длина керна 633 см), представлены чередованием песчаного, алеврито-пелитового и пелитового материала. По всей длине кернов наблюдается биотурбация и примесь гравийного материала. В осадках, отобранных на плато Роккол, с глубиной наблюдается увеличение обломочного материала, который представлен кварцем, полевыми шпатами, включениями амфиболов, пироксенов, рудных минералов. Осадок по всей длине керна - окисленный. В осадках, отобранных в Исландской котловине, содержание обломочного материала колеблется в пределах 20-30%. Представлен обломочный материал кварцем, вулканическим стеклом, пироксенами, редкими зернами амфиболов, рудными минералами, глауконитом, хлоритом. В отложениях на плато Роккол и в Исландской котловине четких границ по сменам комплексов планктонных (ПФ) и бентосных (БФ) фораминифер не обнаружено, возможно, это связано с тем, что осадки сформированы придонным течением и представляют собой контуритовое осадочное тело.

Длина керна, отобранного в Датском проливе, составила 424 см [3]. По преобладанию большого количества карбонатных раковин ПФ и БФ, а так же высокому разнообразию видов ПФ и БФ верхний слой осадка (0-43.5 см), вероятно, представлен голоценовыми отложениями. Содержание минеральной компоненты не превышает 10-15%. На 43.5 см наблюдается резкая граница увеличения минеральных зерен ледового и айсбергового разноса до 80%, и, предположительно, с этого

горизонта вниз по разрезу осадок представлен ледниковыми верхнеплейстоценовыми отложениями. В этих отложениях преобладает обломочный материал ледового разноса. Вниз по разрезу содержание обломочного материала увеличивается до 99%. Обломочный материал представлен кварцем, полевыми шпатами, в большом количестве присутствуют обломки вулканических пород, пироксены, рудные минералы, оливин, вулканическое стекло. Результаты экспресс-анализов показали, что в голоценовых отложениях содержание карбоната кальция достигает 50%. Вниз по разрезу концентрация карбоната кальция уменьшается и составляет первые проценты. Магнитная восприимчивость в голоценовых отложениях на порядок ниже, чем в ледниковых и изменяется в пределах от $1*10^{-3}$ ед. Си до $8.3*10^{-3}$ ед. Си соответственно. Осадок по всей длине керна - восстановленный. По результатам геохимических исследований установлено, что выделяется несколько циклов осадконакопления. Голоценовые отложения характеризуются наименьшим содержанием литогенных элементов и повышенным содержанием стронция, ледниковые отложения - повышенным содержанием литогенных элементов [3].

Таким образом, сделана первичная литолого-геохимическая и микропалеонтологическая характеристики донных осадков в Северной Атлантике по результатам 71-ого рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш». Литолого-геохимические и микропалеонтологические исследования показали, что осадки, отобранные на плато Роккол и в Исландской котловине, предположительно, сформированы контурными течениями и представляют собой контуритовое осадочное тело. В Датском проливе по материалам комплексных исследований донных осадков выявлена резкая граница, характеризующая смену климатических условий.

Авторы благодарят начальника экспедиции С.В. Гладышева, зам. начальника экспедиции А.Н. Новигатского и весь научный состав за помощь в проведении экспедиции.

Геохимические и микропалеонтологические исследования выполнены в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0128-2021-0006), литолого-минералогические исследования выполнены за счет гранта РНФ № 19-77-00015.

Список литературы

1) Лисицын А.П. Современные представления об осадкообразовании в океанах и морях. Океан как природный самописец взаимодействия геосфер Земли // Мировой океан. Т. II. Физика, химия и биология океана. Осадкообразование в океане и взаимодей*eg*ствие геосфер Земли / Под общ. ред. чл.-корр. РАН Лобковского Л.И. и академика Нигматулина Р.И. М.: Научный мир, 2014. С. 331-571.

2) Новигатский А.Н., Гладышев С.В., Клювиткин А.А., Козина Н.В., Артемьев В.А., Коченкова А.И. Мультидисциплинарные исследования в Северной Атлантике и прилегающей Арктике в 71-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш». Океанология. 2019. Т. 59. № 3. С. 510-512.

3) Козина Н.В., Тихонова А.В., Стародымова Д.П., Булохов А.В. Основные особенности и закономерности осадконакопления на западном склоне Исландии (Датский пролив) по данным литолого-минералогических, геохимических и микропалеонтологических исследований. В сборнике: Комплексные исследования Мирового океана. Материалы V Всероссийской научной конференции молодых ученых. 2020. с. 322-323.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛЕВОДОРОДОВ В БАРЕНЦЕВОМ И НОРВЕЖСКОМ МОРЯХ

Колтовская Е.В., Немировская И.А., Храмцова А.В.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

katyayaya15@gmail.com

Ключевые слова: донные осадки, взвесь, органическое вещество, Арктическая экосистема.

Интерес к изучению углеводородов (УВ) в составе органического вещества (ОВ) в высокоширотных акваториях, в значительной степени, обусловлен высоким нефтегазоносным потенциалом Арктического шельфа, который, по последним оценкам, превышает 100 млрд. т в нефтяном эквиваленте [1]. Освоение месторождений и рост транспортировки топлива увеличивают риск загрязнения нефтяными УВ. В последние годы изменяются и гидрологические условия в Арктике - увеличивается планетарная температура, уменьшается доля многолетних льдов и снижается ледовитость, на фоне чего устойчиво растет адвекция атлантических вод в высокие широты [2].

Пробы для анализа отбирали с поверхности ведром при приближении судна к станции и из придонного горизонта батометрами (комплекс «Rosette»). Количество взвеси определяли гравиметрически после выделения на ядерные фильтры, для исследования УВ - на стекловолокнистые фильтры GF/F. Концентрацию липидов и УВ определяли методом ИК-спектрофотометрии, содержание и состав алканов - методом газовой хроматографии. Суммарные концентрации ПАУ определяли флуоресцентным методом, а состав - методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Данные $C_{орг}$ получали методом сухого сожжения. Подробности методических процедур описаны в статье Немировской И.А. [3].

В 2019 г. во взвеси поверхностных вод содержание липидов изменялось в интервале 18-114 мкг/л, в среднем составляло 51 мкг/л, а УВ - 6-62 мкг/л (среднее - 23 мкг/л). Близкие результаты были получены и в 2020 г.: для липидов - 15-157 мкг/л, (среднее - 64 мкг/л), а для УВ - 9-38 мкг/л, (среднее - 20 мкг/л). Данные по УВ оказались значительно выше результатов августа - сентября 2016 г. (1.5-5 мкг/л) и июля - августа 2017 г. (2.8-8.3 мкг/л) [3]. Обусловлено это, может быть, тем, что в 2019 г. пробы отбирали в июне, сразу после ледостава. При таянии льдов происходит разгрузка принесенного ими материала, и в краевых зонах льдов создаются благоприятные условия для развития первичной продукции. Рост концентраций УВ в южной части Баренцева моря, по сравнению с северной, может быть связан с возрастающей численностью кокколитофорид [4, 5], а также поступлением нефтяных УВ из судоходных районов. В придонном горизонте содержание УВ практически на всех станциях было ниже, чем на поверхности, что вполне закономерно, так как при седиментации УВ подвергаются микробиологическому разложению. Исключение установлено на юго-западном шельфе арх. Шпицберген и на шельфе вблизи Скандинавского п-ва, где содержание УВ в нефелоидном слое достигало 76 мкг/л., что в разы превышало средние значения (6-17 мкг/л).

В поверхностном слое донных осадков в 2019 г. концентрации УВ изменялись в диапазоне 5-51 мкг/г, и в среднем увеличивались в последовательности: Норвежское море (19 мкг/г), южная часть Баренцева моря (23 мкг/г), фиорды Шпицбергена (26 мкг/г). В 2020 г. диапазон изменчивости был значительно шире: от 3 до 186 мкг/г; наименьшие значения были приурочены к глубоководной части Норвежского моря, а повышенные - тяготели к акватории арх. Шпицберген в районе Стурфиорда. Если распределение ОВ в 2019 г. зависело от обводненности осадков, так как наблюдалась зависимость между $C_{орг}$ и влажностью осадков: $r(C_{орг}\text{-Вл.})=0.77$, то эта связь для распределения УВ проявляется в меньшей степени: r(УВ-Вл.)=0.21, $r(C_{орг}\text{-УВ})=0.55$. В толще донных осадков концентрации $C_{орг}$ и УВ на отдельных станциях традиционно уменьшались. Так, в Лафонтенской котловине при переходе от слоя 0-5 см к слою 5-10 см концентрации УВ уменьшались в 14 раз, а их доля в составе $C_{орг}$ - в 2 раза. На других станциях не происходило

уменьшения концентраций УВ с глубиной залегания. На отдельных горизонтах их содержание, наоборот, возрастало, особенно в нефтегазоносных районах: например, на станции в Стурфиорде (2020 г.), где не происходило плавного уменьшения содержания УВ в осадочной толще, в поверхностном слое их содержание составило всего 37 мкг/г; максимальная концентрация была 218 мкг/г на горизонте 6-7 см. Здесь, согласно геофизическим данным, был установлен наиболее значительный флюидный поток из осадочной толщи. В Стурфиорде в составе ПАУ доминировали 2-х, 3-кольчатые арены: нафталин, 2-метил-нафталин (27-43% от суммы) и фенантрен. Нафталины, наименее устойчивые соединения, которые должны разлагаться в процессе седиментации, поэтому довольно высокие концентрации могут быть обусловлено образованием УВ непосредственно в толще осадков.

Таким образом, климатические изменения, приводящие к увеличению притока атлантических вод и сокращению площади многолетних льдов, способствуют перестройке экосистемы Баренцева моря, и, вероятно, приводят к изменению природного углеводородного фона. Аномалии в распределении в составе алифатических УВ и ПАУ с глубиной залегания позволяют предположить в качестве источника их поступление из нижележащих горизонтов.

Экспедиции проведены в рамках госзадания Минобрнауки России (тема № 0128-2021-0006), участие в экспедиции сотрудников - при финансовой поддержке РНФ (проект № 19-17-00234), геохимические исследования и обобщение материалов - в рамках гранта РФФИ № 20-35-90025.

Список литературы

1) Каминский В.Д., Супруненко О.И., Смирнов А.Н. и др. Современное ресурсное состояние и перспективы освоения МСБ шельфовой области Российской Арктики //Разведка и охрана недр. – 2016. – №. 9. – С. 136-142.

2) Трофимов А.Г., Карсаков А.Л., Ившин В.А. Изменения климата в Баренцевом море на протяжении последнего полувека //Труды ВНИРО. – 2018. – Т. 173. - С.79-92

3) Немировская И.А. Углеводороды в водах и донных осадках Баренцева моря в период изменчивости ледового покрова //Геохимия. – 2020. – Т. 65. – №. 7. – С. 679-692

4) Макаревич П.Р., Олейник А.А. Флористические находки в баренцевом море: климатический тренд как фактор флорогенеза //Российский журнал биологических инвазий. – 2020. – Т. 13. – №. 3. – С. 40-50.

5) Giraudeau J., Hulot V., Hanquiez V. et al. A survey of the summer coccolithophore community in the western Barents Sea //Journal of Marine Systems. – 2016. – Т. 158. – С. 93-105.

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПАЛИНОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ КОЛОНКИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ

Костромина Н.А.[1,2], **Гусев Е.А.**[1], **Крылов А.А.**[1], **Крылов А.В.**[3]

[1] *ФГБУ «ВНИИОкеангеология», Санкт-Петербург, Россия*

[2] *СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия*

[3] *ФГБУ «ВСЕГЕИ», Санкт-Петербург, Россия*

kostromina132@gmail.com

Ключевые слова: спорово-пыльцевой анализ, морские осадки, Восточно-Сибирское море.

Осенью 2020 года силами ФГБУ «ВНИИОкеангеология» были проведены экспедиционные работы по изучению донных осадков западной части Восточно-Сибирского моря [1]. С помощью ковша VanVin и грунтовой прямоточной трубки были получены донные пробы и колонки донных осадков на 81 станции. Для спорово-пыльцевого анализа на каждой станции отбиралась поверхностная донная проба, а так же детально разбирались колонки донных осадков мощностью более 50 см. Ниже будут представлены первые результаты изучения колонки донных осадков и поверхностной пробы, ей соответствующей.

Колонка донных осадков МС-2036Т мощностью 119 см была отобрана с глубины 65 м в центральной части Восточно-Сибирского моря (75°24'02,14"с.ш., 167°07'02,20"в.д.) в палеодолине реки Индигирки. Изучаемые осадки представляют собой песчаные алевропелиты преимущественно голубовато-серого цвета. Текстура от массивной до линзовидно-пятнистой, в нижней части колонки отмечены примазки и линзочки гидротроилита. С глубины 43 см до 90 см встречены раковины моллюсков и их обломки без конхиолинового слоя, тонкие и толстые, неокатанные, плотные, иногда с пятнами ожелезнений, сохранность раковин от хорошей до средней, значительно фоссилизированы (*Portlandia arctica* (Gray), *Hiatella arctica* (Linnaeus), *Clinocardium ciliatum* (Fabricius), *Macoma* sp., *Liocyma* cf. *fluctuosa* (Gould), *Axinopsida* cf. *orbiculata* (Sars), *Similipecten* sp., *Nuculana* sp., *Mya* sp.). На спорово-пыльцевой анализ было отобрано 28 образцов с интервалом в 4 см. В настоящий момент завершена лабораторная подготовка всех образцов, однако спорово-пыльцевой анализ проведен с увеличенным интервалом. Обработка проб проводилась с применением плавиковой кислоты (HF), которая позволяет удалить из осадка кремнистые соединения. Для дальнейшего расчета концентраций пыльцы были добавлены таблетки *Lycopodium*. Выделено 13 пыльцевых и 4 споровых таксона. Дополнительно выделялись и подсчитывались непыльцевые палиноморфы и переотложенные пыльца и споры. При расчете процентного соотношения каждого пыльцевого и спорового таксона за 100% принималась сумма пыльцы наземных растений. Процентное соотношение спор, непыльцевых палиноморф и дочетвертичных таксонов рассчитано от этой суммы. Обработка проб для спорово-пыльцевого анализа проводилась в лаборатории «Геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана» Института наук о Земле СПбГУ.

Основываясь на полученных данных можно выделить 3 пыльцевые зоны. В спектрах по всей глубине колонки доминирует пыльца трав, преимущественно осоковых и злаков. В группе древесных и кустарников преобладает пыльца березы, ольхи и ивы. Содержание спор в спектрах незначительно, основу данной группы составляют споры папоротников и сфагновых мхов. По всей длине колонки единично встречаются водоросли Zygnema-type. Помимо этого, отмечается наличие преотложенных спор и пыльцы во всех образцах, процентное содержание которых стабильное - около 10% от общей суммы пыльцы и спор.

Палинозона 1 (119-55 см). Преобладает пыльца трав (52-57%), в данной группе доминирует пыльца Cyperaceae (25%) и Poaceae (17%), помимо этого стабильно встречается пыльца *Artemisia* и Ericaceae (2-5%). В группе древесных и кустарников доминирует пыльца *Betula* (20%), субдоминатами является пыльца *Alnaster* (7-12%) и *Salix* (5-15%), при этом роль последней постепенно

возрастает вверх по палинозоне. Роль пыльцы хвойных пород (*Picea*, *Pinus*) незначительна, только в нижней части палинозоны содержание пыльцы Picea достигает 5%. Общий процент переотложенных спор и пыльцы не превышает 15%. Концентрация пыльцы от 1000 до 2500 пыльцевых зерен на мг осадка.

Палинозона 2 (55-17 см). Общий характер пыльцевых спектров аналогичен описанным в палинозоне 1, однако отмечаются достаточно резкие изменения в процентном соотношении пыльцы древесных и трав, что может свидетельствовать о нестабильных условиях для накопления пыльцы, помимо этого в палиноспектрах незначительно растет роль пыльцы *Pinus* (до 5%). Концентрация пыльцы падает до 800 пыльцевых зерен на мг осадка.

Палинозона 3 (17-0 см) характеризуется единичным присутствием пыльцы, спор и переотложенных дочетвертичных форм. Определение концентрации пыльцы в данном случае нельзя считать достаточно достоверными, однако рассчитанный с помощью модуля в программе Tillia показатель составляет 250 пыльцевых зерен на мг осадка.

Основываясь на полученных к настоящему моменту результатах, можно говорить, что в период формирования изученных палиноспектров не происходило значительных изменений в условиях развития растительности и разделение на палинозоны в большей степени связано с различиями в концентрации пыльцы. Однако можно отметить совпадение границы палинозоны 1 и палинозоны 2 с глубиной появления обломков малакофауны. Пыльцевые спектры палинозоны 1 (наиболее стабильной) достаточно хорошо согласуются с пыльцевыми спектрами голоценовых отложений острова Большой Ляховский [2]. Для более уверенной интерпретации полученных данных необходимо более детальное изучение колонки донных отложений (гранулометический анализ, микрофаунистические анализы а так же определение возраста отложений методами абсолютного датирования) и анализ поверхностных проб, полученных в регионе исследования.

Экспедиционные работы выполнялись по Государственному заданию ВНИИОкеангеология в рамках «Программы Государственного геологического картирования территории и континентального шельфа Российской Федерации» (Проведение морских геологосъемочных работ масштаба 1:1 000 000 в рамках листов Государственной геологической карты РФ S-57,58 (Восточно-Сибирское море))

Список литературы

1) Гусев Е.А., Крылов А.А., Яржембовский Я.Д., Элькина Д.В., Новихина Е.С., Костромина Н.А., Комаров А.Ю., Горбунов Д.А., Бочкарев А.В., Захаров В.Ю. О первых результатах проведения морских геологосъемочных работ масштаба 1:1 000 000 в рамках листов Государственной геологической карты РФ S-57,58 (Восточно-Сибирское море) // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2020. Выпуск 7. С. 52-59. doi:10.24411/2687-1092-2020-10708

2) Andreev A., Schirrmeister L., Tarasov P., Ganopolski A., Brovkin V., Siegert C.,Wetterich S., Hubberten H. Vegetation and climate history in the Laptev Sea region (Arctic Siberia) during Late Quaternary inferred from pollen records // Quaternary Science Reviews. 2011. Vol. 30. Is. 17–18. P. 2182-2199. doi: 10.1016/j.quascirev.2010.12.026

КОНТУРИТОВЫЕ НАНОСЫ В БАССЕЙНАХ ПАУЭЛЛ И ДЖЕЙН, МОРЕ УЭДДЕЛЛА

Кубова В.В.[1], **Лейченков Г.Л.**[1], **Гусева Ю.Б.**[2]

[1] *Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана имени академика И.С. Грамберга», г. Санкт-Петербург*

[2] *Акционерное общество «Полярная морская геологоразведочная экспедиция», г. Ломоносов*

valyakubova@yandex.ru

Ключевые слова: контуриты, придонные течения, турбидные потоки.

Настоящее исследование направлено на изучение условий осадконакопления в осадочных бассейнах Пауэлл и Джейн, расположенных в северо-западной части моря Уэдделла (Антарктика), с идентификацией контурных наносов, выявлением их пространственного развития и реконструкции направления и энергии палеотечений в позднем кайнозое.

Движение водных масс в море Уэдделла направлено по часовой стрелке. На глубинах свыше 2000 м водные массы представляют собой придонные воды моря Уэдделла (WSBW).

Глубоководные бассейны Пауэлл и Джейн сформировались в задуговых обстановках, в олигоцене - раннем миоцене (30-20 млн. лет назад, за счет отделения Южно-Оркнейского микроконтинента (ЮОМ) от Антарктического полуострова) и в среднем миоцене (20-15 млн лет назад), соответственно [1].

Осадочный чехол в бассейнах распределен неравномерно и достигает мощностей 2,5 - 3 км. В осадочном чехле бассейнов Пауэлл и Джейн выделяется два структурных этажа: рифтовый и пострифтовый, а также 7 сейсмических горизонтов. Пострифтовый этаж сложен доледниковыми и синледниковыми комплексами. Возраст горизонтов определялся на основании корреляции с данными бурения и представлений об основных тектонических и палеогеографических событий в эволюции региона и составляет (снизу-вверх): 33 и 21 (возраст начала спрединга в бассейнах Пауэлл и Джейн), 20, 17, 13-12 (оледенение Западной Антарктиды), 6-5, 4-3 млн лет.

Для выполнения исследований были проанализированы сейсмические профили, полученные в 63 РАЭ (2018 г.) с борта НИС «Академик Карпинский», а также суммированные разрезы по методу общей глубинной точки (ОГТ), доступные в международной библиотеке антарктических сейсмических данных по Антарктике (SDLS, sdls.ogs.trieste.it). Интерпретация профилей проводилась в программном обеспечении (ПО) Kingdom.

В бассейне Пауэлла доминирует отделенный тип наносов. Тело контурита вытянуто вдоль северной окраины бассейна в направлении движения придонных течений WSBW, его мощность возрастает от центра бассейна к периферии. Ширина контурита достигает значений в 60-100 км, мощность - 300-500 м. Максимальная мощность контурита отмечается у подножия склона. Канал, отделяющий нанос от склона, со временем мигрирует вверх по склону, становится менее глубоким и выраженным. Это свидетельствует о постепенном ослаблении придонных течений и их смещении к периферии бассейна.

Помимо отделенного наноса в бассейне Пауэлла также встречается пластерный тип наноса в южной, северной и западной частях. Ширина пластерного наноса может достигать 10-20 км. В южной части пластерный нанос покрывает оба склона хребта, разделяющего бассейны Пауэлл и Ларсена, и заполняет понижения в рельефе. В западной части бассейна многочисленные поднятия фундамента привели к разветвлению придонных течений и формированию ограниченных наносов. Также, турбидные потоки, поступающие со склонов ЮОМ, модифицировали ограниченные и отделенные наносы и сформировали сложные наносы. Отдельные наносы ориентированы параллельно склону и достигают 100 км в длину, 20-25 км в ширину и 400-600 м в толщину.

Присутствие контуритовых наносов как в глубоководных частях бассейна, так и на континентальных склонах, свидетельствует о том, что придонные течения развиты на широком спектре

глубин: от 1000 до 4000 м и глубже.

В расположенном к югу бассейне Ларсена встречаются пластерные и отделенные наносы. Последние встречаются преимущественно вдоль хребта, отделяющего бассейн Ларсена от бассейна Джейн. Тело контурита ориентировано с ЮЗ на СВ. В бассейне Джейн представлены различные типы наносов. Преобладают преимущественно покровные наносы, повторяющие рельеф фундамента. Тело контурита занимает практически всю площадь бассейна и, соответственно, вытянуто с ЮЗ на СВ. В ширину контурит достигает 90-100 км. Вдоль южной окраины бассейна контурит отделен от хребта вдольсклоновым каналом и представляет собой отделенный нанос. Ограниченные наносы имеют преимущественно линзовидную выпуклую форму, обусловленную активным эрозионным действием влольсклоновых каналов, расположенных по окраинам.

Глубоководное сообщение водных масс между бассейнами Пауэлл и Ларсена началось уже в позднем олигоцене [2]. Но, вероятно, именно начало оледенения западной Антарктики способствовало развитию и усилению придонных течений в исследуемых бассейнах, так как контуриты формируются выше горизонта с возрастом 12 млн лет. В СЗ и СВ частях бассейна Пауэлл выше этого горизонта вдоль склона прослеживаются палеоканалы. Их русла сохраняются или даже становятся более контрастными вверх по разрезу, что свидетельствует о вероятном усилении придонных течений. Выше горизонтов с возрастом 6-5 и 4-3 млн лет начинается формирование осадочных волн в бассейне. Современный вдольсклоновый канал в северной части бассейна имеет менее выраженный рельеф и смещен вверх по склону относительно палеоканалов. Это означает, что в плиоцене произошло смещение и ослабление придонного течения.

В районе исследований был выявлен широкий спектр контуритовых наносов: отделенные, ограниченные, пластерные и покровные. Часть из них формировалась во взаимодействии с отложениями турбидных потоков. Зарождение придонных течений в районе исследований началось с раскрытием бассейна Пауэлл в позднем олигоцене и в последствии в бассейне Джейн. С началом оледенения западной Антарктики (12 млн лет назад) придонные течения стали более активными и привели к формированию контуритовых наносов в исследуемых бассейнах. Вероятно, наибольшего развития придонные течения достигли к периоду 6 млн лет назад, а к настоящему времени стали слабее или расфокусировались.

Исследование проводится в рамках проекта РФФИ 19-05-00858

Список литературы

1) Maldonado A., Barnolas A., Bohoyo F., Escutia C., Galindo-Zaldivar J., Hernandez-Molina J., Jabaloy A., Lobo F.J., Nelson C.H., Rodriguez-Fernandez J., Somoza L., Vazquez J.-T. Miocene to Recent contourite drifts development in the northern Weddell Sea (Antarctica) // J. Global and Planetary Change. 2005. V. 45. P. 99-129

2) Pudsey C. The Weddell Sea: contourites and hemipelagites at the northern margin of the Weddell Gyre // Geological society. 2002. V. 22. P. 289-303

МИГРАЦИЯ ВНУТРИТРОПИЧЕСКОЙ ЗОНЫ КОНВЕРГЕНЦИИ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ СВОЙСТВ ПРИДОННЫХ ВОД В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЭКВАТОРИАЛЬНОЙ АТЛАНТИКИ В ТЕЧЕНИЕ ПОСЛЕДНИХ 513 ТЫСЯЧ ЛЕТ

Кулешова Л.А.[1], **Баширова Л.Д.**[1,2], **Пономаренко Е.П.**[1]

[1] *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

[2] *Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград*

lubov_kuleshova@mail.ru

Ключевые слова: палеоокеанологические реконструкции, осадконакопление, стабильные изотопы, фораминиферы, котловина Зеленого Мыса.

Исследуемая в рамках данной работы колонка донных осадков АНС-33047 (08°16.380' с.ш., 31°42.870' з.д., глубина 4027 м, длина 516 м) отобрана в южной части котловины Зеленого Мыса (к востоку от Северо-Атлантического хребта). Эта область Атлантического океана находится под влиянием северного потока Северного экваториального поверхностного противотечения (сСЭП) [7], а место отбора колонки в настоящее время омывается нижним слоем Северо-Атлантической глубинной водной массы (САГВ). Среднегодовая современная поверхностная температура в районе исследования составляет около 25-26 °C (WOA18) [3]. Большую часть года на данный район оказывает влияние внутритропическая зона конвергенции (ВЗК) - область сходящихся пассатов и восходящего воздуха, характеризующаяся обильным выпадением осадков [5, 6].

Исследование стабильных изотопов кислорода и углерода, содержания карбоната кальция, а также анализ микропалеонтологических данных - планктонных (ПФ) и бентосных (БФ) фораминифер - в осадках колонки АНС-33047 позволили реконструировать ледниково-межледниковую изменчивость поверхностных и придонных условий в восточной экваториальной Атлантике за последние 513 тысяч лет. Возрастная модель основана на сопоставлении изотропно-кислородных данных, а также результатов измерения $CaCO_3$ и магнитной восприимчивости в осадке. Потепление поверхностного слоя и, как следствие, возможная интенсификация сСЭП, приводящая к углублению перемешанного слоя в исследуемом районе, зарегистрировано в пределах ранних интервалов морских изотопных стадий (МИС) 11, 9e, 1, на границе МИС 10/9, а также в МИС 9a. Ослабление и/или миграция сСЭП на юг происходили в ледниковые интервалы и стадиалы межледниковий: МИС 12c, 12a, 9b, 8, 7b, 6a, а также в начале МИС 4 и 2. Кроме того, во время МИС 5e наблюдается возможное смещение сСЭП на юг по сравнению с ее современным положением, судя по относительно невысоким реконструированным температурам поверхности. Начиная с поздней МИС 5, отмечено постепенное углубление фотического (перемешанного) слоя.

Зарегистрированы смещения ВЗК по индексу отношения определенных видов ПФ (Portilho-Ramos et al., 2017): $R_{N/Gg}$ = (%*Neogloboquadrina incompta* + %*Neogloboquadrina dutertrei*) / ((%*N. incompta* + %*N. dutertrei*) + %*Globigerinita glutinata*). Опираясь на современное положение ВЗК и район отбора колонки, мы интерпретировали повышенные значения примененного индекса как миграции этой зоны на юг, к экватору, охлаждение поверхностных температур и обмеление перемешанного слоя за счет усиления потоков воздуха, движущихся с востока на запад, и поднятия глубинных вод к поверхности (апвеллинг). Так, смещение ВЗК в южном направлении было зарегистрировано в интервалах МИС 12a, 9d-c, 7d-c, 5d, 5b, 3-2 и поздней МИС 1. Закономерно предположить, что ВЗК мигрировала на юг и в пределах ледниковых интервалов, однако не представляется возможным с высокой степенью вероятности утверждать об этом ввиду сильного эффекта растворения раковин ПФ. В начале МИС 11, 9e, 5e и 1, а также в МИС 7d и 5c отмечается северное положение ВКЗ, сопровождающееся потеплением поверхностного слоя и повышением биопродуктивности. Кроме того, в конце МИС 13 также отмечается миграция этой зоны на север, однако не столь значительная.

Данные изучения $\delta^{13}C_{Cw}$ в раковинах бентосного вида *Cibicidoides wuellerstorfi* свидетельствуют о том, что в среднем плейстоцене-голоцене район исследования находился под попеременным влиянием вод антарктического (палео-ААДВ) и североатлантического (палео-САГВ) происхождения. Прослеживается орбитальная изменчивость в распределении глубинных и придонных водных масс в южной части котловины Зеленого Мыса на глубине около 4000 м в течение последних 513 тыс. лет. Наблюдаемая ледниково-межледниковая изменчивость подтверждает гипотезу об экспансии палео-САГВ на юг во время теплых климатических фаз и сокращении продукции этих вод в пределах холодных климатических интервалов [1, 2, 4]. Тем не менее, связь между свойствами глубинных вод и климатом не является линейной. По-видимому, влияние вод североатлантического происхождения в течение ледниковых событий значительно ослаблялось до 250 тыс. лет - в это время место отбора колонки омывалось водными массами из Южного океана, которые агрессивны к карбонатным компонентам осадка. В свою очередь, доминирование палео-ААДВ прослеживается не только в ледниковые интервалы, но и в межледниковые стадиалы (МИС 9b и 7b). В МИС 3 и 12b осадконакопление в районе исследования происходило под влиянием вод смешанного происхождения - переходной зоны между вышеупомянутыми палео-САГВ и палео-ААДВ.

Экспедиционные исследования проведены в рамках госзадания ИО РАН (тема №0128-2021-0012), датирование материала, микропалеонтологический анализ и интерпретация данных выполнены при поддержке гранта РНФ №19-17-00246.

Список литературы

1) Broecker W.S., Peteet D.M., Rind D. Does the ocean–atmosphere system have more than one stable mode of operation? // Nature. 1985. Vol. 315. P. 21–26.

2) Berger W.H., Wefer G. Expeditions into the Past: Paleoceanographic studies in the South Atlantic / In: Wefer G., Berger W.H., Siedler G., Webb D.J. (Eds.). The South Atlantic: Present and Past Circulation // Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1996. P. 363–410.

3) Garcia H.E., Boyer T.P., Baranova O.K. et al. World Ocean Atlas 2018 [Electronic resource]: Product Documentation / Mishonov, A. (Tech. Ed.). 2019. URL: https://odv.awi.de/data/ocean/world-ocean-atlas-2018 (дата обращения: 14.12.2020).

4) Ovsepyan E.A., Ivanova E.V. Glacial–interglacial interplay of southern-and northern-origin deep waters in the São Paulo Plateau–Vema Channel area of the western South Atlantic // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2019. Vol. 514. P. 349–360.

5) Portilho-Ramos R.C., Chiessi C.M., Zhang Y. et al. Coupling of equatorial Atlantic surface stratification to glacial shifts in the tropical rainbelt // Scientific Reports. 2017. Vol. 7. P. 1561.

6) Schneider T., Bischoff T., Haug G.H. Migrations and dynamics of the intertropical convergence zone // Nature. 2014. Vol. 513. P. 45–53.

7) Vilela I., Araujo M., Tyaquiçã P., Veleda D. Empirical orthogonal function analysis of satellite-derived currents in the tropical Atlantic // Tropical oceanography. 2018. Vol. 46. № 2. P. 1–24.

ПОЗДНЕЧЕТВЕРТИЧНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В СООБЩЕСТВЕ БЕНТОСНЫХ ФОРАМИНИФЕР В РАЙОНЕ КОНТУРИТОВОГО ДРИФТА ГАРДАР (СЕВЕРО-ВОСТОЧНАЯ ЧАСТЬ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА)

Кулешова Л.А.[1], **Баширова Л.Д.**[1,2]

[1]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

[2]*Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград*

lubov_kuleshova@mail.ru

Ключевые слова: палеоокеанологические реконструкции, биопродуктивность, поздний плейстоцен, голоцен.

Настоящее исследование посвящено изучению сообществ бентосных фораминифер (БФ) в колонке донных осадков АИ-3359 (59°29.885' с.ш. 24°42.105' з.д., 2517 м, длина 500 см), отобранной в Западно-Европейской котловине на дрифте Гардар (к востоку от хребта Рейкьянес). Микропалеонтологический анализ раковин БФ проведен в верхних 400 см разреза, что с учетом пятнадцати масс-спектрометрических радиоуглеродных датировок соответствует временному интервалу последних 30 тыс. лет. Кластерный анализ, примененный к матрице процентного содержания видов БФ в программе PAST, позволил выделить два интервала (кластера) в исследуемой колонке, характеризующихся определенными комплексами БФ. Интервал I отражает распределение фораминифер в пределах 401-370 см (29.5-21.5 т.л.н.). Интервал II охватывает верхние 360 см колонки, соответствующие последним 18.4 тыс. лет. Граница между двумя кластерами проходит на уровне 20 тыс. лет, что совпадает с переходом от максимума последнего оледенения (МПО) к ранней дегляциации в позднем плейстоцене. Данная граница маркируется резким увеличением доли доминантного вида *E. exigua* в сообществе БФ и одновременным снижением процентного содержания акцессорных видов *Alabaminella weddellensis*, *Triloculina trihedra*, *Ioanella tumidula* и *Pullenia quinqueloba, Oridorsalis umbonatus, Melonis pompilioides*.

Судя по кривым распределения раковин БФ в осадках колонки АИ-3359, можно констатировать, что изменчивость комплексов определяется, главным образом, вариациями численности вида *E. exigua,* содержание которого составляет >50% в большинстве изученных образцов. Популяции данного вида развиваются преимущественно в олиготрофных районах, где наблюдаются сезонные и эпизодические вспышки цветения фитопланктона, приводящие к пульсационному поступлению органического вещества (ОВ) на дно [1]. Кроме того, *E. exigua* является видом-индикатором сезонного ледового покрова - доминирует в области влияния краевой зоны морского льда, где питается свежим лабильным ОВ [1].

Закономерно предположить, что рост численности вида *E. exigua* во время ранней дегляциации (20-17.5 т.л.н.) отражает кратковременные вспышки увеличения биопродуктивности поверхностных вод при постепенном сокращении ледового покрова в условиях потепления климата. Несмотря на то, что граница Северного полярного фронта в это время находилась южнее района исследования [3], повышение биопродуктивности над дрифтом Гардар могло быть связано с удлинением безледного периода в течение летнего сезона, также лед мог дрейфовать в указанном районе в период весеннего таяния. О непродолжительных интервалах поступления ОВ на дно свидетельствует резкое увеличение ювенильных форм БФ в осадке. В течение этих кратковременных периодов развивались популяции вида *E. exigua,* которые практически мгновенно заселяли фитодетритовые осадки, однако условия оказывались недостаточно благоприятными для развития взрослых особей в силу недостатка пищи вблизи дна.

Минимальное содержание *E. exigua* в МПО (23.8%) обусловлено не только сокращением поступления экспортной продукции на дно (судя по пониженным значениям численности БФ), но и связано с интенсивным растворением карбонатных раковин данного вида, неустойчивого к кор-

розии. Усиление растворения в интервале 25-21 тыс. лет фиксируется по присутствию в комплексе значительной доли толстостенных раковин БФ (*T. trihedra, P. quinqueloba, O. umbonatus, M. pompilioides*) и, вероятно, является результатом воздействия агрессивных, богатых CO_2 придонных вод антарктического происхождения [4].

Пик содержания вида *E. exigua* приходится на начало раннего голоцена - 88.4%. По-видимому, в это время акватория над дрифтом Гардар находилась под влиянием Северного полярного фронта, характеризующегося повышенной сезонно контрастной продуктивностью. На это указывает и резкий скачок численности полярного вида планктонных фораминифер (ПФ) *Neogloboquadrina pachyderma* (s) в колонке АИ-3359 - от больших величин в пределах позднего дриаса до практически нулевых значений с наступлением голоцена. По мере того, как Северный полярный фронт отходил на север, условия сильно выраженной сезонности в поступлении ОВ на дно в районе отбора колонки, вероятно, сменялись условиями умеренно выраженного сезонного контраста с несколькими вспышками цветения фитопланктона в течение года. Об этом свидетельствуют сокращение процентного содержания *E. exigua* до 62% 8.8 тыс. лет назад и увеличение доли видов-индикаторов высокой биопродуктивности (например, представителей родов *Bolivina, Bulimina, Fursenkoina* - до 6%), а также несколько повышенные значения органического углерода. Увеличение числа эпизодов цветения фитопланктона в фотическом слое в течение года связано с приближением к району исследования Субарктического фронта, что также согласуется с высоким содержанием в популяции ПФ субполярного вида *Turborotalia quinqueloba*.

В среднем-позднем голоцене, в целом, наблюдается тренд снижения доли *E. exigua* в сообществе БФ. Вместе с тем увеличиваются значения численности ПФ и индекса биоразнообразия, отражающие рост биопродуктивности поверхностных вод. Однако, по-видимому, в течение 4.5-8 тыс. лет условия для развития фитопланктона были более благоприятными, чем во время последних 4.5 тыс. лет. Повышенная биопродуктивность 4.5-8 тыс. лет назад, возможно, связана с увеличением поставки биогенных элементов в фотический слой вследствие активизации океанской циркуляции во время климатического оптимума.

Исследование видового разнообразия комплексов БФ в верхней части позднего плейстоцена проведено в рамках госзадания ИО РАН (тема №0128-2021-0012), микропалеонтологический анализ голоценовых осадков выполнен при поддержке гранта РНФ (№18-77-10016).

Список литературы

1) Кулешова Л.А., Пономаренко Е.П. О роли видов бентосных фораминифер Alabaminella weddellensis и Epistominella exigua в палеоокеанологических реконструкциях // Вестник БФУ им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. 2018. № 4. С. 94-104.

2) Marchitto T.M., Broecker W.S. Deep water mass geometry in the glacial Atlantic Ocean: A review of constraints from the paleonutrient proxy Cd/Ca // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2006. Vol. 7. №. 12. Q12003.

3) Ruddiman W.F., McIntyre A. The North Atlantic Ocean during the last deglaciation // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 1981. Vol. 35. P. 145–214.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПОРТАТИВНОГО РЕНТГЕНО-ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗАТОРА OLYMPUS VANTA-C ДЛЯ АНАЛИЗА ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ДОННЫХ ОСАДКОВ (НА ПРИМЕРЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ И СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ АТЛАНТИКИ)

Ласкина Д.Н.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН , г. Калининград

drlaskina@gmail.com

Ключевые слова: геология океана, рентгено-флуоресцентный анализ, Olympus Vanta, Балтийское море, Северо-Восточная Атлантика.

Рентгено-флуоресцентный анализ (РФА) элементного состава донных осадков является быстрым, не нарушающим целостность осадка и не требующим долгой пробоподготовки методом. Применение в исследованиях РФА дало возможность получать данные высокого разрешения за относительно небольшой период времени [1]. Применение портативного анализатора ещё больше упрощает задачу и делает полевые исследования более доступными.

Целью работы является сравнение результатов измерений элементного состава донных осадков, полученных с помощью портативного РФА и традиционно используемых для данного анализа стационарного РФА и атомно-сорбционного анализатора.

Нами был использован РФ-анализатор Olympus Vanta-C с рентгеноской трубкой 4 Вт с родиевым анодом и кремниевым дрейфовым детектором. Прибор оснащён встроенным барометром для автоматической поправки на высоту и атмосферное давление. Данный прибор может работать при температуре воздуха от -10°C до 50°C и обладает влаго- и пылезащитным корпусом. Прибор позволяет определить 43 элемента от Mg до U [2]. Для анализа одной пробы (1 см колонки) требуется 6 минут.

В ходе работы были изучены элементный состав следующих колонок: АИ-56023 (Балтийское море) и АНС-43006 (Северо-Восточная Атлантика). Было проанализировано 22 образца, по 11 из каждой колонки. Перед РФА приборами Olympus Vanta осадочная колонка зачищалась и на неё по всей длине накладывалась специальная плёнка толщиной 5 мкм. Измерения проводились для осадка натуральной влажности. Повторно проводились измерения для высушенных при 100°C пробах, отобранных в кюветы на тех же горизонтах.

Пробоподготовка к анализу на стационарном РФ-анализаторе состояла в следующем: отдельные пробы из колонки донных осадков просушивались и растирались до однородной порошкообразной массы и затем прессовались в форме таблеток в кюветы из борной кислоты. Анализ на стационарном РФА позволяет определить 12 элементов (Sr, Pb, As, Zn, Cu, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, V и Ti).

Атомно-абсобционный анализ проводился с помощью спектрометра Varian AA240FS, были определены 14 элементов (Fe, Mn, K, Na, Ca, Mg, Cu, Zn, Co, Ni, Cr, Cd, Pb и As). Навеска пробы (0,25 г) нагревалась в печи до температуры 500 °C. Далее добавляли 5 мл плавиковой кислоты и 1 мл хлорной кислоты и высушивали. Затем приливали 5 мл соляной кислоты и нагревали до растворения солей. Полученный раствор переносили в колбу, и доводили до метки водой. Далее определялось содержание элементов в полученных растворах на атомно-абсорбционном спектрометре. Для контроля правильности хода анализа закладывались параллельные образцы исследуемых проб, а также стандартный образец почвы с известным содержанием определяемых элементов.

Проведённые исследования позволили выявить ряд как плюсов так и минусов каждого из приборов. Несомненным преимуществом Olympus Vanta является его портативность, в отличие от стационарного РФА и атомно-абсорбционного анализатора, им крайне легко пользоваться в

полевых условиях, например, проводить измерения колонок донных осадков непосредственно в рейсе. Также количество измеряемых элементов у него гораздо больше, чем у стационарных анализаторов. Кроме того, можно отметить несложную пробоподготовку: в большинстве случаев для анализа требуется только зачистить керн и накрыть его специальной плёнкой. Недостатком портативного РФА Olympus Vanta-C является необходимость передвигать прибор вдоль колоноки вручную.

Для сравнения результатов анализа, проведенного на различных приборах, были построены точечные диаграммы с добавлением линии тренда и определением коэффициента корреляции. По одной оси откладывались значения Olympus Vanta, а по другой - значения сравниваемого прибора. Сравнение результатов анализа колонки АНС-43006, отобранной в Восточной Атлантике, с традиционным РФА показало наибольший коэффициент корреляции (0,7-0,9) для таких элементов как Ti, Mn, Fe, Ni, Sr, As и Zn. Для Co, Cu, и Pb коэффициент оказался низким (0,1; 0,4 и 0,2 соответственно). Сравнение с результатами атомно-абсорбционного анализа той же колонки показало большие коэффициенты для Fe, Mn, K, Zn и Ni (0,7-0,9).

В колонке АИ-56023, отобранной в Балтийском море, наблюдались гораздо более низкие коэффициенты корреляции. Максимальные из них в сравнении с анализом на стационарном приборе составляли 0,7 (Fe, Ni, Sr, As). В сравнении с атомно-абсорбционным анализом только Fe показало коэффициент 0,7, коэффициенты всех остальных сравниваемых элементов оказались ниже (0,003-0,4). Вероятно это связано с высокой обводнённостью донных отложений Балтийского моря, так как влага сильно влияет на результаты РФА [1] . Это подтверждается сравнением результатов анализа сухих проб Olympus Vanta-C и стационарными приборами. В колонке АНС-43006, где Co, Cu и As остались со сравнительно низкими коэффициентами корреляции (0,4-0,6), V, Mn и Pb имели коэффициенты 0,7-0,8, а Ti, Fe, Ni, Zn и Sr имели коэффициенты больше 0,9. Также результаты анализа сухих проб колонки АИ-56023 показали больше высоких коэффициентов корреляции; Mn, Fe, Zn, As и Sr (0,7-0,9), а низкие коэффициенты характеризовались диапазоном от 0,04 (Cu) до 0,5 (Ti).

Таким образом, сравнение элементного состава донных осадков, полученного портативным РФА Olympus Vanta-C и традиционными методами, показало их достаточно хорошую сходимость, особенно при измерениях высушенных образцов. Портативный РФА удобно применять для экспресс-анализа как в полевых условиях (в экспедиции), так и в лаборатории. Однако слабая корреляция значений некоторых элементов, полученных разными методами, показывает, что предпочтительнее использование отношений элементов, а не их абсолютных содержаний. Множество показателей, разработанных в последние годы на основе экспресс-геохимического анализа, позволяют успешно использовать результаты, полученные портативным РФА, для литологических и палеоокеанологических исследований.

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

Список литературы

1) Croudace I.W., Rothwell R. G. Micro-XRF Studies of Sediment Cores – Dordrecht: Springer Netherlands, 2015. 656 p.

2) Серия Vanta. Рентгенофлуорисцентный анализатор. Руководство по эксплуатации; Перевод английского издания Vanta Family – X-Ray Fluorescence Analyzer; User's Manual – DMTA-10072-01EN-Rev.E, August 2019 – 162 с.

СОСТАВ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ДОННЫХ ОСАДКОВ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ШЕЛЬФА МОРЯ ЛАПТЕВЫХ ПО МЕТОДУ ROCK-EVAL

Полтавская Н.А.[1], Гершелис Е.В.[1], Гринько А.А.[1], Рубан А.С.[1], Гусева Н.В.[1], Семилетов И.П.[1,2]

[1]Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

[2]Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Владивосток

geo.ikigai@ya.ru

Ключевые слова: органический углерод, биогеохимические процессы, донные осадки, гранулометрический состав, пиролиз, море Лаптевых, шельф морей Восточной Арктики.

Исследования наземного органического углерода (ОУ) в арктическом регионе приобретает все больший интерес в связи с усиливающийся деградацией наземной, прибрежной и подводной мерзлоты в условиях глобального потепления. Дестабилизация мерзлоты инициирует интенсивное высвобождение древнего органического углерода, ранее законсервированного в многолетнемерзлых толщах [1]. Экспорт дополнительных объемов реликтового углерода с продуктами береговой эрозии и твердым речным стоком запускает сложные биогеохимические механизмы, оказывающие потенциальное влияние на хрупкую арктическую экосистему. Таким образом, для формирования объективной оценки вклада ремобилизованного углерода в функционирование углеродного цикла необходимо тщательно изучить источники, состав и механизмы трансформации органического вещества (ОВ), хранящегося в донных осадках арктических морей.

Уникальным регионом для изучения распределения и преобразования терригенного ОУ является шельф морей Восточной Арктики, самый широкий и мелководный в мире континентальный шельф. Данный регион получает значительный приток терригенного ОУ, как за счет увеличения стока Великих Сибирских рек (в частности, р. Лена), дренирующих обширные сибирские районы вечной мерзлоты, так и за счет интенсивной прибрежной эрозии, богатой органическим веществом [2]. По предварительным оценкам, только с продуктами береговой эрозии в воды восточно-арктических морей поступает порядка 44 $\pm$10 Мт наземного ОУ [2]. Прибрежные зоны моря Лаптевых характеризуются наиболее высокими темпами береговой эрозии [3].

В данной работе исследуются источники, распределение и состояние ОВ, накопленного в поверхностных отложениях юго-восточной части шельфа моря Лаптевых, район губы Буор-Хая. Мы охарактеризовали осадки с помощью индикаторов Rock-Eval наряду с детальным гранулометрическим составом отложений для характеристики гидродинамических режимов, действующих на шельфе. Исследование основано на изучении 22 проб осадочного материала, отобранного во время комплексных арктических морских экспедициях (73 рейс 2018 г., 78 рейс 2019 г.) на НИС «Академик Мстислав Келдыш». Исследования проводились на базе Международной научно-образовательной лаборатории изучения углерода арктических морей Томского политехнического университета.

Измерения размера зерен проводили с помощью лазерного анализатора размера частиц Shimadzu SALD-7101. Результаты пересчитывали на фракции глины (<2 мкм), мелкого ила (2-10 мкм), сортируемого ила (10-63 мкм) и песка (>63 мкм). В отложениях вдоль исследуемого профиля по гранулометрическому составу выделялись с определенными пропорциями глинистая (9,1-61,7%), алевритовая (38,1-90,9%) и песчаная (0,1-0,2%) фракции. В настоящей работе мы наблюдаем общее преобладание мелкозернистых (<63 мкм) поверхностных отложений, что можно объяснить стабильной подледной седиментационной средой.

Мы применили метод пиролитического анализа на приборе Rock-Eval 6 Turbo с использованием специального аналитического режима, адаптированного для незрелого органического вещества

с целью оценки структуры и состава растворимой и нерастворимой части ОВ. По результатам анализа можно сказать, что концентрации органического углерода (Total organic carbon, TOC) снижались с увеличением расстояния от береговой линии. В целом, характеристика группового состава TOC говорит о достаточно высокой степени преобладания наземного ОВ и устойчиво коррелирует с ранее опубликованными данными [3,4]. На протяжении всего разреза во всех образцах мы наблюдали повышенное значение кислородного индекса OI (до 292 мг/г), что соответствует пику S3 (количество CO_2 относительно TOC). Параметр может указывать на экспорт уже окисленного ОВ с продуктами береговой эрозии и речным стоком. Связь между HI и OI, мы представили в виде диаграммы типа Ван Кревелена, широко используемой для различения источников зрелого органического вещества в осадочных породах. Все значения HI и OI попадают в ограниченную область, что указывает на относительно низкую долю углеводородов и более высокое содержание кислородосодержащих соединений в органическом материале (ОМ) поверхностных отложений исследуемого района. Эту указывает на сходную природу ОМ для поверхностных отложений, как для типа II (планктонного) и типа III (гуминового) керогена в древних отложениях. Была отмечена лишь слабая положительная корреляция между HI, OI и долей глинистых частиц (менее 2 мкм в диаметре) только для верхнего слоя осадка (0-2 см).

В целом, использование метода Rock-Eval позволяет дать общую характеристику распределения, источников и степени деградации ОВ вдоль исследуемого профиля в юго-восточной части шельфа моря Лаптевых. Данная методика может быть успешна применена наряду с традиционными геохимическими индикаторами для того, чтобы способствовать пониманию особенностей биогеохимического режима Арктического региона.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского Научного Фонда №19-77-00067.

Список литературы

1) Semiletov I. et al. Acidification of East Siberian Arctic Shelf waters through addition of freshwater and terrestrial carbon //Nature Geoscience. – 2016. – Т. 9. – №. 5. – С. 361-365.

2) Vonk J. E. et al. Activation of old carbon by erosion of coastal and subsea permafrost in Arctic Siberia //Nature. – 2012. – Т. 489. – №. 7414. – С. 137-140.

3) Vetrov A. A., Romankevich E. A., Belyaev N. A. Chlorophyll, primary production, fluxes, and balance of organic carbon in the Laptev Sea //Geochemistry International. – 2008. – Т. 46. – №. 10. – С. 1055.

4) Bröder L. et al. Fate of terrigenous organic matter across the Laptev Sea from the mouth of the Lena River to the deep sea of the Arctic interior //Biogeosciences. – 2016. – Т. 13. – №. 17. – С. 5003-5019.

РЕКОНСТРУКЦИЯ УСЛОВИЙ ГДАНЬСКОГО БАССЕЙНА В ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ ПО НОВЫМ ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ СЕДИМЕНТАЦИОННЫХ КОЛОНОК

Пономаренко Е.П., Кулешова Л.А.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

ponomarenko.katharina@gmail.com

Ключевые слова: Балтийское море, придонная циркуляция, бентосные фораминиферы, потери при прокаливании, затоки североморских вод.

Балтийское море характеризуется устойчивой двухслойной стратификацией, обусловленной наличием пикноклина, разделяющего поверхностный и глубинный слои. Обогащенные кислородом, соленые североморские воды оказывают ключевое влияние на гидрологические и гидрохимические условия изолированного придонного слоя. Гданьский бассейн расположен в юго-восточной части Балтийского моря; средняя глубина бассейна — около 40 м, максимальная глубина — 118 м (Гданьская впадина) [3].

Настоящее исследование является продолжением изучения коротких седиментационных колонок АБП-43026 (55 см), АБП-43035 (41 см) и АБП-43105 (49 см), отобранных в Гданьском бассейне во время 43-го рейса НИС "Академик Борис Петров" (июль - август 2018 г.) с использованием трубки конструкции Ниемисто. Целью исследования была реконструкция условий среды в юго-восточной части Балтийского моря в позднем голоцене, обусловленных вариациями поступления североморских вод. На предыдущем этапе выполнено литологическое описание колонок, а также микропалеонтологический и геохимический анализы [6]. На данном этапе исследования выполнен гранулометрический анализ, а также определен возраст материала колонок методом радиоуглеродного датирования валового осадка, отобранного из двух горизонтов каждой колонки. Результаты, полученные на предыдущем этапе, были пересмотрены в рамках новой возрастной модели, и были восстановлены палеоокеанологические условия среды в течение последних 7 тыс. лет. В исследованных осадках преобладали виды рода *Elphidium*, присутствие которых свидетельствует о солености придонных вод не менее 12 епс [1, 2].

Повышенное содержание раковин бентосных фораминифер (БФ) в колонках донных осадков указывает на усиление водообмена между Балтийским и Северным морями во время Термического Максимума Голоцена (ТМГ), переходного периода между ТМГ и Римским Теплым Периодом (РТП), а также в течение Средневекового Климатического Оптимума (СКО). Усиление затоков в период окончания РТП и начала Темных Веков (ТВ) наблюдается только в Гданьской впадине: скорее всего, объема поступающих вод затока в данное время было недостаточно для достижения возвышенного в рельефе Гданьско-Готландского порога. Повышение активности затоков было вызвано положительной фазой североатлантического колебания и, следовательно, преобладанием сильных западных ветров [4, 5]. Последнее, в свою очередь, привело к активизации водообмена между Балтийским и Северным морями. Увеличение среднего размера частиц осадка в интервале, предшествующем ТМГ, и в пределах СКО отражает усиление придонной гидродинамики в данные отрезки времени.

Повышенные значения потерь при прокаливании являются индикатором увеличения продуктивности поверхностных вод, которое обусловлено потеплением климата во время ТМГ, переходного интервала между ТМГ и РТП, начала РТП, переходного интервала от ТВ к СКО, в течение СКО и Современного Периода Потепления (СП). Наличие гипоксических условий в эти периоды способствовало накоплению органического вещества в осадках. В пределах данных временных интервалов частота и объем затоков обогащенных кислородом североморских вод оказывались недостаточными для полного насыщения кислородом придонных горизонтов, тем самым приводя к негативному воздействию и усилению стратификации водной толщи. Накопление слоистых

осадков без следов биотурбации в верхних сантиметрах разрезов свидетельствует об усилении гипоксии придонных вод ввиду современного потепления климата, а также негативного антропогенного влияния, усиливающего эвтрофикацию. Низкие концентрации БФ в осадках СП указывают на снижение количества затоков, обусловленное негативной фазой NAO [4, 5].

Экспедиционные исследования проводились при финансовой поддержке государственного задания ИО РАН (тема № 0128-2021-0012). Анализ донных отложений выполнен за счет гранта РФФИ № 19-45-393008.

Список литературы

1) Binczewska A., Moros M., Polovodova-Asteman I. et al. Changes in the inflow of saline water into the Bornholm Basin (SW Baltic Sea) during the past 7100 years — evidence from benthic foraminifera record // Boreas. 2017. Vol. 47, № 1. P. 297—310.

2) Brodniewicz I. Recent and some Holocene Foraminifera of the southern Baltic Sea // Acta Palaeontologica Polonica. 1965. Vol. 10, № 2. P. 131—260.

3) Emelyanov E.M. Geology of the Gdansk Basin, Baltic Sea / Kaliningrad: Yantarny skaz, 2002. 496 pp.

4) Schimanke S., Meier H.E.M., Kjellstrom E. et al. The climate in the Baltic Sea region during the last millennium simulated with a regional climate model // Climate of the Past Discussions. 2012. Vol. 8, № 2. P. 1419—1433.

5) Trouet V., Esper J., Graham N.E. et al. Persistent positive North Atlantic oscillation mode dominated the Medieval Climate Anomaly // Science. 2009. Vol. 324. P. 78—80.

6) Пономаренко Е.П., Кулешова Л.А. Палеоэкологические условия Гданьского бассейна в голоцене по данным комплексного анализа коротких седиментационных колонок // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. 2020. № 4. С. 69—82.

НОВЫЕ ДАННЫЕ О СОДЕРЖАНИИ ТЯЖЁЛЫХ МИНЕРАЛОВ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ДОННЫХ ОСАДКАХ ЕВРАЗИЙСКОЙ ЧАСТИ ШЕЛЬФА СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

Попова Е.А.

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана имени академика И. С. Грамберга» (ФГБУ «ВНИИОкеангеология»), Санкт-Петербург

lena-popova-l@mail.ru

Ключевые слова: поверхностные донные осадки, Северный Ледовитый океан, тяжёлые минералы, шельфовые моря, минералогические провинции.

На состав осадков в Северном Ледовитом Океане (СЛО) влияет множество факторов: климат, течения, морфология, речной сток, геология областей сноса. Так как тяжёлые минералы поступают в океан с континента и не могут переноситься на значительные расстояния, их содержание в поверхностных осадках явно отражает речной сток и состав пород, которые являются источником тех или иных минералов. Масштабы речного стока в СЛО значительны [1], поэтому привнос тяжёлых минералов достаточно велик. В результате многолетних исследований шельфовых морей Евразийского шельфа СЛО для составления листов государственных геологических карт масштабом 1:1000000 (третье поколение) получено значительное количество данных по содержанию минералов в поверхностных донных осадках, не использованных ранее в глобальных исследованиях. Целью данной работы было составление единого набора данных по акватории Евразийского бассейна и последующего изучения распределения минералов в осадках. Компиляция данных отдельных листов карт (более 15) различных акваторий позволила создать объединённый набор данных по всему евразийскому шельфу и визуализировать и изучить распределение основных тяжёлых минералов в океане подобно работам [3, 4, 6]. К более чем 2000 точкам опробования по морям Российского шельфа СЛО были добавлены данные из информационной системы PANGAEA, итоговый набор данных содержит более 3500 точек и покрывает шельфовые моря России и большую часть Евразийского бассейна СЛО. Данные по распределению основных компонентов были визуализированы при помощи ODV и ArcGIS. Изучаемая акватория была поделена на 25 провинций, отличающихся составом и количеством минералов, а также площадью; ниже приведено краткое описание положения наиболее крупных провинций и некоторые особенности состава. В Баренцевом море выделены три провинции (на юго-западе, юго-востоке и севере), сформированные под сильным влиянием Фенноскандинавского щита, который поставляет, например, амфиболы и кианит. В Карском море находятся две достаточно крупных зоны, определяемые привносом материала из двух крупных рек, Оби и Енисея, протекающих по территориям с различным геологическим строением - повышенное содержание, например, пироксенов в восточной части моря объясняется протеканием р. Енисей через плато Путорана, сложенное базальтами. В море Лаптевых также наблюдаются две крупных провинции, первая около устья р. Хатанга, также протекающей через базальты, другая - в восточной части моря, куда реки сносят большое количество амфиболов с Анабарского щита и зоны Верхоянско-Чукотского орогена [2]; помимо этого, в непосредственной близости к устью р. Лена выделена отдельная провинция. К северу от моря находится крупная область, отличающаяся высоким содержанием титанита и ортопироксенов. Восточно-Сибирское море поделено на две провинции - западную, находящуюся под влиянием Верхоянско-Чукотского орогена, и восточную, куда, среди прочего, сносится материал с древнего щита Колымского нагорья [2]. В Чукотском море выделена одна крупная провинция, на состав минералов в которой сильно влияет п-ов Аляска - об этом свидетельствует присутствие доломита и пироксенов; две менее значительные по размеру области выделены к северу от моря. Помимо упомянутых крупных провинций, небольшие области концентрации одного-двух минералов были выделены около

островов, архипелагов и полуостровов. По результатам работы создана предварительная схема провинций тяжёлых минералов в СЛО. Минералогические провинции в исследованиях обычно выделяют в пределах отдельных шельфовых морей СЛО [5, 6]; в данной работе рассматривается масштаб практически всего Евразийского бассейна, что позволяет увидеть более глобальную картину речного сноса минералов в СЛО.

Список литературы

1) Aagaard, K., Carmack, E. C. The role of sea ice and other fresh water in the Arctic circulation. Journal of Geophysical Research // № 94(C10). 1989. P. 14485–14498.
2) 2) Kaparulina, E., Junttila, J., Strand, K. & Lunkka, J. P. Provenance signatures and changes of the southwestern sector of the Barents Ice Sheet during the last deglaciation. Boreas // № 47. 2018. P. 522– 543. https://doi.org/10.1111/bor.12293. ISSN 0300-9483.
3) Stein, R. Arctic Ocean Sediments: Processes, Proxies, and Paleoenvironment / R. Stein. – Oxford: Elsevier, 2008. – 602 pp.
4) Vogt, C. Regional and temporal variations of mineral assemblages in Arctic Ocean sediments as climatic indicator during glacial/interglacial changes // Berichte zur Polarforschung № 251. 1997. P. 1–309.
5) Гуревич, В.И. Современный седиментогенез и геоэкология Западно-Арктического шельфа Евразии / В.И. Гуревич. – Москва: Научный мир, 2002. – 135 с.
6) Кошелева, В.А. Донные осадки Арктических морей России / В.А. Кошелева, Д.С. Яшин. – СПб: ВНИИОкеангеология, 1999. – 286 с.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ПРОЦЕССЫ СЕДИМЕНТАЦИИ В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА В СРЕДНЕМ – ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ

Рябчук Д.В.[1], Сергеев А.Ю.[1], Прищепенко Д.В.[1], Жамойда В.А.[1], Элькина Д.В.[2,3], Пискарев А.Л.[2,3], Баширова Л.Д.[4,5], Пономаренко Е.П.[4], Буданов Л.М.[1], Григорьев А.Г.[1], Евдокименко А.В[1]

[1]Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского» (ФГБУ «ВСЕГЕИ»), г. Санкт-Петербург

[2]Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов мирового океана им. И.С. Грамберга, г. Санкт-Петербург

[3]Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, г. Санкт-Петербург

[4]Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

[5]Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград

diana.pr@inbox.ru

Ключевые слова: седиментологический анализ, грунтовые колонки, восточная часть Финского залива, голоцен.

Донные отложения Балтийского моря можно представить как летопись процесса осадконакопления, охватывающую относительно небольшой, с геологической точки зрения, период времени - от столетий до тысяч лет. Таким образом, отложения Балтийского моря являются информативным объектом для анализа окружающей среды и изменения климата с момента последней дегляциации. История поздне-послеледникового развития восточной части Финского залива характеризуется определенными седиментологическими и геохимическими условиями осадконакопления на различных стадиях развития бассейна. Целью данной работы является реконструкция изменений в условиях осадконакопления этих отложений. Интерес к изучаемой области обусловлен наличием высоких скоростей седиментации, позволяющих с высокой детальностью определять данные изменения. Выявление различий в составе разновозрастных комплексов донных отложений, определение кратковременных климатических колебаний, повышений и понижений уровня моря - основные задачи настоящей работы.

В рамках различных проектов сотрудниками Всероссийского научно-исследовательского геологического института имени А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ) ежегодно проводятся исследования, обеспечивающие получение новых данных о последнем этапе геологического развития восточной части Финского залива. Комплекс используемых методов включает в себя геофизические исследования, колонковый пробоотбор грунтовыми трубками с дальнейшим детальным изучением состава осадков (их геохимических, гранулометрических, палеомагнитных характеристик) и определением абсолютного возраста отложений.

Согласно существующим представлениям, в истории послеледникового развития региона Балтийского моря выделено несколько этапов: пресноводное Балтийское ледниковое озеро (16,0-11,7 тыс. л.н.); солоноватое Иольдиевое море (11,7-10,7 тыс. л.н.); пресноводное Анциловое озеро (10,7-9,8 тыс. л.н.); начальная стадия Литоринового моря (или море Мастоглоя) (9,8-8,5 тыс. л.н.); Литориновое море (8,5-4,5 тыс. л.н.); и пост-Литориновое море (или Балтийское море) - с 4,5 тыс. л.н. [1].

Для исследования десяти колонок донных отложений, отобранных в восточной части Финского залива, в рамках гранта РНФ выполнен седиментологический анализ, датирование и изучение геохимических параметров [2]. Места отбора колонок выбирались на основании акустических данных. Проведенные исследования позволили проследить переход от отложений пресноводного Анцилового озера к Литориновому морю. Особый переходный слой «голубых глин», указывающий на

первую стадию притока солоноватой воды в Финский залив, датируется 9,1 тыс. л.н. Определены даты начала формирования отложений Литоринового моря: 8,0 тыс. л.н. возле острова Гогланд, 7,0 тыс. л.н. возле острова Мощный и 5,9 тыс. л.н. возле Березовых островов. Также были выявлены голоценовые циклы гипоксии, связанные с периодами потепления, циклы «потепление-трансгрессия-бескислородные условия» и «похолодание-регрессия-богатые кислородом условия». Для придонного слоя вод в наиболее глубоководном осадочном бассейне восточной части Финского залива во время литориновой трансгрессии (8,0-7,0 тыс. л.н.) был характерен дефицит кислорода. Напротив, 7,0-6,0 тыс. л.н. осадконакопление происходило в условиях повышенного содержания кислорода и сопровождалось активными процессами биотурбации. Бескислородные условия снова возникли в климатическом оптимуме голоцена в период 6,0-4,8 тыс. л.н., что привело к накоплению ненарушенных пелитово-алевритовых илов с субгоризонтальной слоистостью. Для интервала 4,8-2,0 тыс. л.н. отмечалось наличие высоких концентраций кислорода в придонном слое вод, благоприятное для развития бентоса. Изменения в гранулометрическом составе колонок донных отложений, отобранных в крайней восточной части Финского залива, предположительно связаны с относительным понижением уровня моря в период с 3,5-1,8 тыс. л.н. и его повышением с 1,8 тыс. л.н. по настоящее время.

Геохимические и хронологические исследования грунтовых колонок проводилось при поддержке гранта РНФ № 17-77-20041. Палеомагнитный анализ грунтовых колонок выполнен при поддержке гранта РФФИ № 19-05-00768. Интерпретация данных содержания Сорг в осадках выполнена в рамках госзадания ИО РАН №0149-2019-0013.

Список литературы

1) Andren, T., Bjorck, S., Andren, E., Conley, L. Z. & Anjar, J. The development of the Baltic Sea Basin during the last 130 ka // The Baltic Sea Basin. - Berlin-Heidelberg: Springer, 2011. - P. 75–97.

2) Ryabchuk, D.V., Sergeev, A.Yu., Prishchepenko, D.V., Zhamoida, V.A., Elkina, D.V., Piskarev, A. L., Bashirova, L.D., Ponomarenko, E.P., Budanov, L.M., Grigoriev, A.G. & Evdokimenko, A.V. Impact of climate change on sedimentation processes in the eastern Gulf of Finland during the Middle to Late Holocene // Boreas. - Norway: Taylor & Francis, 2020. In print.

ГЕОХРОНОЛОГИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ: ПОДХОДЫ И ПРОБЛЕМЫ

Пугачёва Т.Л.[1,2], **Пономаренко Е.П.**[1]

[1]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

[2]*Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград*

puga4eva@hotmail.com

Ключевые слова: радиоуглеродное датирование, голоцен, валовый осадок, концентрация свинца, грунтоотборная трубка Ниемисто.

Балтийское море - молодая экосистема, испытывающая высокую антропогенную нагрузку, негативное воздействие которой усиливается ввиду ограниченного водообмена с Северным морем. Для понимания наблюдаемых изменений экосистемы, а также для составления надежных прогнозов необходимо комплексное изучение реакции экосистемы на внешние воздействия, происходившие в прошлом. Датировки донных осадков Балтийского моря преимущественно основаны на измерениях содержания радиоактивного изотопа углерода (^{14}C) в органическом веществе валового осадка - метод ускорительной масс-спектрометрии (AMS ^{14}C). Возраст, полученный по таким образцам, содержит ошибки, обусловленные в том числе «загрязнением» более древним переотложенным материалом, а также неоднозначностью оценки влияния морского резервуарного эффекта [4]. Таким образом, существует необходимость применения альтернативных методов датирования для получения полного представления о долгосрочных изменениях условий бассейна. Для уточнения радиоуглеродных датировок можно использовать пики концентраций свинца в пробах, соответствующие абсолютным календарным возрастам: 1 год н. э. (Римский пик), 1200 год н. э. (Средневековый пик) и 1970-е годы [2]. Данные горизонты формируют точные изохроны, которые могут применяться для датирования и синхронизации поздних голоценовых отложений по всей Европе [4].

В качестве материала для исследования использованы донные осадки, отобранные трубкой Ниемисто в 43-м рейсе НИС «Академик Борис Петров» на трех станциях в Гданьском бассейне Балтийского моря. Длина отобранных кернов составляет 55 см (АБП-43026), 41 см (АБП-43035) и 49 см (АБП-43105). На борту судна выполнено подробное литологическое описание донных отложений. Далее колонки были непрерывно разобраны на образцы с шагом в 1 см и заморожены. В рамках исследования выполнено датирование 6 образцов валового осадка методом AMS ^{14}C - из двух горизонтов каждой колонки. Полученный возраст был откалиброван с использованием программного обеспечения Calib8.2 как по морской (MARINE20), так и по наземной (IntCal20) калибровочным кривым [3]. Разница данных кривых состоит в том, что наземная кривая не учитывает стандартный резервуарный эффект в 550 лет. Календарный возраст представлен как медианное значение в пределах доверительного интервала 1σ, за начало отсчета принят 1950 год. Вопрос выбора калибровочной кривой при датировании осадков Балтийского моря является открытым, поэтому в разных исследованиях применяются морская либо сухопутная кривые.

Согласно данным калибровки радиоуглеродных датировок по морской кривой, материал колонок представляет последние 7.2 т.л. (42 см, АБП-43026), 3.4 т.л. (40 см, АБП-43035) и 1.5 т.л. (50 см, АБП-43105). Калибровка по наземной кривой показала более древние возрасты: 7.7, 4.0 и 2.1 т.л.н. соответственно. Возрастные модели для кернов были построены путем линейной интерполяции между датированными образцами. В связи с наличием неповрежденного верхнего слоя отложений в колонках, полагается, что осадки поверхности колонок соответствуют году отбора кернов - 2018. Для нижних частей кернов возрастные модели построены на основе экстраполяции от самой древней полученной датировки до: 10.1 т.л.н. (56 см, АБП-43026), 3.8 т.л.н. (46 см, АБП-43035) и 1.7 т.л.н. (54 см, АБП-43105). Интересно, что возраст отложений в колонке АБП-43035 на глубине 10 см составляет 1.8 т.л., что может быть объяснено медленным осадконакоплением или

эрозией, связанной с интенсивным придонным течением. В колонке АБП-43105 на глубине 8 см возраст осадка составляет 2.9 т.л., что явно указывает на «загрязнение» переотложенным более древним материалом, поэтому данное значение было исключено из расчетов. При использовании морской калибровочной кривой скорости осадконакопления составляли от 5 до 48 см/т.л. (в среднем - 22 см/т.л.), при калибровке по наземной кривой - от 4 до 24 см/т.л. (в среднем - 13 см/т.л.). Рассчитанные скорости седиментации, очевидно, являются очень низкими для Гданьского бассейна, особенно для его глубоководной части [1].

Для уточнения датировок был рассчитан локальный резервуарный эффект (ЛРЭ) по данным концентрации свинца (Pb) в осадках колонок. Содержание Pb определено с использованием рентгенофлуоресцентного спектрометра (VantaTM анализатор, OLYMPUS). Измерения проведены с шагом в 2 см в режимах «Geochem» и «Soil». Влажные пробы помещали в пластиковые тигли и накрывали пленкой толщиной 17 μm для предотвращения загрязнения анализатора. На основании сравнения со Средневековым пиком концентрации Pb (750 л.н.) для верхних горизонтов колонок ЛРЭ составил 40 лет (АБП-43026), 1350 лет (АБП-43035) и 360 лет (АБП-43105). При повторной калибровке по морской кривой с учетом ЛРЭ возраст колонок составил: 7.2 т.л. (42 см, АБП-43026), 1.8 т.л. (40 см, АБП-43035) и 1.2 т.л. (50 см, АБП-43105). Римский пик в распределении Pb отчетливо не прослеживается, поэтому ЛРЭ верхних горизонтов был применен ко всей длине каждого разреза. Уточненные скорости осадконакопления составили 5-63 см/т.л. (в среднем - 31 см/т.л.). Таким образом, при использовании наземной кривой невозможно учесть ЛРЭ, что приводит к существенно более древним результатам датировок и неправдоподобно низким скоростям осадконакопления. Поэтому калибровка AMS ^{14}C датировок по морской калибровочной кривой с последующим расчетом и учетом ЛРЭ является необходимым условием для получения достоверного возраста осадков Балтийского моря.

Экспедиционные исследования проводились в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0128-2021-0012). Анализ донных отложений выполнен за счет гранта РФФИ № 19-45-393008; рентгенофлуоресцентный анализ – при поддержке гранта РНФ № 18-77-10016.

Список литературы

1) Emelyanov E.M. (ed.) Geology of the Gdansk Basin, Baltic Sea. Yantarny skaz. Kaliningrad. 2002. 496 pp.

2) Renberg I., Bindler R., Brännvall M.L. Using the historical atmospheric lead-deposition record as a chronological marker in sediment deposits in Europe. // The Holocene. 2001. V. 11. № 5. P. 511–516.

3) Stuiver M., Reimer P.J., Reimer R.W. 2021. CALIB 8.2 [WWW program] at http://calib.org, accessed 2021-2-26.

4) Zillén L., Lenz C., Jilbert T. Stable lead (Pb) isotopes and concentrations – A useful independent dating tool for Baltic Sea sediments // Quaternary Geochronology. 2012. V. 8. P. 41-45.

РАЗВИТИЕ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ В КОРНЕВОЙ ЧАСТИ КУРШСКОЙ КОСЫ ПО ДАННЫМ ДИАТОМОВОГО АНАЛИЗА

Соснина И.А. [1,2], **Напреенко-Дорохова Т.В.** [1,2], **Напреенко М.Г.** [1], **Сапожников Ф.В.** [1]

[1] *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

[2] *Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград*

irina.sosnina@atlantic.ocean.ru

Ключевые слова: палеогеографическая реконструкция, торфяные отложения, диатомеи, Балтийское море, Куршский залив

За последние несколько десятков лет на территории Куршской косы выполнено большое количество исследований с целью уточнения истории формирования тела косы. Тем не менее, вопросы эволюции и развития её корневой части нельзя считать окончательно решёнными [1]. Получить новые данные об исторических изменениях природных условий этого района, возможно при помощи комплексных палеогеографических исследований донных отложений. С этой целью впервые исследован таксономический состав диатомовых водорослей в донных отложениях юго-западной части Куршского залива и уточнены основные этапы развития корневой части косы.

В сентябре 2018 г., в юго-западной части Куршского залива, были проведены полевые работы, в ходе которых отобрана колонка 3Р (54° 57’ 55,6” с.ш., 20° 32’ 50,00” в.д.) мощностью 90 см. Пробоотбор производили с двухкорпусной мотолодки (катамарана) «З 60-34 ЖЕ» при помощи гравитационной трубы.

Из полученного керна для 26 образцов по стандартной методике [5] был проведён анализ массовой доли органического вещества (ОВ), основанный на определении потери массы пробы после прокаливания. Для 13 проб выполнена пробоподготовка, микроскопический анализ и количественная оценка таксономического разнообразия диатомовых водорослей, рассчитана концентрация створок в 1 г сухого осадка [2]. Для 2 образцов колонки 3Р выполнено радиоуглеродное датирование методом ускорительной масс-спектрометрии (AMS) в ЦКП «Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» Института географии РАН совместно с Центром изотопных исследований Университета Джорджии (США), а также в Познаньской лаборатории радиоуглеродных исследований (Познань, Польша). Калибровка данных выполнена с применением программы CALIB, версия 8.20 с использованием калибровочной кривой IntCal20 [3,4]. Возраст исследуемых горизонтов определяли методом интерполяции между значениями, полученными с помощью радиоуглеродного датирования.

Выполненная реконструкция охватывает временной период, приблизительно, в 4000 лет развития исследуемого района. По результатам анализа массовой доли ОВ в донных отложениях Куршского залива можно выделить 2 зоны: с содержанием ОВ >20% (5700-6900 кал.л.н.) и с содержанием ОВ <20% (2800-5700 кал.л.н.). Первая зона, согласно литологическому описанию, представлена торфосапропелевыми отложениями, вторая зона - мелкоалевритовыми илами. Таким образом, во второй половине атлантического периода водоём отличался более высокой биопродуктивностью, органогенное осадконакопление преобладало над минерагенным.

В исследованном керне, на основе количественных и качественных изменений в видовом составе идентифицированных водорослей, выделено 4 диатомовые зоны, характеризующие основные этапы развития корневой части косы. В среднем голоцене (6900-6600 кал.л.н.) участок характеризовался наиболее благоприятными условиями для развития диатомовых, что подтверждается характером отложений (торфосапропель) и разнообразием водорослей по экологическим предпочтениям, включая отношение к солёности. В это время доминировали солоноватоводная *Pseudostaurosira cf. subsalina*, индифферентная *Staurosira inflata*, пресноводные *Pseudostaurosira brevistriata*, *Staurosira venter*. Можно предположить на данном этапе существование мелководного

участка лагуны с густыми зарослями макрофитов. В период 6600-6250 кал.л.н. сокращается общая численность диатомовых, особенно планктонных *Aulacoseira ambigua*, *A. granulata*. Данные изменения могли быть вызваны обмелением акватории.

Следующий этап развития лагуны (6250-4300 кал.л.н.) характеризовался подъёмом уровня вод, что обусловило наличие в осадках большого количества раздробленных створок диатомей. Произошло уменьшение численности вида *Staurosira inflata*, предпочитающего условия периодического увлажнения, и увеличение количества планктонных водорослей рода *Aulacoseira*. На этом этапе также произошла смена отлагаемого материала с торфосапропеля на мелкоалевритовый ил.

Диатомовый комплекс вышезалегающих отложений (4300-2800 кал.л.н.) однороден, доминируют колониальные перифитонные формы из семейства Fragilariaceae (*Staurosira inflata* et var., *S. venter*, *Staurosirella pinnata*), роли субдоминантов распределены между планктонными видами из рода *Aulacoseira*, которые постепенно вытесняются выше по разрезу мезогалобным *Actinocyclus normanii*, предпочитающим водоёмы с высоким содержанием органики. В этот период происходит повышение трофического статуса данной части залива при относительной стабильности гидрологических условий.

Полученные результаты позволили определить исследованную территорию как лагунную береговую зону, подверженную периодическим подтоплениям и осушениям в среднем голоцене и характеризующуюся постоянной гидрологической обстановкой в позднем голоцене. Ввиду краткости изученного временного промежутка, не удалось установить или опровергнуть существование пролива, соединяющего Балтийское море с лагуной в корне Куршской косы.

Полевые работы выполнены в рамках госзадания ИО РАН (тема №0128-2021-0012), пробоподготовка и анализ потери органического вещества при прокаливании частично за счёт средств Программы повышения конкурентоспособности БФУ им. И. Канта (проект 5-100), диатомовый анализ, датирование осадка из горизонта 52–54 см, интерпретация и обобщение данных при поддержке гранта РНФ 18-77-10016, датирование осадка из горизонта 87–89,5 см за счёт средств гранта РФФИ №18-05-80087.

Список литературы

1) Бадюкова Е.Н., Жиндарев Л.А., Лукьянова С.А., Соловьева Г.Д. Строение корневой части Куршской косы // Вестн. МГУ. Сер. географ. 2010. № 5. С. 53-59.

2) Давыдова Н.Н. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене. Л.: Наука, 1985. 243 с.

3) Reimer P.J., Austin W.E.N., Bard E. et al. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0-55 cal kBP) // Radiocarbon. 2020. V. 62. № 4. P. 725-757. doi:10.1017/rdc.2020.41

4) Stuiver M., Reimer P.J. and Reimer R.W. CALIB 8.2 [Электронный ресурс]. 2021. URL: http://calib.org (дата обращения 16.02.2021).

5) Santisteban J.I., Mediavilla R., L´opez-Pamo E. et al. Loss on ignition: a qualitative or quantative method for organic matter and carbonate mineral content in sediments // Journal of Paleolimnology. 2004.№ 32. P. 287-299

ЛИТОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА В ЮЖНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВО-КАРСКОГО РЕГИОНА

Сухих Е.А.

Геологический институт РАН, г. Москва

sukhikh_ea@mail.ru

Ключевые слова: сейсмоакустика, литология, дегазация, естественные радиоактивные элементы, Баренцево-Карский шельф.

Анализ литолого-геохимических и структурных особенностей верхней части осадочного чехла на участках акватории Баренцева, Карского и Печорского морей выполнен по данным геолого-геофизических исследований в 38, 41 и 49 рейсах НИС «Академик Николай Страхов» в период 2018-2020 гг.

Исследования акустических аномалий в водной толще и сейсмоакустических аномалий в разрезе четвертичных отложений в южной части Баренцево-Карского региона было проведено по материалам многолучевого эхолотирования акустическим комплексом RESON Seabat 8111 и 7150 (мелководный и глубоководный эхолоты) и акустического профилирования непараметрическим профилографом EdgeTech 3300.

По данным сонарной моды многолучевого эхолотирования были исследованы различные типы дегазационных проявлений в водной толще [1], поскольку проявления свободного газа являются дополнительным индикатором тектонической активности и каркаса разломной сети, по которой идет поступление флюидов из глубоких горизонтов.

Выделенные в осадочном чехле по материалам акустического профилирования сейсмоакустические объекты можно условно разделить на две группы: структурные деформации (сбросы, взбросы, складчатые деформации) и объекты, связанные с контрастными физико-химическими свойствами осадочного вещества, например, аномалии типа яркое/тусклое/плоское пятно, зачастую являющиеся индикаторами газонасыщенности среды [2].

Особое внимание на сейсмо- и сонограммах уделялось врезам и палеоврезам русел водных потоков, которые являются индикатором возможного положение погребенных и затопленных речных систем, что, в отсутствии гляциальных форм рельефа, указывает на фрагментарность ледникового щита на Баренцево-Карском шельфе.

С помощью программной среды RadExPro (Деко-Геофизика), которая позволяет осуществлять обработку сейсмических данных в формате SEGY, выполнены пикировка акустических событий (присвоение географических координат) в осадочном чехле и водной толще и их описание (тип, размер, протяженность вдоль профиля, в случае множественных проявлений), что позволило составить карты распределения исследуемых объектов для ряда районов Баренцева, Печорского и Карского морей.

Далее пространственное распределение структурных особенностей верхней части осадочного разреза и различных типов дегазационных проявлений было сопоставлено с литологическими характеристиками донных осадков, а также с полученными рентгенфлюоресцентным методом в лаборатории химико-аналитических исследований ГИН РАН величинами концентраций урана, тория и калия (U, Th, K), долгоживущие изотопы которых являются источником радиогенной теплогенерации в земной коре. Осадочный материал для исследований отбирался в рейсах из грунтовых трубок и дночерпателей. Были опробованы формы мезорельефа различного генезиса.

В 49 рейсе пингоподобные поднятия, исследованные ранее в 38 и 41 рейсах на северо-востоке Печорского моря, были закартированы на 13 км восточнее полигона 2018-2019 гг. Материал, полученный с вершин пингоподобных структур представлен серыми глинами с голубоватым от-

тенком (5B4/1) и брекчиевидной текстурой. Полученные в трех рейсах радиогеохимические данные указывают на повышенные концентрации Th в образцах, отобранных на вершинах структур. Значения находятся в диапазоне 10,3-12,7 ppm, при средних значениях для Тимано-Печорской плиты 7,2 ppm. Величины концентраций Th в образцах, отобранных в пределах двух полингонов на склонах поднятий и между ними, находятся в диапазоне 4-9,6 ppm. По данным акустической съемки к вершинам пингоподобных структур приурочены наиболее интенсивные дегазационные проявления.

В пределах Западно-Карской фациальной области Левитаном М.А. с соавторами было предложено выделять два типа осадочных разрезов верхнечетвертичных отложений: «северный», двухчленный, включающий верхний плейстоцен и морской голоцен, и «южный», на всю мощность сложенный морским голоценом, что указывает на более высокую скорость голоценовой седиментации на юге области [3].

В 49 рейсе было продолжено исследование хорошо выраженной в рельефе флювиальной морфоскульптуры, находящейся у входа в Байдарацкую губу в диапазоне глубин 200-259 м. И, если осадочный разрез 4114, отобранный в русле структуры с глубины 248 м, по литологическим характеристикам и физическим свойствам (магнитная восприимчивость, теплопроводность) однороден, соответствуя «южному» типу, то в осадочной колонке 4925A, полученной на положительной форме рельефа (предположительно, осерёдок реки) с глубины 220 м, в диапазоне 148-150 см наблюдается резкая граница, маркирующаяся наличием дресвы и рыжеватым оттенком, вероятно соответствующая этапу регрессии.

Для района с характерным «северным» типом разрезов в двух колонках 49 рейса были зафиксированы, так называемые, «сухие глины» [3], фиксирующие кровлю плейстоцена. Данный тип отложений представлен обезвоженными крошащимися алевритами. Магнитная восприимчивость в этом слое резко возрастает, повышены концентрации Al, Ni, Sr, Ba [4].

По результатам сравнительного анализа распределения литолого-геохимических и радиогеохимических характеристик в различных районах Баренцево-Карского шельфа выявлена роль рельефообразующих факторов, дегазационных и неотектониеских процессов.

Автор выражает благодарность геологическому отряду ИО РАН за возможность работать с материалами донного опробования.

Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ 20-05-00054.

Список литературы

1) Сухих Е.А., Мороз Е.А., Абрамова А.С. Связь величин радиогенной теплогенерации в верхнем слое донных осадков с проявлениями дегазации в водной толще и осадочном чехле в южной части Баренцево-Карского региона // Мониторинг. Наука и технологии. 2020. №3. С. 37-43.

2) Соколов С.Ю., Мороз Е.А., Сухих Е.А., Разумовский А.А., Левченко О.В. Проявления глубинной дегазации в водной толще и верхней части разреза Печорского моря // Георесурсы. 2019. Т. 21. № 4 (2). С. 68-76.

3) Левитан М.А., Хусид Т.А., Купцов В.М. и др. Типы разрезов верхнечетвертичных отложений Карского моря // Океанология. 1994. Т. 34. № 5. С. 776-788.

4) https://www.pangaea.de - Data Publisher for Earth & Environmental Science

СОВРЕМЕННЫЕ КОМПЛЕКСЫ БЕНТОСНЫХ ФОРАМИНИФЕР ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ И МОРЯ ЛАПТЕВЫХ.

Тихонова А.В.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

semeonka@gmail.com

Ключевые слова: бентосные фораминиферы, Восточно-Сибирское море, море Лаптевых, сипы, изменения климата.

В рамках 78-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» (сентябрь-октябрь 2019 года) были отобраны осадки из центральной и северной части Восточно-Сибирского моря (с глубин 38-45 м) и моря Лаптевых (глубины 24-65 м) (рис.1). Из-за сокращения площади ледового покрова стало возможным провести исследование современных комплексов бентосных фораминифер (БФ) Восточно-Сибирского моря, сравнить их с комплексами моря Лаптевых, а также в местах активной разгрузки метановых сипов — всего 7 проб.

Для исследования современных комплексов БФ использовалась фиксация и окрашивание спиртовым раствором бенгальского розового осадков, отобранных с поверхности разреза, поднятого при помощи Boxcorer, с последующим изучением во фракции >63 мкм. Образцы были отобраны как с «фоновых» станций (без видимой активности метановых сипов), так и непосредственно в сипе.

Для Восточно-Сибирского моря характерно преобладание «живых», окрашенных раковин БФ их количество достигает 84% - 289 штук от общего числа подсчитанных раковин в пробе. Характерны виды: *Textularia torguata* (до 45%), *Elphidium* sp. (до 14.85%), *Ammotium cassis* (до 15%), *Globocassidulina subglobosa* (до 18.5%). Для моря Лаптевых так же характерно преобладание «живых», окрашенных раковин БФ их количество достигает 85% - 342 штуки от общего числа посчитанных раковин. Характерны виды: *T. torguata (до 35%), A. cassis* (до 39%), *Miliolinella subrotunda* (43%), *E. excavatum* f. *clavatum* (до 23%).

В районе видимой разгрузки метана — сипе (ст. 6491), комплекс БФ сильно отличается, резким сокращением численности и количеством видов — всего насчитано 25 раковин из которых 14 (56%) «живых» и всего 9 видов, против 19 в станции 6489, находящейся вблизи сипа. В станции 6491 наблюдается растворение раковин *Elphidiella groenlandica,* что скорее всего связано с разгрузкой метана.

Интересной особенностью является наличие морфологических изменений у видов *Elphidium* spp., *Buccella* sp. в Восточно-Сибирском море и требует дополнительных исследований.

В арктической зоне в последние годы всё сильнее проявляется реакция криолитозоны на текущие изменения климата. Это характерно не только для обширных пространств суши, находящихся в зоне распространения многолетней мерзлоты, но и шельфовых морей. Деградация многолетней мерзлоты на шельфе превращает Восточно-Сибириское море и соседнее море Лаптевых в потенциально сильнейшие источники поступления метана в атмосферу [1]. Дальнейшее исследование современных комплексов бентосных фораминифер и их реакции на текущие условия среды помогут дать ответ на вопрос о характере, динамике и интенсивности подобных процессов в недалеком прошлом и, возможно, дать прогноз на будущее.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ИО РАН № 0128-2021-0006.

Список литературы

1) Аветисов Г.П. Некоторые вопросы динамики и литосферы моря Лаптевых // Физика Земли. 1993. № 5. С. 28-38

2) Рекант П. В., Гусев Е.А. Признаки новейшей тектонических движений на Лаптевоморской континентальной окраине по данным сейсмоакустического профилирования // Проблемы Арктики и Антарктики. 2009. 2(82). С. 85-94.

3) Shakhova N., Semiletov I., Gustafsson O., Sergienko V., Lobkovsky L., Dudarev O., Tumskoy V., Grigoriev M., Mazurov A., Salyuk A., Ananiev R., Koshurnikov A., Kosmach D., Charkin A., Dmitrevsky N., Karnaukh V., Gunar A., Meluzov A., Chernykh D. (2017). Current rates and mechanisms of subsea permafrost degradation in the East Siberian Arctic Shelf. Nature Communications, 8, 15872. С. 85-94.

УГЛЕВОДОРОДНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА

Храмцова А.В., Немировская И.А.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

asya-medvedeva95_16@mail.ru

Ключевые слова: взвесь, донные осадки, алифатические углеводороды, Черное море.

Представлены результаты исследования углеводородов (УВ) - алифатических (АУВ) и полициклических ароматических (ПАУ) - во взвеси поверхностных вод и в поверхностном слое донных осадков в апреле, сентябре 2019 г. и в июле 2020 г. в Керченском проливе в сравнении с другими районами Черного моря. Цель исследования - изучение современного уровня загрязнения и происхождения АУВ и ПАУ.

Исследования проводили методами, принятыми при анализе нефтяных и природных УВ: концентрацию липидов и АУВ определяли методом ИК-спектрофотомерии, алканы - методом газовой хроматографии, $C_{орг}$ - сухого сожжения, взвесь - гравиметрически, ПАУ - методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Подробности методических процедур описаны в статье Немировской с соавторами [1].

В ходе проведенных исследований установлены более высокие концентрации АУВ в поверхностных водах непосредственно в Керченском проливе, где в апреле 2019 г. они изменялись в интервале 110-160 мкг/л, а в Феодосийском заливе - 70-110 мкг/л. Было замечено некоторое снижение содержания АУВ к сентябрю (55-138 мкг/л). Даже при наиболее низких концентрациях они превышали ПДК для нефтяных УВ - 50 мкг/л. В июле 2020 г. также выделялась область высоких значений непосредственно в Керченском проливе, где установлена максимальная концентрация УВ-259 мкг/л. Однако на отдельных станциях их содержание было ниже 50 мкг/л, что привело к более низкой средней величине АУВ - 78 мкг/л. Несмотря на столь высокие концентрации АУВ, состав алканов не соответствовал плавному нефтяному распределению гомологов. В низкомолекулярной области доминировали либо четные алканы н-C_{16}, -C_{18}, -C_{22}, возникающие при микробной трансформации УВ, либо н-C_{17}, указывающий на включение алканов фито- и зоопланктона.

Содержание ПАУ во взвеси поверхностных вод изменялось от 11 до 20 нг/л. В их составе доминировали пирогенные соединения - флуорантен (ФЛ) и пирен (П), которые характерны для продуктов горения различных видов топлива. Отношение ФЛ/П изменялось незначительно (1.32-1.72) и указывало на свежее загрязнение, так как в пробах, трансформированных ПАУ это отношение должно быть >4 [3], а отношение фенантрен/антрацен (Ф/Ан) - от 8.8 до 19.2 - может указывать на влияние нефтяных загрязнений в водах пролива, так как при значениях >10 оно маркирует нефтяные УВ [3]. В июле 2020 г. содержание ПАУ изменялось в интервале 2.0-7.8 нг/л. В составе ПАУ в низкомолекулярной области выделяется пик 2-метилнафталина, характерный для нефтяных полиаренов. Среди 5-ти кольчатых ПАУ доминировали ФЛ и П, поступающие при сгорании топлива. Более высокие концентрации ФЛ могут указывать на трансформацию состава ПАУ в поверхностных водах.

Донные осадки (ДО) Керченского пролива состоят из песчаных, ракушечных и галечных отложений, поэтому концентрации $C_{орг}$ и АУВ были низкими и составили в среднем соответственно в 2019 г. 0.49% и 21 мкг/г (апрель) и 0.63% и 38 мкг/г (сентябрь), а в 2020 г. - 0.38% и 38 мкг/г (июль). Распределение органических веществ зависит от физических свойств осадка (влажности и гранулометрического состава), поэтому наблюдалась зависимость в распределении $C_{орг}$ и влажности с высоким коэффициентом корреляции: r=0.86, а также между распределением $C_{орг}$ и АУВ, которые в разные сезоны составили 0.79 и 0.85, что, скорее всего, обусловлено быстрой трансформацией нефтяных УВ. Наиболее высокие концентрации АУВ наблюдались так же, как и в воде непосредственно в Керченском проливе. В сентябре увеличивалась доля АУВ в составе $C_{орг}$ (1.2-2.4%). Напротив, в апреле только в ДО на прибрежных станциях возле мысов Опук и

Чауда концентрации АУВ в составе $C_{орг}$ достигали 2.9-4.2 %. При фоновом содержании доля АУВ в песчанистых осадках составляет 10 мкг/г, а в составе $C_{орг}$ <1% [2]. В осадках остальных станций содержание АУВ не превышало 0.78%.

Содержание ПАУ в ДО в апреле и сентябре 2019 г. изменялось в интервале 1.2-728 нг/г, а в июле 2020 г. - 57-2269 нг/г. Столь большой диапазон концентраций обусловлен, скорее всего, разными источниками эмиссии индивидуальных полиаренов. В составе ПАУ ДО так же, как и в воде, доминировали ФЛ и Ф, что указывает на поступление в осадки уже трансформированных продуктов сгорания топлива.

Следовательно, акваторию, примыкающую к Керченскому проливу, можно отнести к «горячим точкам» в водах РФ, так как она характеризуется высокими концентрациями АУВ во взвеси поверхностных вод (110-160 мкг/л) и в песчанистых ДО (12-80 мкг/г), значительно превышающие фоновые величины. Постоянное поступление загрязняющих веществ приводит к тому, что в этом районе не происходит уменьшения концентраций АУВ в водах и ДО, как наблюдалось в акватории Большого Сочи после окончания строительства олимпийских объектов [1]. Аккумулирование АУВ происходило не только в осадках разреза, пересекающего Керченский пролив, но и у мысов Чауда и Такыл, что обусловлено особенностями течений в этом районе. Активно протекающие окислительные процессы в водной толще приводят к быстрому разложению нефтяных УВ, особенно алканов, поэтому в составе АУВ установлены маркеры в основном биогенного происхождения. Однако повышенная доля АУВ в составе липидов во взвеси и в составе $C_{орг}$ в донных осадках может косвенно указывать на их загрязнение нефтяными УВ. Поступающие нефтяные антропогенные соединения повышают уровень УВ в морской среде, создавая тем самым современный углеводородный фон. Влияние загрязняющих веществ, в большей степени, проявляется в составе более устойчивого углеводородного класса - ПАУ. Невысокие концентрации ПАУ обусловлены как схемой течений, так и грубодисперсным составом отложений Керченского пролива. Распределение ПАУ в пробах ДО в рассмотренном районе позволяет оценить загрязнение в основном как пирогенное, в меньшей степени - нефтяное, подвергшееся влиянию процессов трансформации. Наиболее вероятный источник загрязнений - поступление УВ от сжигания судового топлива.

Авторы благодарят П.О. Завьялова за организацию работ в Керченском проливе, Б.В. Коновалова - за отбор проб.

Результаты исследования получены в рамках государственного задания ИО РАН (тема №0128-2021-0016), при поддержке РФФИ (проект №18–05–80049).

Список литературы

1) Немировская И.А., Онегина В.Д., Коновалов Б.В. Углеводороды во взвеси и осадках различных районов российского сектора Черного моря // МГЖ. 2017. № 4. С. 48–60.

2) Немировская И.А., Завьялов П.О., Коновалов Б.В., Храмцова А.В. Содержание и состав углеводородов в воде и осадках в районе Керченского пролива // ДАН. 2020. Т. 492. № 1. С. 118–123.

3) AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme). Chapter 4. Sources, Inputs and Concentrations of Petroleum Hydrocarbons, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, and other Contaminants Related to Oil and Gas Activities in the Arctic. Oslo: AMAP, 2007. 87 pp.

ВЛИЯНИЕ РЕЛЬЕФА ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЫ ЧЕРНОГО МОРЯ НА ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛН ЦУНАМИ

Белоконь А.Ю., Фомин В.В.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

aleksa.44.33@gmail.com

Ключевые слова: цунами в Черном море, накат на берег, численное моделирование, цунамиопасность.

Исследование черноморских цунами и определение наиболее опасных районов побережья, которые могут быть подвержены воздействию этого опасного феномена, является актуальной задачей в связи с непрерывным развитием береговой инфраструктуры.

Ряд работ посвящен численному моделированию цунами в Черном море, некоторые из них [1-3]. В основном, в них проводился анализ распространения волн в черноморском бассейне и расчет характерных высот уровня моря в прибрежной зоне без учета затопления побережья. Однако наибольшую опасность цунами представляют именно на этапе наката на берег, и последствия при этом могут быть крайне неблагоприятными.

В данной работе представлены результаты численного моделирования распространения и наката волн цунами на берег для некоторых пунктов черноморского побережья Крыма (Евпатория, Севастополь, Ялта, Феодосия), Кавказа (Анапа), Турции (Джиде), Болгарии (Варна) и Украины (Одесса). Решалась задача об эволюции гидродинамических очагов цунами, представляющих наибольшую потенциальную опасность для исследуемых участков побережья. Выбор местоположения очагов генерации цунами определялся двумя фактами. Во-первых, наибольшую опасность представляют очаги, расположенные непосредственно вблизи исследуемых пунктов. Во-вторых, эпицентры уже произошедших подводных цунамигенных землетрясений находились на материковом склоне в районе глубин 1000-1500 м [4]. Очаги генерации цунами задавались в форме эллиптического возвышения уровня моря с параметрами большой и малой оси 50 и 29 км и высотой 1 м, что соответствует отклику уровня моря на подводное землетрясение магнитудой 7 [5]. Все они были расположены в сейсмически активных районах, в которых уже происходили цунамигенные землетрясения, вдоль изобаты 1500 м. Вблизи каждого из исследуемых пунктов в зоне над глубинами 300 м рассчитывались колебания уровня моря, вызванные распространением волн из очага цунами. Для каждого пункта решалась одномерная задача о распространении и накате цунами на берег, где в качестве граничных условий использовались полученные мареограммы.

Численное моделирование эволюции волн из эллиптического очага цунами проводилось на прямоугольной сетке с пространственным шагом 500 м и шагом по времени 1 с. При решении одномерной задачи пространственный шаг определялся с помощью вычислительных экспериментов и для различных пунктов он варьировался от нескольких метров до десятков метров, шаг по времени составил 0,1 с. Процесс затопления-осушения моделировался с помощью алгоритма из [6], который состоит в определении положения линии уреза: на каждом временном шаге в последней мокрой ячейке рассчитывается динамическая глубина. Если ячейка «сухая», то расчет на следующем шаге по времени производится до предыдущей ячейки. Если же она «мокрая», то расчет продолжается до следующей ячейки, где значения смещения уровня моря и скорости линейно экстраполируются.

Показаны особенности распространения волн цунами в зависимости от профилей дна в различных районах Черного моря. Получены оценки заплесков для характерных масштабов нерегулярности рельефа в исследуемых пунктах. Наибольшие высоты наката цунами могут наблюдаться в районе Севастополя (1,4 м), Ялты (2,15 м), Анапы (1,4 м), Джиде (1,9 м). Распространение

цунами в прибрежной зоне Феодосии и Варны похожи качественно, максимальные заплески составляют соответственно 0,64 м и 0,46 м. Наименее подвержено воздействию волн цунами из-за протяженного шельфа побережье Евпатории (0,33 м) и Одессы (0,26 м). Для участков черноморского побережья с наиболее пологими склонами (Евпатория, Феодосия, Одесса) дальность заплеска может достигать нескольких десятков метров.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0555-2021-0005 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей» (шифр «Прибрежные исследования»).

Список литературы

1) Доценко С.Ф., Ингеров А.В. Характеристика волн цунами сейсмического происхождения в бассейне Черного моря по результатам численного моделирования // Морской гидрофизический журнал. 2013. № 3. С.25–34.

2) Зайцев А.И., Пелиновский Е.Н. Прогноз высот волн цунами на Российском побережье Черного моря // Океанология. 2011. Т. 51, № 6. С. 965–973.

3) Baranova, E.A. and Mazova, R.Kh., 2020. Tsunami Hazard for the Crimean Coast of the Black Sea and the Kerch Strait at the Catastrophic Tsunamigenic Earthquakes, the Locations of which are Close to that of the Historical Yalta Earthquake on September 12, 1927. Physical Oceanography, [e-journal] 27(2), pp. 110-125. doi:10.22449/1573-160X-2020-2-110-125

4) Никонов А.А., Гусяков В.К., Флейфель Л.Д. Новый каталог цунами в Черном и Азовском морях в приложении к оценке цунамиопасности Российского побережья // Геология и геофизика. 2018. Т. 59. № 2. С. 240–255.

5) Уломов В.И., Полякова Т.П., Шумилина Л.С. и др. Опыт картирования очагов землетрясений // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. М.: ИФЗ РАН. 1993. Вып. 1. С. 99–108.

6) Kowalik Z., Murty T.S. Numerical simulation of two-dimensional tsunami runup // Marine Geodesy, 16. 1993. pp. 87–100.

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ДЕГЛЯЦИАЦИИ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА ПО ДАННЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Буданов Л.М. [1], **Сергеев А.Ю.** [1], **Рябчук Д.В.** [1] **Крек А.В.** [2], **Данченков А.Р.** [2]

[1] *Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им.А.П.Карпинского (ФГБУ «ВСЕГЕИ»), Санкт-Петербург*

[2] *Институт Океанологии им.П.П.Ширшова РАН (ИО РАН), Москва*

Leonid_ Budanov@vsegei.ru

Ключевые слова: дегляциация, верхний неоплейстоцен, Финский залив, непрерывное сейсмоакустическое профилирование, многолучевое эхолотирование

Анализ и переинтерпретация архивных данных геологической съемки шельфа восточной части Финсколго залива, выполненной ВСЕГЕИ в 1984-2000 гг. (временные разрезы непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСАП), колонки донных донных отложений), а также материалов, полученных на ключевых участках обозначенного района в ходе полевых работ 2010-2020 гг., в том числе в 2017 и 2019 гг. в 35-м и 39-м рейсах НИС «Академик Николай Страхов» (результаты многолучевого эхолотирования, профили НСАП и колонки донных донных отложений) показал, что рельеф ледниковых отложений в пределах основной части дна исследуемой акватории (за исключением южной части) значительно расчленен. Средние глубины залегания поверхности ледниковых отложений увеличиваются от 50-55 м в южной и восточной частях акватории до 80-90 м в западной части.

Наиболее распространенными формами рельефа морены являются гряды СЗ-ЮВ простирания относительной высотой (от основания) 25-50 м, интерпретируемые как расположенные по нормали к краю отступающего ледника друмлиноиды и/или озы. Поверхность вершин и склонов гряд практически по всей площади осложнена более мелкими грядами. По результатам многолучевого эхолотирования и непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСАП), выполненного на ключевых участках в районе о-ва Мощный, Гогланд, Соммерс, Виргины и в Выборгском заливе, в исследуемом районе были впервые выявлены морены Де Геера. Анализ архивных материалов НСАП показал, что в северо-западной части акватории на ряде профилей мелкие гряды по своим морфометрическим параметрам и ритмичности расположения однозначно могут интерпретироваться как морены Де Геера. Морена Де Геера формируется при соприкосновение подошвы ледника с поверхностью грунта. В случаях когда нижний край ледника находится «на плаву», а сам он представдяет собой «ледяной берег» приледникового озера такие гряды не формируются. Повсеместное распространение гряд с аналогичными морфометрическими показателями, установленное по результатам анализа всего массива данных НСАП, позволяет предположить, что ледник на первом этапе дегляциации лежал на дне.

В результате исследований 2017 и 2019 гг. в восточной части Финского залива была выявлена частично погребенная под ледниково-озерными и голоценовыми отложениями, гряда высотой 20-30 м и шириной до 1000 м, простирающаяся с СВ на ЮЗ (65°-100°), протягивающиеся от района о-вов Виргины до Выборгского залива. В Выборгском заливе гряда имеет резко ассиметричную форму с крутым (10°) южным и более пологим (3-4°) северным склоном. Морфология гряды соответствует краевым образованиям, детально изученным на северном побережье залива [4]. К западу от островов Виргины выявлен фрагмент более крупной гряды аналогичного простирания.

По данным анализа колонок донных отложений выявлены и ранжированы нарушения структуры ледниково-озерных отложений. Анализ пространственного расположения блоковых текстур (блоков, обломков или катунов, крупных складок фрагментов более древних пород в более молодых отложениях) показал, что они характерны для ледниково-озерных отложений, опробованных в пределах широкой полосы, вытянутой в направлении с юго-запада на северо-восток от Нарвского до Выборгского залива, и не встречаются в описаниях колонок ледниково-озерных отложений

наиболее восточной части залива, и на северо-западе исследуемой площади, то есть севернее выделенной по данным наших исследований конечно-моренной гряды. Дислокации приурочены к склонам и вершинам поднятий рельефа морены. Распределение дислокаций позволяет предположить их гляциотектонический генезис и является аргументом в пользу осцилляции ледника перед образованием конечно-моренной гряды стадии Паливере, прослеженной в пределы акватории восточной части Финского залива.

Проведенные исследования позволили выявить неизвестные ранее особенности геологического строения верхненеоплейстоценовых отложений восточной части Финского залива. Анализ архивных данных и результатов двухлетних работ по гранту позволил установить, что строение толщи озерно-ледниковых отложений в пределах впадины восточной части Финского залива более сложное, чем предполагалось ранее. В разрезе выделен акустически прозрачный бесструктурный сейсмоакустический комплекс, условно названный «белой пачкой». Данный комплекс фиксируется в разрезе в трех видах залеганий: 1) между поверхностью морены и ленточными глинами (тип Б); 2) выше ленточных глин (тип А); 3) между ленточными глинами и типичными отложениями Балтийского ледникового озера (тип В). По данным донного пробоотбора и аналитических исследований на данном этапе работ «белая пачка» типа Б, заполняющая впадины ледникового рельефа и подстилающая ленточные глины, интерпретируются как песчано-гравийные флювиогляциальные отложения, их пространственное распространение является индикатором южной границы конечно-моренного комплекса стадии Паливере, прослеженного в пределах акватории Финского залива. Отложения «белой пачки» типов А и В, перекрывающие ленточные глины с учетом результатов пробоотбора могут рассматриваться как подледные отложения, формировавшиеся после осцилляции ледника, ранее отступившего севернее и вновь надвинувшегося к линии стадии Паливере. Такая гипотеза не противоречит результатам исследований климата и палеогеографии региона Балтийского моря, согласно которым похолодание раннего дриаса (около 12.8 тыс.кал.л.н.) [2,3], привело к осцилляции края ледникового щита, а также результатам геолого-геоморфологического моделирования [1].

Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ 19-05-00768.

Список литературы

1) Амантов А.В., Амантова М.В. Моделирование послеледникового развития района Ладожского озера и восточной части Финского залива// Региональная геология и металлогения № 69. 2017. С. 5–14.

2) Andren, T., Björck, S., Andren, E., Conley, L.Z. & Anjar, J. The development of the Baltic Sea Basin during the last 130 ka // The Baltic Sea Basin (editors: Harff J., Björc k S. & Hoth P.), 2011, P.75–97.

3) Hang T., Kohv M. Glacial varves at Pärnu, south-western Estonia: a local varve chronology and proglacial sedimentary environment. GFF, Vol. 135(1), 2013, P. 273–281. doi:http://dx.doi.org/10.1080/11035897.2013.775598.

4) Ryabchuk D., Sergeev A., Krek A., Kapustina M., Tkacheva E., Zhamoida V., Budanov L., Moskovtsev A., Danchenkov A. Geomorphology and Late Pleistocene–Holocene Sedimentary Processes of the Eastern Gulf of Finland // Geosciences №8(3), 120. 2018. 23 p. doi:10.3390/geosciences8030102

РЕГУЛЯРНЫЕ МОРЕННЫЕ ГРЯДЫ ВОСТОЧНО-БАРЕНЦЕВОМОРСКОЙ ВПАДИНЫ КАК ИНДИКАТОР ДИНАМИКИ ОТСТУПЛЕНИЯ ЛЕДОВОГО ПОКРОВА

Василевская Я.А.[1], **Соловьева М.А.**[2], **Ахманов Г.Г.**[1], **Монтелли А.И.**[3]

[1] *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва* [2] *ДЕКО-геофизика, г. Москва*
[3] *University of Cambridge, Cambridge*

ya_ vasilevskaya@mail.ru

Ключевые слова: Баренцево море, морская сейсморазведка, морская геология, субгляциальный рельеф.

В июле-августе 2020 года состоялась научно-исследовательская экспедиция TTR-19 по программе «Обучение-через-исследования (Training-through-Research)» в северо-восточную часть Баренцева моря. В результате исследований получен большой объем геологических и геофизических данных. Акустические работы были выполнены при помощи многолучевого эхолота, сейсмоакустические наблюдения проводились по методике непрерывного сейсмического профилирования с источником типа «спаркер» и с высокочастотным профилографом. Такая методика наблюдений обеспечила разную проникающую и разрешающую способность сейсмических волн. Геологические исследования заключались в отборе донных осадков гравитационными трубками длиной 4 м с последующим детальным анализом керна: литологическим, инженерно-техническим, геохимическим и другими видами исследований.

Проблема оледенения шельфов Западно-Арктических морей интересует многих специалистов, изучающих северные акватории. Как отечественные, так и зарубежные ученые выдвигают различные гипотезы образования и развития ледниковых покровов в регионе. Данные, полученные в ходе экспедиции TTR-19, позволяют дополнить и скорректировать современные представления об эпохе последнего оледенения Баренцева моря.

Изучение пост-ледниковой морфологии дна моря - важный и надежный инструмент для реконструкции конфигурации ледового покрова и динамики отступления ледника. При анализе батиметрической съемки различных полигонов в Восточно-Баренцевоморской впадине были обнаружены регулярные моренные гряды неизвестного генезиса. Целью данной работы является выявление закономерностей распространения моренных гряд, а также определение возможной природы этих образований.

В ходе работы определены ширина, длина, ориентировка и высота каждого моренного вала, а где было возможно, измерены расстояния между ними. Благодаря большой выборке данных (более 300 измерений) построены статистические распределения каждого измерения и определено среднее значение и отклонение от среднего. Обнаруженные в рейсе TTR 19 моренные валы характеризуются высотой 5 м, шириной 75 м, длинной 170 м и среднем расстоянием между валами в 200 м. Опираясь на результаты анализа морфологии, конфигурации и особенностей расположения моренных валов Восточно-Баренцевоморской впадины в литературных источниках были найдены похожие моренные гряды, закартированные как в Баренцевом, так и в других северных морях. Такие моренные гряды в англоязычной литературе классифицируются как «transverse ridges», и их происхождение объяснятся по-разному.

По результатам детального анализа обнаруженных в Восточно-Баренцевоморской впадине моренных гряд, предполагается, что они могут являться т.н. «моренами Де Гира» (De Geer moraines) или же конечными годовыми моренами (annual moraines). Для морен Де Гира характерно симметричное строение, высота 1-3 м, ширина 20-30 м, длина 100-200 м, а также примерно постоянное расстояние между моренными грядами [1, 3]. Образование таких морен связывают с пульсацией (быстрые периодические наступание и отступание) ледника, а также с наличием субпараллельных

трещин в основании ледника, где собирается моренный материал, который отлагается в виде валов при последующем таянии льда. Обнаруженные на полигонах TTR-19 валы обладают схожими морфометрическими параметрами, однако имеют немного бóльшую высоту и ширину.

С другой стороны, моренные гряды, обнаруженные в TTR-19, могут интерпретироваться как конечные морены, свидетельствующие о годовых колебаниях уровня моря при быстром отступании ледника. Для таких морен характерны высота 2-4 м, ширина 35-40 м и расстояние между валами, в среднем, от 20 до 85 м [2]. Обнаруженные нами морены обладают бóльшими, но сопоставимыми размерами. Если остановиться на предположении о том, что обнаруженные валы являются конечными моренами, по расстоянию между валами можно рассчитать скорость годового отступания ледника - она могла составлять около 200 м/год для восточной (наиболее глубокой) части впадины и 300 м/год для западной части. Такие оценки могут указывать на увеличении скорости таяния и отступания ледника с течением времени.

В дальнейшем, для детализации представлений о районе и более уверенного определения генезиса обнаруженных валов целесообразно выполнить дополнительную батиметрическую съемку на сопряженных участках дна. Необходимо также отобрать образцы морены и провести радиоуглеродное датирование валов для определения времени их формирования. Дополнительные исследования позволят более уверенно говорить о генезисе регулярных морен в Восточно-Баренцевоморской впадине и об эволюции ледового покрова в данном районе.

Экспедиция организована при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Список литературы

1) Andrew Finlayson, Tom Bradwell, Nick Golledge, Jon Merritt Morphology and Significance of Transverse Ridges (De Geer Moraines) Adjacent to the Moray Firth //Scottish Geographical Journal, 2007, pp. 257-270

2) Marek Grzes, Michał Krol, Ireneusz Sobota Submarine evidence of the Aavatsmark and Dahl Glaciers fluctuations //Polish Polar Research, 2009, vol. 30, no. 2, pp. 143–160

3) Harry Zilliacus Genesis of De Geer moraines in Finland // Sedimentary Geology, 1989, pp. 309-317

ВРАЩЕНИЕ ЗЕМЛИ И ЭЛЬ-НИНЬО ЮЖНОЕ КОЛЕБАНИЕ

Зотов Л.В.[1,2], **Марчукова О.В.**[3]

[1] *Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва*

[2] *Московский институт электроники и математики, Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики, Москва*

[3] *Институт природно-технических систем РАН, г. Севастополь*

kimo2021@mail.ru

Ключевые слова: вращение Земли, Чандлеровское колебание полюса, изменения климата, Многолетнее атлантическое колебание, Эль-Ниньо Южное колебание

2020 год признан научным климатическим сообществом одним из самых жарких на планете в последние десятилетия. Одновременно с этим наблюдалось аномальное ускорение во вращении Земли. Продолжительность суток - length of day (LOD) достигла минимума. Это может привести к необходимости вычесть секунду из шкалы Всемирного координированного времени UTC [1]. Интересно понять, почему, начиная с 2016 года, вращение Земли стало ускоряться.

На скорость вращения Земли влияют процессы в океане, атмосфере, недрах, приводящие к обмену угловым моментом между оболочками, а также приливы, меняющие фигуру Земли и ее тензор инерции. Если приливные и атмосферные явления сказываются на годовых и внутригодовых интервалах, то многолетние колебания происходят под действием океанической изменчивости и процессов в недрах.

Ранее мы уже сообщали о том, что Многолетнее атлантическое колебание, сказывающееся на глобальной температуре на Земле, может находить отражение в скорости вращения планеты и движении полюса [2]. В этот раз нам хотелось бы привлечь внимание к Эль-Ниньо южному колебанию (ЭНЮК) и чередованию его фаз [3], которые хорошо заметны в данных по угловому моменту атмосферы и находят отражение в скорости вращения Земли. Нами замечено, что сильные явления Эль-Ниньо 1972-73, 1997-98, 2015-16 годов приходятся на пики замедления вращения Земли, после которого происходит переход к ускорению. Особенно интересен разворот, случившийся в 2016 году и приведший к тому, что в 2020 году достигнуты рекордно малые величины продолжительности суток. Всемирная Метеорологическая организация (ВМО) сообщила на своем официальном сайте, что в 2020 г. возникло явление Ла-Ниньо, которое по прогностическим оценкам продлится до весны 2021 г. Частично вращение Земли ускорило оно. Однако изменчивость углового момента атмосферы и океана не объясняет целиком идущего с 2016 году уменьшения LOD на $\sim$0.3 миллисекунды в год.

В докладе будет проведено сравнение климатических факторов, многолетних процессов в океане и вращения Земли. Наша цель - найти объяснение наблюдаемому ускорению во вращении Земли и спрогнозировать дальнейшее развите событий.

Работа выполнялась при поддержке НИУ ВШЭ НУГ "Группа оперативного геомониторинга" N 20-04-033 и Китайского гранта по современной геодезии и геодинамике NSFC N. B17033.

Список литературы

1) Зотов Л.В., Бизуар К., Почему Земля вращается неравномерно и как это влияет на счет времени, Природа, РАН, 2021 г. (в печати)

2) Зотов Л.В. Геофизические процессы и вращение Земли, докторская диссертация, Москва, МГУ, 2019.

3) Marchukova O.V., Voskresenskaya E.N., Lubkov A.S. Diagnostics of the La Niña events in 1900–2018 // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., 2020. V. 606 P. 012036.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ГАЗОНАСЫЩЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА АРКТИЧЕСКИХ АКВАТОРИЙ

Кишанков А.В.

[1]*Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, г. Москва*

[2]*Институт проблем нефти и газа РАН, г. Москва*

alexey137k@yandex.ru

Ключевые слова: газонасыщенные отложения, свободный газ, газовые гидраты, сейсморазведка, отражающий горизонт BSR, многолетнемерзлые породы.

В работе изучалась потенциальная газоносность верхней части разреза (ВЧР) четырех северных акваторий - морей Лаптевых, Чукотского, Бофорта, Берингова. Актуальность изучения газоносности ВЧР обусловлена несколькими причинами. Приповерхностные газовые залежи могут указывать на расположения крупных месторождений углеводородов на больших глубинах. Газонасыщенные отложения ВЧР представляют опасность при поисковом и разведочном бурении - вскрытие таких отложений может приводить к выбросам газа на поверхность [3]. Кроме того, эмиссия метана из залежей свободного газа и газовых гидратов в атмосферу усиливает парниковый эффект и является важным фактором изменения климата.

Целью работы являлся поиск потенциальных залежей свободного газа и газовых гидратов в ВЧР на основе интерпретации сейсмических данных. Аномалии сейсмической записи, указывающие на скопления свободного газа, определялись по следующим признакам: 1 - повышенные амплитуды отражений (яркие пятна), 2 - инверсия фаз отражений, 3 - прогибание осей синфазности, 4 - поглощение высоких частот упругих волн, 5 - зоны пониженных амплитуд под предполагаемыми залежами газа, 6 - горизонтальные оси синфазности (плоские пятна). Газовые гидраты прогнозировались по наличию отражающего горизонта BSR (bottom simulating reflector - псевдодонный отражающий горизонт). Всего в ходе работы вручную (визуально) проанализировано около 27,4 тыс. км сейсмических профилей. В результате выявлено примерно 1,5 тыс. аномалий, указывающих на потенциальные объекты, насыщенные свободным газом, выделены зоны вероятного распространения газовых гидратов на континентальных склонах морей Лаптевых, Бофорта, Берингова [4, 5, 6]. Также выполнен анализ распределения потенциальных газонасыщенных объектов в ВЧР по глубинам и горизонтальным размерам.

Большинство объектов по всем рассмотренным морям прогнозируется на глубинах от 0 до 200 м ниже морского дна. Схожая статистика глубинного распределения потенциальных газонасыщенных объектов по исследованным акваториям может быть связана с интенсивными тектоническими движениями в соответствующих регионах на стадии накопления отложений ВЧР. Разрывные нарушения, доходящие близко к поверхности осадочного чехла, вероятно, способствовали миграции газа к придонным отложениям и в гидросферу. В море Лаптевых в позднемиоцен-плейстоценовое время произошла активизация растяжения коры, связанная с ускорением спрединга в соседнем Евразийском бассейне. В результате многочисленные разрывные нарушения деформировали большую часть разреза осадочного чехла, в том числе ВЧР. Лаптевоморский регион и в настоящее время характеризуется активной сейсмичностью [1]. В Анадырском бассейне Берингова моря в среднем миоцене произошла активизация осадконакопления, связанная с рифтогенезом [2]. В Чукотском море, предположительно, при накоплении отложений ВЧР имела место активизация разломов, смещавших более древние отложения. В море Бофорта разломные зоны нарушают четвертичные отложения и поверхность морского дна. Полученные распределения потенциальных газонасыщенных объектов в ВЧР могут также быть связаны со схожими криологическими условиями морей. Поскольку на рассмотренных акваториях залежи в ВЧР прогнозируются преимущественно в приповерхностных отложениях, можно предполагать, что в данных морях на

значительных площадях отсутствуют сплошные многолетнемерзлые породы, способные экранировать газ при его вертикальной миграции из глубинных резервуаров или нефтегазоматеринских толщ.

Таким образом, в морях Лаптевых, Беринговом, Чукотском, Бофорта на основе интерпретации сейсмических материалов выделены потенциальные газонасыщенные объекты и проанализирована статистика их распределения. Предположительно, закономерности распространения газонасыщенных объектов в ВЧР связаны как с геологическим развитием соответствующих регионов, так и с современными криологическими условиями.

Список литературы

1) Аветисов Г. П. Некоторые вопросы динамики литосферы моря Лаптевых //Физика Земли. – 1993. – № 5. – С. 28-38.
2) Антипов М. П., Бондаренко Г.Е., Бордовская Т.О., Шипилов Э.В. Тектоническая эволюция Анадырской впадины в связи с перспективами ее нефтегазоносности (Северо-Восток Евразии) //Геотектоника. – 2009. – № 5. – С. 74-96.
3) Богоявленский В. И. Арктика и Мировой океан: современное состояние, перспективы и проблемы освоения ресурсов углеводородов //Научные труды Вольного экономического общества России. – 2014. – Т. 182. – С. 12-179.
4) Богоявленский В. И., Казанин Г. С., Кишанков А. В. Опасные газонасыщенные объекты на акваториях Мирового океана: море Лаптевых //Бурение и нефть. – 2018. – № 5. – С. 20-28.
5) Богоявленский В. И., Кишанков А. В. Опасные газонасыщенные объекты на акваториях Мирового океана: Берингово море //Бурение и нефть. – 2018. – № 9. – С. 4-12.
6) Богоявленский В. И., Кишанков А. В. Опасные газонасыщенные объекты на акваториях Мирового океана: Чукотское море (Россия и США) //Арктика: экология и экономика. – 2020. - № 2. – С. 45-58.

СЕЙСМОФАЦИАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Кривцов А.Ю.[1], **Соловьёва М.А.** [1,2], **Ахманов Г.Г.**[1]

[1] *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва* [2] *ООО «Деко-геофизика», г. Москва*

krivtsov98@ya.ru

Ключевые слова: Баренцево море, морская сейсмоакустика, донный пробоотбор, сейсмофациальное районирование.

В июле-августе 2020 года состоялась комплексная геолого-геофизическая экспедиция Плавучего Университета ЮНЕСКО-МГУ TTR-19 по программе «Обучение-через-исследование» (Training-through-Research). Район работ рейса располагался в северо-восточной части Баренцева моря. Основной целью экспедиции являлись комплексные исследования, нацеленные на получение новых сведений о строении верхних горизонтов осадочного чехла и морфологии дна северо-востока Баренцевоморского шельфа. Одной из задач данной работы является проведение сейсмостратиграфического расчленения разреза четвертичных отложений района седловины Страхова, разделяющей жёлоб Седова и Восточно-Баренцевоморскую впадину, на основе данных сейсмоакустических исследований сверх- и ультра-высокого разрешений (ССВР и СУВР), выполненных с использованием электроискрового источника и профилографа соответственно.

По данным сейсморазведки было установлено и, затем, уточнено пробоотбором строение верхней части осадочного разреза. В основании изучаемого разреза находятся коренные породы. Они несогласно перекрываются комплексом четвертичных отложений, который состоит из двух основных толщ: поздне-плейстоценовых ледниковых накоплений в нижней части и голоценовых морских осадков в верхней. На сейсмических разрезах эти комплексы различаются по характеру волновой картины. Коренные породы на данных ССВР характеризуются параллельно-слоистой волновой картиной и осложнены разрывными нарушениями и складками. В пределах толщи позднеплейстоценовых ледниковых отложений на данных ССВР и СУВР волновая картина может быть акустически прозрачной или хаотичной. Современные морские осадки лучше выделяются на данных СУВР и характеризуются высокоамплитудным отражением в подошве и неоднородной волновой картиной, которая бывает акустически прозрачной, хаотической и параллельно-слоистой.

На исследуемой площади был выполнен обширный донный пробоотбор с использованием ударных трубок. В ряде случаев, данные пробоотбора позволили заверить выделение сейсмокомплексов и, в дальнейшем, легли в основу литофациального районирования. Коренные породы залегают на глубине и не всегда отражаются на данных сейсморазведки. Лишь в единичных станциях опробования удалось получить образцы пород этого комплекса. Поэтому в данной работе внимание акцентировано на приповерхностном комплексе четвертичных накоплений: ледниковых отложениях и перекрывающих их морских осадках.

Комплекс моренных отложений распространён по площади крайне неравномерно, его мощность варьирует от нуля до нескольких десятков метров. Данные донного пробоотбора также указывают на весьма разнообразный литологический состав морен: от глинисто-алевритовых песков с включениями обломков пород до однородных глин. В пределах исследуемого района ледниковые накопления формируют различные субгляциальные и перигляциальные формы рельефа, такие как: борозды айсбергового и ледникового выпахиваний, конечные моренные гряды [2], образования «hill-hole pair» [3], «кратеры гидратного взрыва» [1].

Современные морские осадки распространены практически повсеместно. Они плащеобразно перекрывают нижележащие отложения. Их мощность, в целом, выдержана по площади и варьирует от первых сантиметров на вершинах и склонах моренных гряд, до нескольких метров на

выровненных участках рельефа и в локальных депрессиях. По результатам донного пробоотбора установлено, что современные морские осадки также различаются по литологическому составу и представлены глинами и алевритовыми глинами с включениями песка и бентосной фауны.

Распространение характерных форм рельефа на площади, особенности волновой картины и вариации мощностей выделенных сейсмопачек были закартированы и легли в основу сейсмофациального и литофациального районирования отложений седловины Страхова. Были построены карты-схемы мощностей современных осадков и ледниковых накоплений. Результаты данного исследования позволяют уточнить историю геологического развития района северо-восточного Баренцевоморского шельфа в эпоху последнего оледенения и следующего за ним периода дегляциации, особенности конфигурации ледового покрова и характер осадконакопления в четвертичное время.

Комплексная геолого-геофизическая экспедиция TTR-19 состоялась при поддержке Министерства высшего образования и науки Российской Федерации.

Список литературы

1) Andreassen K., Hubbard A., Winsborrow M., Patton H., Vadakkepuliyambatta S., Plaza-Faverola A., Gudlaugsson E., Serov P., Deryabin A., Mattingsdal R., Mienert J., Bünz S. Massive blow-out craters formed by hydrate-controlled methane expulsion from the Arctic seafloor, 2017, Science, 356, pp. 948-953.

2) Dowdeswell J.A., Canals M., Jakobsson M., Todd B.J., Dowdeswell E.K., Hogan K.A., The variety and distribution of submarine glacial landforms and implications for ice-sheet reconstruction. In: Dowdeswell, J.A. et al., (eds), 2016, Atlas of Submarine Glacial Landforms: Modern, Quaternary and Ancient. Geological Society, London, Memoirs, v. 46, p. 519-552.

3) Winsborrow M., Andreassen K., Hubbard A., Plaza-Faverola A., Gudlaugsson E., Patton H. Regulation of ice stream flow through subglacial formation of gas hydrates, 2016, Nature Geoscience 9(5), pp. 1-6.

ВЛИЯНИЕ СЛОИСТОЙ ГРУНТОВОЙ ТОЛЩИ НА ВЕРТИКАЛЬНУЮ СОСТАВЛЯЮЩУЮ ПРОХОДЯЩИХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН

Крылов А.А.[1,2]

[1]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

[2]*Московский физико-технический институт, г. Москва*

artyomkrlv@ocean.ru

Ключевые слова: сейсмический отклик грунтов, вертикальная составляющая, пористая среда, водонасыщенность

Настоящая работа посвящена проблеме отсутствия общепринятого и хорошо апробированного алгоритма численного моделирования реакции пористых водонасыщенных грунтовых отложений на вертикальные колебания грунта от землетрясений. Численное моделирование сейсмической реакции грунта обязательно выполняется для горизонтальных и вертикальных движений грунта в рамках оценки сейсмической опасности строительных площадок ответственных сооружений, таких как атомные электростанции, нефтяные платформы и т.д., из-за их потенциальной уязвимости и высокой экологической опасности.

Влияние грунтов на вертикальную составляющую сейсмических волн изучено гораздо меньше, чем на горизонтальную составляющую. Вертикальная составляющая колебаний грунта состоит из продольных волн и вертикальной составляющей SV-волн в обобщенном случае невертикального падения фронта волны на основание грунтовых слоев. Мы использовали алгоритм на основе NERA [1] для расчета спектров и акселерограмм на свободной поверхности при распространении SH-волн через грунтовые слои. Затем средний поверхностный спектр двух горизонтальных компонент умножается на отношение V/H [2] для получения низкочастотного вклада в целевой спектр. Адаптированный алгоритм на основе NERA использовался для моделирования спектров P-волн и акселерограмм, чтобы получить высокочастотный вклад в целевой спектр [3].

Выполнено моделирование вертикальных движений грунта на поверхности пористых водонасыщенных грунтовых слоев с обобщенными параметрами, полученными из реальных инженерных работ. Вид полученной спектральной огибающей показал, что спектр P-волн смещен в высокочастотную полосу относительно спектра для SV-волн, что соответствует экспериментальным данным [4].

Работа выполнена в рамках государственного задания № 0149-2019-0005 (моделирование исходных сейсмических воздействий), государственной программы повышения конкурентоспособности ведущих университетов Российской Федерации среди ведущих мировых научно-образовательных центров (программа 5-100) (подготовка грунтовых моделей), при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 20-77-00034 (разработка и апробация алгоритма моделирования сейсмической реакции грунтов).

Список литературы

1) Bardet J. P., Tobita T. NERA, A Computer Program for Nonlinear Earthquake Site Response Analyses of Layered Soil Deposits. University of Southern California, 2001, 44 p.

2) Bozorgnia Y., Campbell K.W. Ground Motion Model for the Vertical-to-Horizontal (V/H) Ratios of PGA, PGV, and Response Spectra // Earthquake Spectra. Vol. 32. No. 2. 2016. pp. 951–978.

3) Tsai C.-C., Lui H.-W. Site response analysis of vertical ground motion in consideration of soil nonlinearity // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. Vol. 102. 2017. pp. 124-136.

4) Beresnev I.A., Nightingale A.M., Silva W.J. Properties of Vertical Ground Motions // Bull. Seismol. Soc. Am. Vol. 92. No. 8. 2002. pp. 3152–3164.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ МИКРОЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ЗАПИСЯХ ЛОКАЛЬНЫХ СЕТЕЙ СЕЙСМОСТАНЦИЙ

Лаврентьев К.А.[1], **Крылов А.А.**[1,2]

[1]*Московский физико-технический институт (НИУ), г. Москва*

[2]*Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, г. Москва*

lavrentev.ka@phystech.edu

Ключевые слова: машинное обучение, микроземлетрясение, локальная сейсмическая сеть, дельта Лены.

Работа сети сейсмографов приводит к необходимости обрабатывать большой объём данных. Первым этапом обработки является поиск землетрясений на записях сейсмографов. Для автоматизации поиска необходимо, прежде всего, выделить информативные признаки [1] для нейронной сети [2, 3] или для любой другой модели машинного обучения. Архитектура таких сетей, способы машинного обучения, выделение классов входных сигналов и другие параметры при этом могут быть различными и являются предметом научного исследования.

Целью данной работы является разработка алгоритма детектирования микроземлетрясений на записях локальных сейсмических сетей с помощью методов машинного обучения. Для достижения этой цели были решены следующие задачи: подготовка выборок, тренировка различных моделей и подбор гиперпараметров, сравнительный анализ результатов и выбор наилучшей модели. Несмотря на важность предобработки исходных данных [1], главными целями настоящей работы является поиск оптимальной модели машинного обучения, её тренировка и детектирование микроземлетрясений среди антропогенного шума.

Используемые в этой работе данные были получены с береговых сейсмографов, расположенных в дельте реки Лена в рамках проекта СИОЛА, — летом 2016 года в районе дельты р. Лена установлена локальная сеть из 12 сейсмостанций, ещё 13 сейсмостанций были расположены к юго-востоку от поселка Тикси в качестве малоапертурной сейсмогруппы. Структура данных представлена тремя взаимно перпендикулярными компонентами сигнала (две горизонтальные и одна вертикальная).

Полезные сигналы от землетрясения для обучающей выборки были верифицированы оператором вручную. Затем данные были преобразованы из формата miniSEED в более удобный для работы формат csv, после чего с помощью специально написанной программы каждый файл был визуализирован, — были получены графики трёх каналов всех станций. Визуализация помогла в разметке каждого массива на два события (класса): 1 - есть землетрясение, 0 - нет землетрясения. В каждом csv файле был создан целевой столбец “earthquake”, содержащий 1 и 0. После разметки все файлы были объединены в один большой датафрейм: к концу массива добавлялся другой массив данных. Создание большого массива в несколько сотен тысяч строк необходимо для получения достаточной обучающей выборки, которая в процессе обучения ещё будет делиться на тестовую и валидационную части. Также для конечной проверки работы модели искусственно были сгенерированы заведомо ложные зашумлённые сигналы следующим образом. Из всех доступных записей в случайном порядке выбирались случайные куски данных определённой длины так, чтобы в итоге получился массив, имеющий равную длину с массивом из обучающей выборки. Эти сигналы нужны для того, чтобы убедиться, что модель обучена корректно и не выделяет землетрясение из шума.

В данной работе решалась задача классификации на два класса, поэтому в качестве моделей машинного обучения рассматривались классификаторы: logistic regression, random forest, XGBclassifier. Logistic regression — линейный классификатор, который выявляет линейные зависимости. Random forest — это метод, в основе которого лежит объединение нескольких решающих

деревьев, которые разбивают данные на всё меньшие подмножества на основе разных критериев. С каждым разделением количество объектов определённого критерия уменьшается. В основе модели XGBclassifier лежит алгоритм градиентного бустинга над решающими деревьями. Идея градиентного бустинга состоит в построении ансамбля последовательно уточняющих друг друга элементарных моделей: n-ая элементарная модель обучается на ошибках ансамбля из n-1 моделей, ответы моделей взвешенно суммируются.

Для оценки качества и сравнения моделей применялась стандартная для задачи классификации метрика ROC-AUC. ROC-кривая — график, позволяющий оценить качество бинарной классификации, отображает соотношение между долей объектов от общего количества носителей признака, верно классифицированных как несущие признак и долей объектов от общего количества объектов, не несущих признака, ошибочно классифицированных как несущие признак при варьировании порога решающего правила. Количественную интерпретацию ROC даёт показатель AUC — площадь, ограниченная ROC-кривой и осью доли ложных положительных классификаций. Чем выше показатель AUC, тем качественнее классификатор. Для каждой модели вручную и/или с помощью метода "grid search" были подобраны лучшие значения гиперпараметров, при которых метрика качества максимальна.

В результате работы после серии экспериментов, подбора гиперпараметров и сравнений, модели random forest и XGBclassifier показали себя лучше всех и одинаково хорошо с ROC-AUC = 0.94. Однако следует отметить, что random forest больше переобучался на тестовых данных, что было видно по ROC-кривой из графика. Модель logistic regression не смогла уловить закономерности в данных, её метрика ROC-AUC = 0.5. Таким образом, модели XGBclassifier и random forest показали наилучшие результаты. Следует отметить, что в работе применялись сигналы, обработанные полосовым фильтром с частотами среза 6 и 16 Гц соответственно.

Дальнейшая работа будет продолжена с лучшими моделями — random forest и XGBclassifier. Кроме того, качеству данных также будет уделено больше внимания. Планируется применить к ним различные фильтры и преобразования [1] для выделения полезных сигналов на фоне шума. В хорошо подготовленных данных модель сможет лучше находить закономерности и, соответственно, лучше обучится, что даст прирост метрике качества.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 0149-2019-0005 (предварительная обработка исходных данных), государственной программы повышения конкурентоспособности ведущих университетов Российской Федерации среди ведущих мировых научно-образовательных центров (программа 5-100) (поиск оптимальной модели машинного обучения и её тренировка), при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-05-00533А (подготовка выборки полезных сигналов от землетрясений для машинного обучения).

Список литературы

1) Кислов К.В., Гравиров В.В. Возможности предподготовки сейсмических данных для анализа глубокой нейронной сетью // Физика Земли. 2020, №1, с 150-162.

2) Romeo G. Seismic signals detection and classification using artificial neural networks // Annali di Geofisica, 1994, V. 37, No 3. P. 343-353.

3) Kislov K.V., Gravirov V.V. Neural network techniques for earthquake detection in high noise // Электронный научный журнал «Исследовано в России», January 2010. P. 837-848.

ОЦЕНКА ЦУНАМИОПАСНОСТИ В КАСПИЙСКОМ МОРЕ НА ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТНОГО ПОДХОДА

Медведева А.Ю.[1,2],**Медведев И.П.**[1]

[1] *Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

[2] *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва*

alisa.bannikova@gmail.com

Ключевые слова: цунами, высота цунами, Каспийское море, Апшеронский полуостров, детерминистский подход, вероятностный подход, синтетический каталог.

Каспийское море - это регион с относительно высокой сейсмической активностью, определяемой геотектоническими процессами, но при этом риски от цунами изучены здесь недостаточно. Наиболее сильными землетрясениями Каспийского региона были: Рудбарское (Иран) 1990 г. с M_w = 7.4 и Красноводское (Туркмения) 1895 г. с M_w =7.8-8.2. Также мощные землетрясения, произошедшие на суше и не затронувшие водную толщу, в данном районе - это Туркменское землетрясение 2000 г. с M_w = 7, Казанджикское 1946 г. с M_w = 7 и Большебалханское 2002 г. с M_w = 7.2-7.4. В настоящее время есть сведения о 14-ти исторических цунами или случаях аномальных колебаний уровня моря (высота волн не превышала 1-2 м) [1, 2, 3], таким образом нельзя исключать проявление цунами в Каспии. Разработка методов оценки цунамиопасности на основе детерминистского и вероятностного подходов является перспективным направлением в научных исследованиях, связанных с прогнозом и предотвращением последствий цунами.

Разработана региональная модель сейсмических источников цунами в зоне Главного кавказского надвига. Выполнена оценка параметров вероятных моделей сейсмических источников и их неопределенностей по имеющимся данным об исторических землетрясениях и активных разломах региона. Для проведения цунамирайонирования побережья Каспийского моря использовалась методика сценарного моделирования. Период времени, охватываемый модельным каталогом землетрясений, использовавшимся для расчетов генерации и распространения цунами, составляет около 20 тыс. лет, что больше периодов повторяемости сильнейших возможных землетрясений. Были построены графики повторяемости расчетных максимальных высот цунами для всего побережья моря. На их основе были рассчитаны максимальные высоты волн цунами на побережье с периодами повторяемости 250, 500, 1000 и 5000 лет и построены соответствующие обзорные карты цунамирайонирования Каспийского моря. Усовершенствован алгоритм расчета наката цунами на берег с учетом остаточных (постсейсмических) смещений рельефа дна и суши. Выполнены оценки цунамиопасности для побережья в районе г. Каспийск и Апшеронского полуострова: в рамках детерминистского подхода рассчитаны максимальные высоты волн и дальности затопления. Показано, что детерминистский подход [4] немного завышает максимальные высоты волн цунами с определенными периодами повторяемости. Показано, что изменения среднего уровня моря могут влиять на особенности распространения волн цунами в акватории Каспийского моря. Так при среднем уровне моря -25–26 м залив Кара-Богаз-Гол сообщается с акваторией всего моря через узкий одноименный пролив, что приводит к распространению волн цунами в акваторию залива и к уменьшению высоты волны на восточном побережье моря у входа в залив. При опускании среднего уровня моря ниже -27 м, положительные глубины в проливе исчезают и водообмен через пролив прекращается, и высота волн в этой части моря увеличивается. Изменение среднего уровня моря меняет батиметрию прибрежных участков акватории и конфигурацию береговой линии моря, что может приводить к изменению резонансных свойств шельфа и отдельных заливов.

Наиболее цунамиопасными участками побережья для периода повторяемости 1000 лет оказались западное и восточное побережье моря на границе Среднего и Южного Каспия. На восточном побережье наиболее подверженным цунами является участок с широтой 40°-42°. Здесь может

образовываться волна цунами с высотой до 1.5 м. Наибольшие высоты цунами с периодом повторяемости 1000 лет приурочены Апшеронскому полуострову и составляют 1.7 м. В Северном Каспии высота волн цунами не превышает 0.2 м. Максимальные высоты волн цунами для другого периода повторяемости 5000 лет располагаются на восточном побережье моря. Там в районе широты 40°-42° высота цунами составляет 6-8 м. Максимальная высота до 11 м зафиксирована в районе пролива Кара-Богаз-Гол (∼41° с.ш.). Вблизи п-ва Челекен (∼39.4° с.ш.) высота волн цунами составляет 5 м. Высота цунами до 5.5 м может наблюдаться в западной части Казахского залива. На восточном побережье Каспия высота цунами достигает 4-5 м с максимумом вблизи Апшеронского п-ва (6 м) и вблизи ∼38° с.ш. (6 м). В Северном Каспии высота волн цунами не превышает 1 м. Высоты волн цунами с различными периодами повторяемости должны учитываться при строительстве и эксплуатации объектов на шельфе и на побережье.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0128-2021-0004) и при поддержке гранта РФФИ № 18-05-60250.

Список литературы

1) Пелиновский Е. Н. Предварительные оценки цунамиопасности Каспийского моря //Н. Новгород. – 1999. – №. 480.

2) Смирнова М. Н., Бражник В. А., Керимов И. А. Использование буровых и геофизических материалов при решении задач сейсмического районирования //ГНТП России «Глобальные изменения природной среды и климата». Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. – 1993. – №. 1. – С. 139-142.

3) Соловьева О. Н. и др. Цунами в Каспийском море. Препринт //М.: ИО РАН. – 2004.

4) Куликов Е. А., Медведева А.Ю., Файн И.В. Оценка опасности цунами в Каспийском море //Океанологические исследования. – 2019. – Т. 47. – №. 5. – С. 74-88.

АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКИХ ШУМОВ НА ШЕЛЬФЕ И КОНТИНЕНТАЛЬНОМ СКЛОНЕ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

Новиков М.А [1,2], Крылов А.А.[1,2]

[1] *Московский Физико-Технический Институт (НИУ), г. Москва*

[2] *Институт океанологии РАН, г. Москва*

mihail.novikow@mail.ru

Ключевые слова: сейсмология, сейсмотектоника, шельф, море Лаптевых, донные сейсмостанции

Район моря Лаптевых является важным для изучения регионом по причине того, что область шельфа является переходной зоной между срединно-океаническим рифтовым хребтом и континентальным рифтом [1]. Характерная особенность сейсмотектоники моря Лаптевых - наличие крупных рифтовых структур, простирающихся от континентального склона, к которому подходит юго-восточный фланг хребта Гаккеля, протягивающегося более чем на 1700 км при ширине 80-160 км и характеризуется достаточно высокой сейсмической активностью [2]. Основанием для рифтовых зон, вероятно, служат позднепалеозойские-мезозойские складчатые пояса [3].

Необходимость комплексного, в частности геофизического исследования данного региона также обусловлена наличием на шельфе большого количества подводной мерзлоты и активным выделением пузырькового метана в районах исследования.

Целью работы является исследование сейсмичности и тектоники шельфа моря Лаптевых. Данная работа выполнена в рамках комплексного исследования морей арктического шельфа в рамках научно-исследовательских экспедиций НИС «Академик Мстислав Келдыш» рейс 73 и 78, направленных на изучение выхода метана из донных осадков в связи с деградацией подводной мерзлоты. Частью исследовательской программы был ряд долгосрочных постановок сейсмических донных станций для изучения локальной микросейсмичности. Для исследования сейсмичности Лаптевоморского региона, в частности, необходимо детальное изучение характерных параметров и условий эксплуатации донных станций, таких как параметры шумов а также регистрационные возможности в зависимости от времена года.

Для регистрации локальных землетрясений в районе исследования использовались донные сейсмические станции МПССР, устанавливающихся по схеме с притопленным буем, а также две самовсплывающие станции GNS.

Постановки были проведены в период с 21 сентября по 25 октября 2018 года. В ходе рейса были установлены пять морских придонных станций сейсмоакустической разведки (МПССР) оснащенных гидрофоном ГГ-7 с частотным диапазоном 0.1 - 25000 Гц, блоком датчиков СМЕ-4311 с диапазоном 0.016-50 Гц а также блоком горизонтальных и вертикальных датчиков СГ-10 и СВ-10 диапазоном 10-200 Гц. Кроме того, на континентальном склоне были установлены две самовсплывающие станции на глубине порядка 300 метров.

Все пять станций МПССР и самовсплывающая станция GNS-C0002 были подняты 13 октября 2019 года в точке с координатами 77° 18,463' северной широты и 120° 36,591' восточной долготы, глубиной 350 метров. Были получены записи длиной от четырех до семи месяцев, начиная с середины октября 2018 года. При обработке данных для каждого месяца были построены спектрограммы методом быстрого преобразования Фурье с двухчасовым окном Хэмминга и перекрытием 50%.

При анализе спектрограмм было выяснено, что максимальная интенсивность шума приходится на диапазон низких частот - около десятых долей Герца. Важным результатом является сильное уменьшение низкочастотного сигнала в конце октября - самом начале ноября, которое соотносится с образованием сплошного льда на акватории моря Лаптевых. Период таких колебаний соответствует диапазону периодов ветрового волнения 6-13 секунд. При этом уровень сейсмических

шумов для станций МПССР, установленных на глубине 36-42 метров сильнее зависит от ледовой обстановки (и, соответственно, ветрового волнения), чем для станции на континентальном склоне на глубине 350 метров.

Таким образом, при анализе данных полученных из проведенного эксперимента была установлена зависимость регистрационных возможностей донных сейсмостанций от ветрового волнения в акватории моря Лаптевых, которое, в свою очередь, зависит от состояния ледового покрова.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 0149-2019-0005 (рутинная обработка сейсмограмм), государственной программы повышения конкурентоспособности ведущих университетов Российской Федерации среди ведущих мировых научно-образовательных центров (программа 5-100) (построение спектрограмм шумовых сигналов), при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-05-00533 А (определение регистрационных возможностей донных сейсмостанций).

Список литературы

1) Ковачев С.А., Кузин И.П., Соловьев С.Л. Кратковременное изучение микросейсмичности губы Буор-Хая, море Лаптевых, с помощью донных сейсмографов // Физика Земли. 1994. No 7–8. С. 65–76.

2) Богданов Н.А., Хаин В.Е., Розен О.М. и др. Объяснительная записка к Тектонической карте морей Карского и Лаптевых. М.: Институт литосферы и внутренних морей РАН, 1998. 127 с.

3) Drachev S.S., Malyshev N.A., Nikishin A.M. Tectonic history and petroleum geology of the Russian Arctic Shelves: an overview / Eds B. A. Vining, S. C. Pickering // PetroleumGeology: From Mature Basins to New Frontiers // Proceedings of the 7th Petroleum Geology Conference. Published by the Geological Society, London, 2010. P. 591–619.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕАКЦИИ НАСЫЩЕННЫХ ГРУНТОВ НА ПРОХОЖДЕНИЕ SH-ВОЛНЫ

Радюк Е.А.[1], **Крылов А.А.**[1,2]

[1]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*
[2]*Московский физико-технический институт, г. Москва*

elena.radiuk@yandex.ru

Ключевые слова: сейсмический отклик грунтов, SH-волны, пористая среда, водонасыщенность

Численное моделирование сейсмической реакции грунтов обычно проводится в рамках оценки сейсмической опасности, предшествующей строительству объекта в тектонически активных регионах, включая акватории. Важной особенностью морских грунтов является их пористая и водонасыщенная структура. Целью настоящего исследования является разработка и апробация алгоритма моделирования нелинейного поведения пористых водонасыщенных грунтов во время распространения SH-волн.

Мы обосновали применимость уравнений движения теорий Био [1] и Гассмана [2] о распространении упругих волн в пористой среде в широко распространенном алгоритме моделирования сейсмической реакции грунтов NERA [3]. При этом использовано допущение о пренебрежимо малом относительном движении жидкой и твердой фаз при прохождении упругих волн в низкочастотном сейсмологическом диапазоне до 100 Гц [4, 5].

Модифицированный для случая пористой среды алгоритм NERA апробирован с использованием зарегистрированных донными сейсмостанциями сигналов от землетрясения с магнитудой 5.8 в турецкой провинции Кютахья, которое произошло 19 мая 2011 года в 20:15:25.09 UTC. В момент, когда произошло землетрясения, сотрудниками ИО РАН проводились инженерно-сейсмологические работы на северо-восточном шельфе Черного моря с использованием локальной сети донных сейсмостанций. Полученные результаты показали хорошее соответствие смоделированных разными методами спектров реакции с наблюденными.

Обоснована применимость представленного подхода для интеграции уравнений движения пористой среды в другие известные алгоритмы. Моделирование также показало, что реакция связных и несвязных грунтов с влажностью, характерной как для береговых, так и для морских площадок, объясняется эффектами резонансов и эффектом насыщения амплитуд ускорения, которые, в свою очередь, зависят от соответствующего значения толщины и жесткости грунтовых слоев. Полученные результаты могут иметь значительное практическое применение для изучения влияния параметров пористых водонасыщенных грунтов на сейсмический отклик.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 0149-2019-0005 (моделирование исходных сейсмических воздействий), государственной программы повышения конкурентоспособности ведущих университетов Российской Федерации среди ведущих мировых научно-образовательных центров (программа 5-100) (подготовка грунтовых моделей), при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 20-77-00034 (разработка и апробация алгоритма моделирования сейсмической реакции грунтов).

Список литературы

1) Biot M.A. Theory of Propagation of Elastic Waves in a Fluid-saturated Porous Solid II. Higher frequency range // J. Acoust. Soc. Am. Vol. 28. No. 2. 1956. pp. 179–191.

2) Gassmann F. Über die Elastizität poröser Medien // Viertel, Naturforsch, Ges. Zürich. Vol. 96. 1951. pp.1 – 23.

3) Bardet J. P., Tobita T. NERA, A Computer Program for Nonlinear Earthquake Site Response Analyses of Layered Soil Deposits. University of Southern California, 2001, 44 p.

4) Avseth P., Mukerji T., Mavko G. Quantitative Seismic Interpretation: Applying Rock Physics Tools to Reduce Interpretation Risk. United Kingdom at the University Press, Cambridge, 2005.359 p.

5) Mavko G., Mukerji T., Dvorkin J. The Rock Physics Handbook: Tools for Seismic Analysis of Porous Media. United States of America by Cambridge University Press, New York. 2009. 511 p.

ФАКТОРЫ, ПРИВОДЯЩИЕ К ОБРАЗОВАНИЮ ПОДВОДНЫХ ОПОЛЗНЕЙ НА СКЛОНАХ О. САХАЛИН

Рукавишникова Д.Д.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

drukavishnikova@gmail.com

Ключевые слова: подводные оползни, крип, склоны о. Сахалин

Подводные оползни или быстрые смещения массы осадочного материала вниз по склону, происходящее под действием силы тяжести - разрушительное явление, способное повреждать сооружения на морском дне и вызывать цунами. В то же время подводные оползни интересны как часть седиментационных систем подводных склонов.

Факторами разрушения склона считаются как свойства геологической среды, так и внешние воздействия, приводящие к нестабильности склона. Примерами первых можно считать физические свойства отложений, наличие в чехле некомпетентных слоев, например газовых гидратов или контуритов, рельеф склона и темпы седиментации. Ко второму типу относятся землетрясения и активная тектоника, резкое изменение уровня моря, воздействие течений [1]. На склонах о. Сахалин были выделены сочетания факторов которые могли привести к образованию подводных оползней. С этой целью установлены основные причины разрушения склона в регионе и определено какие из них и в каких сочетаниях наблюдаются в районах развития оползней.

Исследование опирается на геофизические материалы, полученные в серии международных проектов 1998-2015 годов, включающие подробные батиметрические карты, в том числе полигоны съемки многолучевым эхолотом, данные гидролокации бокового обзора (ГБО), дополненные сейсмическими разрезами по сетям профилей [2]. При оценке факторов образования подводных оползней также использовались опубликованные материалы о строении, процессах седиментации, тектонике и сейсмичности региона и открытые каталоги замеров сейсмичности, батиметрии и теплового потока.

В регионе можно выделить несколько основных факторов образования подводных оползней: повышенные уклоны склона, высокие темпы седиментации, активная тектоника и сейсмичность и разложение газовых гидратов. Физические свойства осадков не рассматривались из-за отсутствия результатов соответствующих исследований.

Оползни на подводной периферии острова Сахалин распределены неравномерно. Две крупные оползневые области расположены на северо-восточном склоне острова и на склонах Курильской котловины. Единичный оползень обнаружен в центральной части восточного склона; на бортах Татарского трога, расположенного в одноименном проливе, развит крип [2].

На северо-восточном участке склона подводные оползни распространены очень широко. В результате систематического перемещения отложений вниз по склону он приобрел вогнутый профиль и широкое подножие. Для северо-восточного участка не наблюдаются повышенные уклоны или расчлененный рельеф, что выделяет его среди других сегментов, поэтому можно предположить, что ключевую роль в разрушении склона здесь играют другие факторы. Во-первых, это область преимущественного накопления отложений, которые переносятся с севера из района авандельты р. Амур. Во-вторых, по сейсмоакустическим разрезам вдоль склона интерпретируются отложения обводненных контуритов, которые могут формировать некомпетентные слои в толще осадков [3]. Важным фактором разрушения склона является разложение газовых гидратов. Это единственная область на склоне, где в совокупности с признаками активного высачивания газа были обнаружены массивные отложения газовых гидратов [2]. На юге оползневая область ограничена системой тектонических уступов, свидетельствующих о возможном влиянии тектоники на разрушение склона. Тектоническая активность подтверждается рассеянной сейсмичностью, на шельфе и склоне регистрируются редкие землетрясения небольших магнитуд [4].

Вдоль Курильской котловины уклоны сахалинского склона резко возрастают, в среднем до 6°. Считается, что такие уклоны могут способствовать оползневой активности, но сами по себе не вызывают ее. На склонах Курильской котловины повышение оползневой активности совпадает с резким повышением уклонов, но можно выделить по крайней мере три фактора, которые независимо влияют на разрушение склона в этой области. Это повышенная сейсмическая активность на северном склоне Курильской котловины [4], разложение газовых гидратов и высачивание газа в районе Северо-Хоккайдского плато и залива Терпения [2]. В заливе Терпения дополнительным фактором служит система подводных каньонов [5].

Единичный подводный оползень, обнаруженный в центральной части восточного склона образовался при разрушении стенки тектонической депрессии. Вероятно, в этом случае принципиальную роль сыграло критическое увеличение уклона [6].

В Татарском проливе полоса распространения крипа проходит вдоль участка склона с небольшими уклонами, около 1°-2°. Здесь регистрируется рассеянная сейсмичность, которая характерна для восточного борта Татарского трога в целом [4]. Принципиальным отличием области развития крипа является полоса «газовых факелов» - точек высачивания природного газа [2].

Показано, что наиболее часто и активно оползание происходит на тех участках, где отмечается сочетание факторов разрушения склона. Для склонов о. Сахалин наиболее опасными факторами являются разложение газовых гидратов, высачивание газа, активная тектоника и сейсмичность, а также быстрое накопление рыхлых отложений на склоне. Дополнительное влияние оказывает увеличение уклонов дна.

Работа выполнена в рамках госзадания ИО РАН (тема №0128-2021-0004)

Список литературы

1) Feeley K. Triggering Mechanisms of Submarine Landslides. Research Report: Boston, MA, Department of Civil and Environmental Engineering, Northeastern University. – 2007. – 45 p.

2) Operation Report of Sakhalin Slope Gas Hydrate Project II. R/V Akademik M. A. Lavrentyev Cruise 70, 2015. Kitami Institute of Technology: Kitami. – 2016. – 119 p.

3) Wong H.K., Ludmann T., Baranov B.V. et al. Bottom current-controlled sedimentation and mass wasting in the northwestern Sea of Okhotsk // Marine Geology. – 2003. – № 201. – P. 287-305

4) Поплавская Л.Н., Иващенко А.И., Оскорбин Л.С. Региональный каталог землетрясений острова Сахалин, 1905-2005. ИМГИГ: Южно-Сахалинск, 2006. 103 с.

5) Баранов Б.В., Прокудин В.Г., Дозорова К.А. и др. Оползни на западном склоне Курильской котловины Охотского моря: распределение, характеристика и возраст // Океанология. – 2018. – № 3(58). – С. 452-462

6) Баранов Б.В., Дозорова К.А., Рукавишникова Д.Д. Активная тектоника и образование оползневых тел на восточном склоне о. Сахалин // Вестник МГТУ. – 2016. – № 1/1(19). – С. 61-69

СВИДЕТЕЛЬСТВА ФЛЮИДОНАСЫЩЕННОСТИ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ОСАДОЧНОГО РАЗРЕЗА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ШЕЛЬФА БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Соловьева М.А.[1], **Ахманов Г.Г.**[1], **Егошина Е.Д.**[1], **Монтелли А.И.**[2]

[1]*Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва*

[2]*Scott Polar Research Institute, University of Cambridge, Cambridge CB2 1ER, UK*

marina-sol@yandex.ru

Ключевые слова: Баренцево море, сейсмоакустическое профилирование, многолучевое эхолотирование, донный пробоотбор, фокусированная флюидоразгрузка.

Активное развитие нефтяной индустрии сопровождается возрастающим интересом к арктическому шельфу, который характеризуется высокими перспективами нефтегазоносности недр. Баренцево море - один из крупнейших нефтегазоносных бассейнов России с доказанной продуктивностью, где геолого-геофизические морские исследования начались еще в 60-х годах прошлого столетия [1]. Баренцевоморский регион испытал существенное влияние покровных четвертичных оледенений, что отражается в характеристиках верхней части осадочного разреза и, особенно, придонных отложений шельфа. Здесь отмечается почти повсеместное распространение плотных субгляциальных накоплений, которые часто служат литогеохимическим барьером, препятствуя миграции УВ флюидов из глубокопогруженных горизонтов к поверхности. Это затрудняет обнаружение признаков нефтегазоносности в придонных осадках стандартными поисковыми методами и требует разработки особых подходов к проведению исследований и интерпретации материалов.

Летом 2020 года Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации была организована многопрофильная научная экспедиция TTR-19 по программе Плавучий Университет «Обучение-через-исследование» («Training-through-Research») в северо-восточную часть Баренцева моря - один из наименее изученных секторов западной российской Арктики. Основная цель экспедиции заключалась в изучении закономерностей распространения разных типов донных отложений в регионе и определении влияния литологического состава и свойств арктических донных накоплений на формирование фоновых и аномальных концентраций флюидов в приповерхностных осадках.

Для решения данных задач был применён широкий спектр как дистанционных, так и прямых методов исследований осадочного разреза. В ходе экспедиционных работ были выполнены обширные разночастотные сейсморазведочные работы, включавшие непрерывное сейсмоакустическое профилирование с электроискровым источником, съёмку придонных осадков профилографом и исследование морского дна многолучевым эхолотом. После анализа полученных данных выбирались наиболее перспективные и интересные места для донного пробоотбора ударными трубками с извлечением керна и последующими литологическими, геохимическими, микробиологическими и другими анализами отобранного осадка.

В результате выполненных исследований установлено, что донные осадки характеризуются крайне низким содержанием метана: фоновые концентрации составляют 1-5 ppm, а максимальные не превышали 85 ppm. В связи с этим, особое внимание уделялось дополнительным косвенным индикаторам возможного присутствия УВ флюидов в разрезе, таким как: амплитудные аномалии и разрывные нарушения на сейсмоакустических данных, области уменьшенной мощности ледниковых отложений, наличие характерных для зон флюидоразгрузки форм рельефа, особенности литологического состава и текстуры отобранных осадков, проявления биологической активности.

К литологическим признакам придонной флюидоразгрузки традиционно относят следы дегазации осадка в виде вздутия керна и наличия каналов дегазации. Также о повышенных концентрациях метана может свидетельствовать присутствие в разрезе большого количества организмов

Pogonophora, существование которых невозможно без подтока углеводородных газов [3]. В районе исследований экспедиции TTR-19 для донных отложений с такими признаками геохимическими исследованиями также были зафиксированы повышенные концентрации метана (около 12 ppm).

Донный пробоотбор на акваториях целесообразно предварять дистанционными геофизическими исследованиями. Результаты сейсмоакустических работ в рейсе TTR-19 позволили обнаружить и закартировать участки, где коренные породы и тектонические нарушения подходят близко к поверхности дна. На этих же участках часто наблюдались амплитудные аномалии, приуроченные, в основном, к подошве ледникового комплекса и свидетельствующие о наличии современного потока флюидов. Геохимический анализ опробованных на таких участках донных илов показал повышенные концентрации метана - до 16 ppm. Также, при съёмке рельефа дна многолучевым эхолотом были обнаружены поля воронкообразных структур («покмарки» и «кратеры гидратного взрыва») и структур типа «hill-hole pair». Их формирование может быть связано с фокусированной флюидоразгрузкой [2; 4]. Опробование некоторых из обнаруженных структур подтвердило предположения о повышенных концентрациях УВ газов в осадке.

Впервые проведено картирование областей проявления всех типов признаков флюидонасыщенности донных отложений для северо-восточной части Баренцева моря и составлена схема вероятного распространения участков современной или палео-флюидоразгрузки на морском дне. Таким образом, использование дистанционных методов для изучения морфологии дна и строения верхней части осадочного разреза с заверкой донным пробоотбором с последующими лабораторными анализами отобранного керна позволили обнаружить свидетельства современной флюидонасыщенности придонных осадков, а также прогнозировать области распространения метанонасыщенных отложений в пределах района исследований.

Экспедиция TTR-19 организована при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Список литературы

1) Холодилов В.А. Геология, нефтегазоносность и научные основы стратегии освоения ресурсов нефти и газа Баренцева и Карского морей: дис. . . . докт. геол.-мин. наук: 25.00.12 – М., 2016. – 217 с.

2) Andreassen K., Hubbard A., Winsborrow M., Patton H., Vadakkepuliyambatta S., Plaza-Faverola A., Gudlaugsson E., Serov P., Deryabin A., Mattingsdal R., Mienert J., Bünz S. Massive blow-out craters formed by hydrate-controlled methane expulsion from the Arctic seafloor, 2017, Science, 356, pp. 948-953.

3) Lösekann, T., Robador, A., Niemann, H., Knittel, K., Boetius, A., Dubilier, N. Endosymbioses between bacteria and deep-sea siboglinid tubeworms from an Arctic Cold Seep (Haakon Mosby Mud Volcano, Barents Sea), 2008, Environmental Microbiology, 10 (12), pp. 3237-3254.

4) Winsborrow M., Andreassen K., Hubbard A., Plaza-Faverola A., Gudlaugsson E., Patton H. Regulation of ice stream flow through subglacial formation of gas hydrates, 2016, Nature Geoscience 9(5), pp. 1-6.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОКУШИРСКОГО ЦУНАМИ (ХОККАЙДО) 1993 ГОДА

Цуканова Е.С.[1], **Медведев И.П.**[2], **Медведева А.Ю.**[2,3]

[1]*Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный*

[2]*Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, г. Москва*

[3]*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва*

tsukanovaelizaveta@gmail.com

Ключевые слова: Ключевые слова: цунами, высота цунами, Японское море, Приморский край, Окушири

12 июля 1993 в 13:17 по Гринвичу произошло цунами в области острова Окушири (Япония). Землетрясение магнитудой (по разным оценкам) около Mw = 7.8 вызвало гигантские волны цунами. В южной части острова были зафиксированы максимальные волны высотой 30.6 м, смывшие часть поселка Аонае. По разным подсчетам число жертв составило от 185 до 200 человек. Но пострадало не только побережье Японии, также значительный ущерб получили побережье Кореи и России. Вдоль побережья Приморского края высоты волн составили от 0.5 до 5 м [1, 2, 3]. В настоящем исследовании при помощи численного моделирования воспроизводится Окуширское цунами и изучается влияние его проявления на побережье Российской Федерации.

Моделирование осуществляется с помощью разновидности модели Tunami [4]. За основу для рельефа дна взят массив базы данных GEBCO с шагом 15 и 30 сек. Сейсмический источник взят из статьи Takahashi 1995 года [5]. Начальные возмущения строились по формулам Окада [6]. Расчеты проводились как с применением вложенных сеток для учета наката, так и без них.

В отличие от большинства предыдущих работ, в данном исследовании основное внимание уделено моделированию цунами в Приморском крае. Основная часть работ делает акцент на побережье Японии, в данной же работе подробно рассматривается российское побережье. Используются вложенные сетки, которые позволяют значительно улучшить результат. Были получены оценки высот цунами для всего российского побережья Японского моря. Проведено детальное моделирование с применением вложенных сеток для отдельных заливов и крупных городов Приморского края. Также было исследовано влияние поправок на негидростатичность модели на высоты волн цунами. В целом учет поправок на негидростатику приводит к сглаживанию начального возмущения и уменьшению волн цунами. Но в некоторых пунктах высота волн с учетом поправки возрастает, что может быть связано с географическими особенностями местности. Например, в бух. Баклан и г. Аомори.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0128-2021-0004).

Список литературы

1) Горбунова Г.В., Диденко Г.В., Дьяченко В.Д., Нагорных Т.В., Поплавский А.А., Поплавская Л.Н., Харламов А.А., Шелепов Г.П. Обследование проявлений цунами 12-13 июля 1993 года на побережье Приморского края // Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией, том VIII. 1997. С. 7-28.

2) Поплавский А.А., Поплавская Л.Н., Нагорных Т.В., Го Ч.Н., Рудик М.И. Сейсмотектонические условия возникновения очагов цунами в северное части Японского моря и Окуширское цунамигенное землетрясение 12 июля 1993 года // Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией, том VIII. 1997. С. 29-44.

3) Гусяков В.К., Иващенко А.И. Сейсмотектонические условия возникновения Окуширского землетрясения и цунами 12 июля 1993 года // Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией, том VIII. 1997. С. 45-54.

4) Imamura F. Review of tsunami simulation with a finite difference method. // Long Wave Runup Models. Eds. H. Yeh et al. NY.: World Scientific, River Edge. 1995, PP. 43-87.

5) Takahashi, T., Takahashi, T., Shuto, N., Imamura, F., & Ortiz. M.Source models for the 1993 Hokkaido Nansei-Oki earthquake tsunami. // PAGEOPH, V. 144, № $\frac{3}{4}$. 1995. PP. 747-767.

6) Okada Y. Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space // Bulletin of the seismological society of America, V. 75, №. 4 1985, PP. 1135-1154.

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ ДОННЫХ ПРИРОДНЫХ КОМПЛЕКСОВ АБРАЗИОННО-ОПОЛЗНЕВОГО БЕРЕГА ПОЛУОСТРОВА АБРАУ

Андреева А.П.

Научно-исследовательский центр "Динамика береговой зоны моря", г. Геленджик

ap.andreeva96@yandex.ru

Ключевые слова: Донный природный комплекс, пространственно-временная динамика, макрофитобентос, Черное море, полуостров Абрау.

Полуостров Абрау отличается сложным геологическим строением: происходившие в прошлом деформации привели к распространению сейсмогравитационных форм рельефа и сформировали особый облик береговой зоны. Абразионно-оползневой тип берега здесь является преобладающим, абразионный и аккумулятивный типы встречаются реже. На территории полуострова выделено несколько крупных сейсмооползневых структур: оползень Большого Утриша, Лагунный оползень и оползень Малого Утриша [1]. В данной работе рассмотрен участок берега в районе распространения Лагунного оползня.

Теоретические представления о динамике природных территориальных комплексов, смене состояний и изменении их структуры изложены в работе И.И. Мамай (1992). Так, состояние комплекса определяется как более или менее длительные отрезки его существования, которые характеризуются определенными свойствами структуры данного комплекса. При смене комплекса происходит изменение одного или нескольких компонентов, что приводит к его необратимому преобразованию [2].

Целью исследования является выявление особенностей пространственно-временной динамики донных природных комплексов (ДПК) абразионно-оползневого берега п-ова Абрау. Основным методом исследования выбран метод полевого ландшафтного профилирования.

В работе рассмотрена приурезовая, наиболее динамичная часть подводного берегового склона. Выявление особенностей ее динамики основывалось на анализе структуры ландшафтных профилей, построенных на основе данных полевых работ, которые проводились осенью 2018 г. и летом 2019 г. Исследование велось на территории ФГБУ «Государственный природный заповедник «Утриш». Предыдущие исследования динамики донных комплексов полуострова Абрау проводились более десяти лет назад под руководством В.Г. Папунова и Д.В. Папунова [3].

На ландшафтных профилях длиной 18 м выделены донные природные комплексы на уровне фаций и урочищ. Элементарный ДПК с единой литологической разностью донных отложений одного класса окатанности, формирующийся на одной микроформе рельефа с одним альгоценозом на схожей глубине, является фацией. Несколько фаций объединяются в урочище, занимающее одну форму рельефа с сочетанием альгоценозов на единообразном субстрате [4,5].

Для сравнения были выбраны пять профилей, в структуре которых выделяется от 6-ти до 9-ти фаций и в большинстве случаев от 2-х до 4-х урочищ. За рассматриваемый интервал времени ландшафтная структура изменилась на трех профилях, которые расположены в зоне повышенной волновой активности [1]. На двух профилях произошло упрощение структуры к летнему сезону следующего года на 1-2 комплекса, что, вероятно, является следствием воздействия осенне-зимних штормов. Для данных профилей такая ситуация отмечена как на фациальном, так и на урочищном уровнях. Обратные изменения произошли на одном из трех профилей, где структура стала сложнее на 3 урочища к летнему сезону, что связано с более частой сменой донных отложений вдоль подводного берегового склона: комплексы меньшего размера чаще сменяют друг друга. К

наиболее устойчивым можно отнести донные комплексы, расположенные в местах сниженного воздействия волновой энергии.

Также на каждом из исследуемых профилей заметно изменение видового состава и особенностей распространения доминирующих ассоциаций макроводорослей: *Cystoseira spp., Ulva spp.*, *Padina pavonica* и *Dictyota fasciola*. Видовой состав меняется в связи с экологическими особенностями самих водорослей, например, зеленая водоросль *Ulva spp.* отсутствует на профилях осеннего сезона. Альгоценоз *Padina pavonica* и *Dictyota fasciola* может развиваться на динамичном субстрате, поэтому встречается как летом, так и осенью, но произрастает более разреженно [6]. Проективное покрытие и начальная граница распространения *Cystoseira spp.* по сравнению с вышеперечисленными макроводорослями меняется слабо, что характерно как для динамичных, так и для более устойчивых комплексов. Стоит отметить, что значения общего проективного покрытия макроводорослей выше в летний сезон.

Таким образом, ландшафтная структура ДПК абразионно-оползневого берега изменилась слабо как на урочищном, так и на фациальном уровнях: в осенний период структура профилей сложнее на 1-2 комплекса, чем в летний. Это, вероятно, связано с особенностями рельефа подводного берегового склона, который способствует рассеиванию энергии волн при подходе к берегу. Сезонная динамика на данном участке подводного берегового склона абразионно-оползневого берега проявляется через полную смену комплексов: их число остается неизменным, но меняется компонентный состав и размер каждого комплекса.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант №19-05-00716 и ФГБУ «Государственный заповедник «Утриш».

Список литературы

1) Попков В.И., Крицкая О.Ю., Остапенко А.А., Дементьева И.Е., Быхалова О.Н. Результаты исследований сейсмогравитационных форм рельефа полуострова Абрау // Наземные и прилегающие морские экосистемы полуострова Абрау: структура, биоразнообразие и охрана. 2017. Т.4. С. 7-24.

2) Мамай И.И. Динамика ландшафтов. Методика изучения. М.: Изд-во Московского университета, 1992. 168 с.

3) Папунов Д.В. Структура и динамика донных природных комплексов береговой зоны Черного и Белого морей: автореф. дис. канд. геогр. наук. М.: МГУ, 2009. 25 с.

4) Митина Н.Н. Принципы классификации подводных ландшафтов морских мелководий // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири. 2018. С. 447-452.

5) Петров К.М. Подводные ландшафты: теория, методы исследования. Л.: Наука, 1989. 124 с.

6) Макалова П.Г., Петрушина М.Н., Папунов В.Г. Ландшафтная структура береговой зоны полуострова Абрау // Ландшафтоведение: теория, методы, ландшафтно-экологическое обеспечение природопользования и устойчивого развития. 2017. Т.1. С. 211-216.

РАЗВИТИЕ ГРАЖДАНСКОЙ НАУКИ В ПОЛЯРНЫХ РЕГИОНАХ С ПОМОЩЬЮ ИНДУСТРИИ ТУРИЗМА КАК ИНСТРУМЕНТА ИССЛЕДОВАНИЯ САМЫХ ТРУДНОДОСТУПНЫХ УГОЛКОВ ПЛАНЕТЫ

Астафурова А.В.[1,2]

[1] *Aurora Expeditions, г. Сидней (Австралия)*

[2] *Heritage Expeditions, г. Крайстчерч (Новая Зеландия)*

pihokiak@gmail.com

Ключевые слова: полярный туризм, Арктика, Антарктида, Happywhale.

Полярные регионы обладают сложными климатическими системами и являются самыми уязвимыми к изменениям климата местами на планете. Однако такие факторы как: географическая удаленность, логистическая труднодоступность и высокая финансовая затратность ограничивают осуществление научных исследований в Арктике и Антарктиде. В связи с чем имеется недостаток знаний и данных об атмосфере, океанах, морском льде и экосистемах полярных регионов. Возрастает необходимость восполнения существующих пробелов путем поиска дополнительных методик проведения научной деятельности

В последние годы происходит активное развитие проектов гражданской науки различной направленности, позволяющих ученым работать в тандеме с энтузиастами без научного образования и совместно собирать данные для исследовательского проекта. Расширяется также география реализации такого сотрудничества, и полярные регионы не становятся исключением, благодаря поддержки научной деятельности индустрией туризма.

Рассмотрим ситуацию на примере Антарктиды. С ноября по март ледяной континент, являющийся единственным местом на планете, где нет постоянных жителей, становится многолюдным из-за прибывающего потока туристов на круизных суднах. Если принять к сведению, что в летний период на научных станциях живут около 5 000 ученых, а в предыдущий туристический сезон (2019-2020 гг.) Антарктический полуостров посетили 74 401 пассажиров, что составляет примерное соотношение туристов к ученым как 14:1, то круизная индустрия полярного туризма может выступать в качестве перспективной платформы для проведения научных исследований [1]. Так, очень часто исследователи, занимающиеся определенной темой, физически не способны собрать большой объем материала или собрать одинаковый объем материала на одном уровне и на разных локациях. В свою очередь, туристы и полярные гиды могут оказываться в тех местах, куда ученым порой не добраться, а полярные пассажирские суда не только посещают множество различных территорий, но и делают это с определенной регулярностью каждый сезон и каждый год, что позволяет осуществлять сбор данных и отслеживать динамику в более широком диапазоне.

На сегодняшний день круизные компании уже принимают активное участие в реализации следующих научных проектов полярной направленности в формате гражданской науки: Happywhale, FjordPhyto, NASA's GLOBE Observer, Seabird surveys, PolarTag. Особое внимание автор уделяет проекту Happywhale, программе по формированию фотоидентификационной базы данных морских млекопитающих, позволяющей каждому обладателю фотокамеры загружать фото отличительных меток животных во время или после морского путешествия с указанием координат местности и даты снимков. Фотографии проходят автоматическую обработку, по результатам которой в базу вносятся как новые, неопознанные ранее особи, так и мгновенно идентифицируются уже внесенные ранее в базу индивидуумы. Таким образом, в случае исследования китообразных, благодаря гражданским ученым формируется картографирование миграционных паттернов китов и дельфинов, оценивается их численность в том или ином ареале обитания, а также каждой особи присваивается индивидуальное «имя» (ID), позволяющее в дальнейшем формировать ID-каталоги и отслеживать жизненный путь животного.

Работая на позиции полярного гида и куратора проекта Happywhale, автором проводились образовательные лекции о биологии китообразных и обучающие тренинги по распознаванию видов мормлеков и характерных частей их тела, которые необходимо фиксировать на снимке. Реализация проекта с привлечением пассажиров судов в сборе фотоданных осуществлялась от имени двух полярных туроператоров в течение трех сезонов на следующих локациях: на Антарктическом полуострове и острове Южная Георгия в Южном полушарии (сезон Ноябрь 2017 - Март 2018), на Чукотке, в частности, на острове Врангеля - в Северном (сезон Июнь - Август 2018, Июль - Август 2019).

По итоговым подсчетам, около 1600 туристов приняли участие в проекте Happywhale во время круизов. Так, например, удалось получить следующие данные во время вояжей по Антарктическому полуострову: 69 ранее не опознанных особей различных видов китообразных было внесено в базу, 19 особей горбатых китов были идентифицированы в базе Happywhale, и был прослежен миграционный путь животных. В результате совместных усилий нескольких десятков полярных гидов и тысяч туристов, за пятилетнее существование проекта на Антарктическом полуострове удалось зафиксировать 7715 встреч с китообразными, которые поспособствовали созданию идентификационного каталога, составившего отдельную категорию из горбатых китов численностью 3792 и включающего 33 других вида морских млекопитающих [2]. Без гражданских ученых на сбор таких информационных показателей в полярном регионе у морских биологов, предположительно, ушли бы десятилетия. После предоставленных общих численных и локационных данных о китах из базы Happywhale Международной Ассоциации Антарктических туроператоров (IAATO), деятельность которой направлена на регулирование туристической деятельности, в январе 2020 года данной организацией было единогласно принято решение ограничить скорость всех скорость проходящих судов до 10 узлов в районе Антарктического полуострова, который является наиболее населенным китами местом во избежание столкновения морских млекопитающих с водным транспортом [1]. Подобные меры по сохранению благополучия и обеспечению безопасности китообразных, занимающих важнейшую нишу в морской экосистеме, было бы невозможно осуществить без активного участия в проекте полярных туроператоров, ровно как и существование самого проекта Happywhale было бы невозможно без добровольной помощи туристов и гидов.

Таким образом, развитие гражданской науки в полярных регионах посредством привлечения индустрии полярного туризма приносит пользу всем ее участникам: ученые получают необходимые данные об объектах своего исследования для возможности отслеживания текущих процессов и моделирования будущих, туристы, внося свой вклад в науку, приобретают более глубинную степень осознанности о необходимости сохранения полярных регионов, а у полярных гидов появляется дополнительный образовательный инструмент широкого спектра, позволяющий воочию демонстрировать глобальную значимость Арктики и Антарктиды.

Список литературы

1) The International Association of Antarctica Tour Operators [Электронный ресурс]. URL: https://iaato.org/information-resources/datastatistics/ (дата обращения: 20.01.2021)
2) Happywhale Citizen Science Program [Электронный ресурс].URL: https://happywhale.com/ (дата обращения: 01.01.2021)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ И ЭКОСИСТЕМНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПЕРЕНОС МИКРОПЛАСТИКА НА ПРИМЕРЕ ОСЛОФЬОРДА

Березина А.В.[1,2], **Якушев Е.В.**[2,3], **Иванов Б.В.**[1,4]

[1] *Санкт-Петербургский Государственный Университет, г. Санкт-Петербург*

[2] *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

[3] *Норвежский институт водных исследований, г. Осло*

[4] *Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург*

fisa4247@gmail.com

Ключевые слова: микропластик, биогеохимические процессы, экосистемы, Арктические моря

Загрязнение микропластиком морской среды - одна из наиболее актуальных глобальных проблем в последние годы. Микропластиком (МП) называют фрагменты пластика размером менее 5 мм, которые могут попадать в океан с терригенным стоком, либо в результате распада крупных пластиковых объектов в морской воде [1]. В морской среде встречаются различные по составу и морфологии типы микропластика. В данной работе рассматривается один из наиболее многочисленных видов - волокна искусственных полимеров, поступающих со сточными водами очистных сооружений.

В данной работе проверяется гипотеза, что сезонность в продукции-деструкции органического вещества и соответствующие изменения в морской экосистеме может влиять на вертикальный транспорт МП в водной толще (посредством изменения плотности за счет биообрастания и при поглощении и экскреции частиц МП зоопланктоном).

С этой целью используется биогеохимическая модель OxyDep [2], которая воспроизводит сезонную изменчивость концентрации фитопланктона, зоопланктона, растворенного и взвешенного органического вещества в морской воде. В разрабатываемом отдельном модуле BIOPLAST рассматривается МП в четырех состояниях: свободно плавающий, подвергшийся биообрастанию, поглощенный зоопланктоном и частицы в детрите. Изменения концентраций МП в разных состояниях моделируются пропорционально изменениям соответствующих биогеохимических переменных.

В качестве транспортной модели для изучения горизонтального и вертикального переноса, а также седиментации МП используется 2DBP (2D benthic-pelagic vertical transport model), основной особенностью которой является общая расчетная область и для воды, и для осадков со значительным сгущением расчетной сетки в зоне границы раздела вода-дно. OxyDep был связан с 2BBP посредством FABM (Framework for Aquatic Biogeochemical Modelling) [3].

Расчет проводился для тестовой акватории (Ослофьорд), для которой имеется достаточное количество данных по концентрации МП для валидации модели. Точка сброса частиц МП устанавливалась на глубине 10 м, что соответствует реальной глубине расположения труб очистных сооружений для сброса сточных вод в Ослофьорде. Свободно плавающий МП в модели соответствует волокнам 300-5000 мкм с нейтральной плавучестью и соотношением массы к количеству равным 7.8×10^{-7} мг/шт. В соответствии с измерениями, годовое поступление частиц было задано 170×10^6 шт/год (40 г/год).

Результаты показывают, что под влиянием биогеохимических и экосистемных процессов снижается концентрация МП в поверхностном слое и усиливается седиментация МП в летний период. Концентрация свободно плавающего МП максимальна на глубинах 8-12 м, т.е. в зоне сброса частиц и в марте (до начала цветения фитопланктона) достигает 7 мкг/м^3, а с началом цветения в апреле снижается до 2 мкг/м^3, т.к. большая часть МП подвергается биообрастанию. В это время распределение частиц МП становится более равномерным по глубине из-за изменения плотности за счет обрастания водорослями, концентрация таких частиц варьируется от 0.02 до 0.06 мкг/м^3 в водной

толще и от 0.01 до 0.02 мкг/м^3 в придонном слое. Затем в мае-июне наблюдается пик поглощения МП зоопланктоном, которое наиболее активно происходит в зоне сброса частиц на глубине 10 м, концентрация этого вида МП увеличивается до 0.75 мкг/м^3, после чего МП переходит в детрит и опускается на дно, где его содержание достигает 0.24 мкг/м^3.

Планируется, что разработанная модель будет использована с FABM-совместимыми 3D гидродинамическими моделями (ROMS и FVCOM) для изучения распространения МП в Арктических морях.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-35-90056

Список литературы

1) GESAMP, “Guidelines for the monitoring and assessment of plastic litter in the ocean (Kershaw P.J., Turra A. and Galgani F. editors), (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP/ISA Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Prote,” Rep. Stud. GESAMP, vol. no 99, p. 130p, 2019

2) E. V. Yakushev and K. Sørensen, “On seasonal changes of the carbonate system in the Barents Sea: Observations and modeling,” Mar. Biol. Res., vol. 9, no. 9, pp. 822–830, 2013, doi: 10.1080/17451000.2013.775454.

3) J. Bruggeman and K. Bolding, “A general framework for aquatic biogeochemical models,” Environ. Model. Softw., vol. 61, pp. 249–265, Nov. 2014, doi: 10.1016/j.envsoft.2014.04.002

ГЕОХИМИЧЕСКОЕ ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ОСАДКОВ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

Будько Д.Ф., Демина Л.Л.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

Dmitry.B-1990@yandex.ru

Ключевые слова: тяжелые металлы, формы нахождения, донные осадки, экологические риски, Арктика

Многие эссенциальные тяжелые металлы (Fe, Cu, Mo, Mn, Zn, Co и др.) входят в состав металлоэнзимов, коферментов, гормонов и осуществляют метаболические процессы в живых организмах, обеспечивая нормальную функциональность их жизнедеятельности. Неэссенциальные металлы (Hg, Cd, Pb) и металлоиды (As, Sb) относятся к разряду потенциально токсичных элементов для живых организмов [1]. Одним из наиболее показательных объектов при мониторинге содержания химических элементов в окружающей среде являются донные отложения, в которых аккумулируется осадочный материал, поступающий из различных естественных и антропогенных источников. Нахождение тяжелых металлов в донных отложениях представлено различными физико-химическими формами, которые определяют их геохимическую мобильность, биологическую доступность и потенциальную токсичность.

Арктические экосистемы особенно чувствительны к воздействию климатических колебаний под влиянием природных и антропогенных факторов [2]. Поэтому в условиях развивающейся хозяйственной деятельности (грузоперевозки, добыча нефти и газа на шельфе, рыбный промысел) особенно важен контроль за содержанием тяжелых металлов в арктических экосистемах. Таким образом, перед исследованием ставились следующие задачи: (1) определить степень геохимической мобильности большого количества элементов в осадках арктических морей; (2) оценить уровень загрязненности тяжелыми металлами донных отложений морей российской Арктики.

В работе изучалось содержание 47 химических элементов в 20 пробах поверхностного слоя донных отложений, отобранных в Баренцевом, Карском, Лаптевых и Восточно-Сибирском морях в 2016 и 2019 годах. Выделялось суммарное содержание подвижных форм элементов методом экстракции осадка в 6 М растворе HCl [3]. Остаточная фракция, включающая элементы, заключенные в кристаллической структуре минералов, извлекалась путем полного кислотного разложения (смесь HNO_3+HF) осадка, оставшегося после первой вытяжки. С первой фракцией извлекались наиболее биодоступные формы нахождения (водорастворимые ионы, сорбционный комплекс, органометаллические соединения), а также другие мобильные фракции элементов, играющие важную роль в биогеохимических циклах в морской среде (аморфные окси-гидроксиды Fe и Mn, карбонаты). Соответственно, элементы с наибольшей долей геохимически подвижных фракций можно считать потенциально биодоступными для морской биоты. Определение Fe в полученных вытяжках производилось методом атомно-абсорбционной спектрометрии («КВАНТ-2А», Россия), остальных химических элементов методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой («Agilent 7500a», США). Контроль правильности анализов проводился с помощью международных стандартных образцов донных осадков NIST 2703 и GSD-6.

В исследовании выявлена существенная дифференциация элементов по их геохимической подвижности в донных отложениях исследуемых морей. Установлено, что наиболее подвижными элементами являются Mn, Mo, Bi, Co, Ni, Fe, Cu и Pb (60-76% средняя доля суммы подвижных форм). За исключением Pb, это биофильные элементы, играющие важную роль в биохимических процессах в живых организмах. Однако контроль за содержанием этих элементов в окружающей среде также важен, учитывая их способность к активной миграции и накоплению, поскольку повышенные концентрации этих металлов могут оказывать токсикологическое воздействие на биоту

[1]. В свою очередь, нахождение Pb в донных отложениях, как правило, связано с окси-гидроксидами Mn, а на долю потенциально биодоступной адсорбированной формы приходится менее 5-10% от валового содержания [4].

Вызывает опасение высокая геохимическая подвижность таких токсичных элементов, как As, Cd и Sn, которые, наряду с Zn, Li и преимущественно легкой подгруппой редкоземельных элементов (Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd и Tb), демонстрируют практически ровное содержание между лабильной и инертной фазами осадка. К группе элементов с явным преобладанием остаточной литогенной формы (более 60% от валового содержания) относятся Be, Al, Ti, V, Cr, Ga, Ge, Rb, Sr, Y, Ag, Sc, Ba, W, Th, U и La, а также тяжелая подгруппа редкоземельных элементов (La, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu). В этой группе практически нет биологически значимых элементов, и наоборот, присутствуют высокотоксичные Be и V. В качестве самых литофильных элементов в осадках арктических морей обнаруживаются Zr, Nb, Hf, Ta. Практически полностью (более 99% от валового содержания) нахождение этих элементов связано с минеральной фракцией осадка.

Оценка загрязнения химическими элементами осадков арктических морей выполнена на основе расчетов коэффициента обогащения (КО) и геоаккумуляционного индекса (I_{geo}) [5]. Выявлено обогащение в разной степени всех исследуемых осадков мышьяком (КО от 1.7 до 24.2). Однако, согласно индексу I_{geo} только 8 проб, которые были отобраны в Баренцевом и Карском морях, имеют умеренное и умеренно-высокое загрязнение As и одна проба в Печорском море (вблизи пролива Карские ворота) характеризуется сильным загрязнением As (I_{geo} 3.8). Также на станции в Печорском море наблюдается повышенное содержание Li, Zn и некоторых элементов с преобладанием литогенной формы нахождения (V, Ge, Sr, Ag, U). Еще одним наблюдением на этой станции является сильное увеличение суммы подвижных фракций большинства исследуемых элементов, что потенциально может являться следствием антропогенной нагрузки на этом мелководном участке Баренцева моря.

Незначительное (КО$<$3) и умеренное (КО 3-5) обогащение исследуемых осадков выявлено для Cd. С другой стороны, расчет индекса I_{geo} для Cd во всех пробах составил менее 1, что говорит об отсутствии загрязнения осадков этим элементом. Среди других потенциально биодоступных элементов (преобладание суммы подвижных форм от валового содержания) выделяются умеренно загрязненные ($1< I_{\text{geo}} \leqslant 2$) осадки Zn, которые были отобраны в Восточно-Сибирском море и заливах Новой Земли. Умеренное и умеренно-сильное ($2< I_{\text{geo}} \leqslant 3$) загрязнение V, Ge, Sr, Ag, Th, U также обнаружено в проливе Витлицкого, Обской губе, заливах Новой Земли. Это элементы с преобладанием остаточной формы и их повышенный фон в проливах и заливах может быть связан с близостью к источникам терригенного сноса. Остальные исследуемые элементы соответствуют фоновому содержанию.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (РНФ), проект № 19-17-00234.

Список литературы

1) Моисеенко Т.И. Биодоступность и экотоксичность металлов в водных системах: критические уровни загрязнения // Геохимия. Т. 64(7). 2019. С. 675-688

2) Флинт М.В., Зацепин А.Г., Кучерук Н.В., Поярков С.Г., Римский-Корсаков Н.А. Комплексные исследования системы Карского моря (54-й рейс НИС “Академик Мстислав Келдыш”) // Океанология. Т. 48(6). 2008. С. 947-951

3) Greene E.S. Comparing Meteoric 10Be, in situ 10Be, and native 9Be across a diverse set of watersheds // Graduate College Dissertations and Theses. - University of Vermont, Burlington, VT, 2016. 118 pp

4) Демина Л.Л., М.А. Левитан, Н.В. Политова. О формах нахождения некоторых тяжелых металлов в донных осадках эстуарных зон рек Оби и Енисея (Карское море) // Геохимия №

2. 2006. С. 212-226

5) Tytła M., Kostecki M. Ecological risk assessment of metals and metalloid in bottom sediments of water reservoir located in the key anthropogenic “hot spot” area (Poland) // Environmental Earth Sciences 78. 2019. P. 179–195

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МОРСКИХ ЭКОСИСТЕМ С УЧЕТОМ КОЛЕБАНИЙ КЛИМАТА И ОКЕАНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА

Дроздов В.В., Матюшков С.С.

Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург

matyushkov21@gmail.com

Ключевые слова: Экосистемы внутренних морей Европы, экологическая безопасность, колебания климата, промышленное рыболовство.

В последние десятилетия одним из приоритетов в научных исследованиях становиться изучение колебаний климата на планете и их экосистемных последствий. В результате международным сообществом был сформулирован ряд базовых принципов, внедрение которых в практику природопользования должно способствовать решению глобальных проблем современности, среди них: защита океана и морей от чрезмерного вылова рыбы для сохранения важнейших промысловых популяций; защита от деградации морских экосистем при учете отрицательного воздействия на них колебаний климата; улучшение способов сохранения и управления водными ресурсами в целях содействия устойчивому развитию и др. [1].

Оценка степени и характера влияния климатических изменений на абиотические и биотические компоненты морских экосистем, в том числе на продуктивность популяций экономически ценных промысловых видов рыб, является одной из важных научных и практических народнохозяйственных проблем.

Экологическая безопасность - состояние защищенности природной среды (прибрежных, шельфовых и др. экосистем) и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, их последствий (согласно Федеральному законом об «Охране окружающей среды» от 23.07.2013 N 226-ФЗ).

Внутренние моря Европы - Балтийское, Белое, Черное и Азовское обладая высокой биологической продуктивностью и значительными рыбными запасами, одновременно являются весьма уязвимыми к воздействию климатических изменений и антропогенной деятельности [2,3]. Периоды высокого обилия промысловых рыб часто сменяются упадком их численности, вплоть до сокращения доступных запасов в несколько раз и введения запрета на промысел в целях сохранения важнейших популяций [5, 6].

На основе комплексного анализа многолетних натурных данных, установлены новые причинно-следственные связи и закономерности взаимодействия между крупномасштабным климатообразующими процессами, способными оказывать влияние на состояние абиотических и биотических компонентов экосистем внутренних морей Европы.

Обобщение полученных результатов кластерного, корреляционного, спектрального и регрессионного анализа климатических, океанологических, гидрологических и биопродукционных данных применительно к различным акваториям внутренних морей и районам их речных бассейнов, позволило сформировать модели связей между природными процессами. Обоснованы главные природные процессы и механизмы, определяющие степень устойчивости экосистем Балтийского, Белого, Черного и Азовского морей к климатическим изменениям.

Предложены научно-обоснованные методы и методология комплексной оценки и прогноза состояния экосистем внутренних морей Европы на основе обобщения результатов анализа климатических, океанологических, гидрологических и промыслово-гидробиологических процессов с учетом реализации современной морской хозяйственной деятельности. Обоснована система функциональных морских диагностических районов, био- и геоиндикаторов в регионах Балтийского,

Белого, Черного и Азовского морей, позволяющая более эффективно диагностировать экологическое состояние экосистем.

Для предотвращения развития ряда неблагоприятных для морских экосистем процессов естественной и антропогенной природы необходимо обеспечить:

- формирование и реализацию ряда целевых государственных и международных программ направленных на исследование и прогнозирование процессов взаимодействия атмосферы и гидросферы и морской компоненты биосферы, оценки степени и характера влияния человека на гидрологический цикл и климат;

- активизацию работы межправительственных экспертных групп в рамках Хельсинской конвенции 1974 г. и Бухарестской конвенции 1992 г. по сохранению природы соответственно Балтийского и Черного морей;

- контроль за исполнением требований Международных конвенций и директив по линии Международной морской организации (IMO) и Международного совета по исследованию моря (ICES) направленных на обеспечение экологической безопасности морских экосистем;

- дальнейшее развитие и внедрение технологий обеспечения экологической безопасности при использовании ресурсов гидросферы различными отраслями, включая морской транспорт, топливно-энергетический комплекс, промышленное рыболовство;

- развитие многоуровневого экологического образования по направлениям «Прикладная гидрометеорология», «Экология и природопользование» с построением учебных планов на основе практических требований профильных работодателей и обеспечением учебного процесса необходимой материально-технической лабораторной базой.

Работа выполнена в Российском государственном гидрометеорологическом университете в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FSZU 2020-0009.

Список литературы

1) ООН. 2012. Будущее, которого мы хотим. Итоговый документ Конференции Организации Объединенных Наций по устойчивому развитию. Рио-де-Жанейро, Бразилия, 20-22 июня 2012 года [Электронный ресурс]. URL: https://rio20.un.org/sites/rio20.un.org/files/a-conf.216-l-1_russian.pdf.pdf

2) Дроздов В.В., Смирнов Н.П., Косенко А.В. Учение о гидросфере: курс лекций. РГГМУ. – Санкт-Петербург, Изд. РГГМУ, 2015. – 422 с.

3) Дроздов В.В. Влияние колебаний климата на динамику экосистем Балтийского и Белого морей. Монография. – СПб.: Изд. РГГМУ. – 2015. – 235 с. ISBN 978-5-86813-424-1

4) Дроздов В.В. Колебания климата и динамика экосистем Черного и Азовского морей. Санкт-Петербург, Изд. РГГМУ. – 2019. – 230 с. ISBN 978-5-86813-478-4.

5) ФАО. 2016. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры 2016. Вклад в обеспечение всеобщей продовольственной безопасности и питания. Рим. 216 стр. [Электронный ресурс] URL: http://www.fao.org/3/a-i5555r.pdf

6) FAO. 2016. Climate change and food security: risks and responses. Rome. 110 pp. [Electronic resource] URL: www.fao.org/3/a-i5028e.pdf

ПОСЛЕДСТВИЯ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЮЖНЫЕ И ЗАПАДНЫЕ БЕРЕГА ЧЕРНОГО МОРЯ

Ефремова Т.В., Долотов В.В.

ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН», г. Севастополь

efremova@mhi-ras.ru

Ключевые слова: южное и западное побережье Черного моря, техногенное воздействие, берегозащитные сооружения, динамика наносов, законодательство.

Воздействие человека на береговую зону изменяет естественную динамику донных наносов, что приводит к усилению абразии и размыву пляжей, активизации обвально-оползневых процессов, создает угрозу разрушения объектов прибрежной инфраструктуры. Цель работы - дать обзор научной литературы, посвященной техногенному (антропогенному) воздействию на береговую зону южного и западного побережья Черного моря. Оно включает в себя территорию трех причерноморских зарубежных государств (Румынии, Болгарии, Турции), протягиваясь на 2375 километров. Ранее вопросам антропогенного воздействия на берега причерноморских стран дальнего зарубежья в отечественной литературе не уделялось должного внимания, хотя опыт этот поучительный и во многом повторяет опыт причерноморских государств - республик бывшего СССР. Исследование заключалось в поиске и критическом анализе научной литературы, картографических материалов и законодательства, кроме этого использовались космические снимки. Ниже следуют сделанные выводы по каждой из упомянутых стран.

В северной части побережья Румынии в результате гидротехнических работ в нижнем течении и дельте Дуная (строительство каналов, плотин для гидроэнергетических целей, сооружение различных насыпей, спрямлений русла и т.п.) твердый сток р. Дунай сократился в два раза. Строительство двух параллельных молов в виде каменных набросок с целью защиты судоходства по Сулинскому каналу прервало вдольбереговой поток наносов. В результате была нарушена естественная динамика наносов, что привело к аккумуляции наносов в одних районах, а в других к низовому размыву. Дноуглубительные работы с отсыпкой наносов в глубоководную зону усугубляют создавшийся дефицит наносов. В южной части побережья Румынии основное антропогенное воздействие выражается в строительстве причалов, шлюзов, дамб, бун и т.п. гидротехнических сооружений [1]. Они или изменили естественную циркуляцию прибрежных наносов, либо их заблокировали, что вызвало, размыв примерно 70% пляжей. Кроме этого, на побережье Румынии отмечается незаконная добыча песка с пляжей и уничтожение прибрежных дюн. В отличие от многих причерноморских государств в Румынии был принят «Генеральный план защиты и восстановления румынского побережья Черного моря», который выполняется при финансировании структур ЕС [2].

На побережье Болгарии проведение берегозащитных мероприятий, с целью остановить деградацию берегов и оползневые процессы без должной проработки проектов дало негативные результаты. Часть побережья представляет собой сочетание сплошных берегоукрепительных сооружений различного типа. В итоге это привело к уменьшению или блокированию вдольберегового потока наносов. Следствием этого стало: исчезновение существовавших песчаных пляжей, безвозвратная потеря материала с пляжей и мелководья, блокирование поступления материала с клифов, уничтожение прибрежных ландшафтов и экосистем. Кроме этого, снизились эстетическая привлекательность берегов и доступ к морю [3]. Наибольшее техногенное воздействие характерно для крупных прибрежных городов. Кроме традиционного строительства поперечных гидротехнических сооружений, ограничивающих поток наносов, в Болгарии в последние десятилетия практиковалось строительство капитальных сооружений непосредственно на пляжах. Зарегулирование р. Камчия - основной черноморской реки страны, уменьшило сток твердых наносов в четыре раза, что отрицательно повлияло на пляжи, прилежащие к устью [4]. Общая для побережья

Болгарии проблема - уничтожение прибрежных дюн, которые в недавнем прошлом были широко распространены. В Болгарии действует «Закон о развитии побережья Черного моря» который определяет правила управления береговой зоной, но в ограниченном объеме.
Антропогенное воздействие на береговую зону на побережье Турции выражается в строительстве гидротехнических сооружений, уменьшение твердого стока рек из-за их зарегулирования, непродуманном строительстве в береговой зоне. Наибольшая антропогенная нагрузка характерна для восточного побережья. Построенная здесь вдольбереговая магистраль, защищена отсыпкой из скальных пород и другими сооружениями. Возведение этих конструкций, вызвали деградацию пляжей, нарушили эстетическое восприятие ландшафтов, сделали море недоступным для населения. Незаконное и непродуманное строительство непосредственно на берегах породило локальные очаги деградации берегов. Кроме этого, для защиты берега была построена система бун, разработанная без учета их влияния на соседние участки побережья. Она нарушила прибрежную динамику наносов, вызвала с одной стороны аккумуляцию наносов, с другой низовой размыв. Отмечается также негативная роль незаконной добычи песка и гравия с пляжей и в руслах рек [5]. По мнению турецких ученых, инженерные решения для защиты прибрежных зон значительно изменили морфологию побережья во многих районах, концепция защиты берегов нуждается в пересмотре. Специфической для Турции является проблема отсыпки пустой породы от добычи угля непосредственно в море, в районе г. Зонгулдак [6]. В Турции действует Закон о берегах 1990 г., с поправками 1992 г. Однако, он противоречит некоторым другим законодательным актам.
Сделанный нами обзор показывает, что при всех отличиях в природных условиях береговых зон указанных стран, виды техногенного (антропогенного) воздействия и их последствия практически идентичные.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0555-2021-0005.

Список литературы

1) Giosan L., Bokuniewicz H., Panin N., Postolache I. Longshore sediment transport pattern along Romanian Danube Delta Coast // GEO-ECO-MARINA 2, Bucharest, Romania. 1997. P. 11–24.
2) Dan S., Walstra D.J., Stive M. J. F., Panin N. Processes controlling the devel-opment of a river mouth spit // Marine Geology 280. 2011. P. 116-129.
3) Stancheva M., Peychev V.,Palazov A. ,Marinski J., Stanchev H. Coastal Degradation Induced by Anthropogenic Impacts along the North Bulgarian Black Sea Shore. See discussions, stats, and author profiles for this publication at: https://www.researchgate.net/publication/238798442
4) Peychev P., Stancheva M. Changes of sediment balance at the Bulgarian Black Sea coastal zone influenced by anthropogenic impacts // Tome 62(2). 2009. P. 277-284. https://www.researchgate.net/publication/291489454
5) Görmüş K.S., Kutoğlu Ş.H., Şeker D.Z., Özölçer I.H., Oruç M., Aksoy B. Temporal analysis of coastal erosion in Turkey: a case study Karasu coastal region // Journal of Coastal Conservation 18. 2014. P. 399–414. DOI: 10.1007/s11852-014-0325-0
6) Turer D., Nefeslioglu H.A., Zorlu K., Gokceoglu C. Assessment of geo-environmental problems of the Zonguldak province (NW Turkey) // Environmental Geology 55. 2008. P. 1001–1014.

ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРОМЕТРА БЛИЖНЕГО ИНФРАКРАСНОГО ДИАПОЗОНА MicroNIR ДЛЯ КАЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА МОРСКОГО ПЛАСТИКОВОГО МУСОРА

Жданов И.А.[1]; **Пахомова С.В.**[1,2]; **ван Бавель Б.**[2]

[1]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия*

[2]*Норвежский институт водных исследований, Осло, Норвегия*

zhdanovaeroplast@gmail.com

Ключевые слова: Качественный анализ пластика, пластиковое загрязнение, морской пластиковый мусор, микропластик, ближняя ИК-спекроскопия, MicroNIR

Загрязнение мирового океана синтетическим биоразлагаемым мусором на данный момент широко распространено. Подавляющее большинство подобного мусора представляет собой пластик, что связано с ростом производства и увеличением зависимости жизни людей от пластиковых изделий [1]. Мировые темпы производства в 2013 году оценивались в 299 миллионов тонн [2], а в 2019 они увеличились до 368 миллионов тонн [3]. По недавним прогнозам, только 23% пластика, произведенного в 2020 году, будет переработано вторично [4]. В совокупности эти цифры указывают на потенциальный риск усугубления пластикового загрязнения. Пластик в окружающей среде можно разделить по размерам на макро- (более 25мм), мезо- (25-5мм) и микропластик (<5мм). Исследования мезо- и макропластика часто ограничиваются визуальной оценкой. Например, в недавнем исследовании загрязнения пляжей и поверхностных вод микропластиком [5] применялись только визуальные методы анализа. Идентификационные коды материалов (треугольный символ с обозначением типа материала) могут помочь с определением типа полимера в случае макромусора при условии сохранности маркировки. Но, если мусор представлен отдельными фрагментами изделий, маркировка часто не сохраняется и визуальный анализ затрудняется. Для определения типа полимера мезо- и микропластика применяется ИК-Фурье спектрометр (FT-IR), благодаря которому можно достоверно определить химический состав фрагментов. Существенным недостатком этого прибора является невозможность применять его при полевых работах. Помимо этого подобное оборудование является недоступным для широкого круга исследователей за счет высокой стоимости и сложности устройства. Поэтому сегодня ведется работа по разработке быстрых и недорогих методов определения типа полимера с целью изучения и мониторинга пластикового загрязнения. Например, в работе [6] описано применение миниатюрного портативного спектрометра ближнего инфракрасного диапазона - MicroNIR для идентификации типа пластика с целью упрощения сортировки мусора. В своей работе мы показали, что MicroNIR может использоваться также для идентификации морского пластикового мусора разных размеров при полевых работах. Была создана база данных спектров полимеров, наиболее часто встречающихся в океане (полиэтилен (PE), полипропилен (PP), полиэтилентерефталат (PET), полистирол (PS), поливинилхлорид (ПВХ), полиамид (PA), поликарбонат (PC), полиуретан (PUR), силикон). Использование значения спектрального соответствия (SMV, включенное в программное обеспечение прибора) для анализа спектров позволило точно классифицировать все девять типов полимеров. Метод был использован для идентификации морского макро-, мезо- и микропластического мусора из различных матриц. Образцы для анализа отбирались: на побережье о. Крит (фрагменты пластика с пляжей, фильтрат поверхностной воды), в Северном Ледовитом океане (донные отложения, фильтрат поверхностной воды), на пляжах Осло-фьорда (пластиковый мусор с пляжей). Используемый метод позволил корректно определить тип пластика морского синтетического мусора для 42 из 44 макро-, мезофрагментов (определено 96%) и для 104 из 142 микрочастиц (определено 73%) за исключением полностью черных частиц и частиц размером менее 1 мм. Корректность определения всех обнаруженных частиц проверялась на спектрометре Spotlight 400 FTIR. Проверка

подтвердила состав, полученный при помощи MicroNIR. Таким образом, портативный спектрометр MicroNIR зарекомендовал себя в качестве быстрого и недорого инструмента для анализа крупного синтетического морского мусора. Нижняя граница определения в 1мм также позволяет применять его для анализа частиц микропластика в заданных пределах. Несмотря на размерные ограничения и невозможность идентифицировать полностью черные частицы, данные прибор и методика способны упростить работу исследовательских и волонтерских групп по изучению пластикового загрязнения пляжей и океанов, а также ускорить обработку данных и сделать их более корректными.

Проект Министерства климата и окружающей среды Норвегии RUS-19/0001 «Создание регионального потенциала для измерения и моделирования распределения и поступления микропластика в Баренцевом регионе. Поступление с помощью рек и течений в море (ESCIMO)»; НИВА внутренний проект 16130:3 Микропластик; Скаттефонд проект 291115; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, темы 0149-2019-0003 и 0149-2019-0008; Грант РФФИ 19-55-80004.

Список литературы

1) Thevenon F., Carroll C., Sousa J. Plastic Debris in the Ocean: The Characterization of Marine Plastics and Their Environmental Impacts, Situation Analysis Report // IUCN: Gland, Switzerland, 2014. 52p. DOI: https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2014.03.en

2) Plastics - The Facts 2014/2015. An Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data, Plastics Europe. Available online: https://www.plasticseurope.org/application/files/5515/1689/9220/2014plastics_the_facts_PubFeb2015.pdf (accessed on 7 May 2020).

3) Plastics - The Facts 2020. An Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data, Plastics Europe. Available online: https://www.plasticseurope.org/en/resources/market-data (accessed on 18 Feb 2021).

4) Ritchie H. FAQs on Plastics. Available online: https://ourworldindata.org/faq-on-plastics (accessed on 18 Feb 2021).

5) Cózar A., Martí E., Duarte C.M., García-De-Lomas J., Van Sebille E., Ballatore T.J., Eguíluz V.M., González-Gordillo J.I., Pedrotti M.L., Echevarría F., Troublè R., Irigoien X. The Arctic Ocean as a dead end for floating plastics in the North Atlantic branch of the Thermohaline Circulation // Sci. Adv. 3(4). 2017. e1600582. DOI: 10.1126/sciadv.1600582

6) Rani M., Marchesi C., Federici S., Rovelli G., Alessandri I., Vassalini I., Ducoli S., Borgese L., Zacco An., Bilo F., Bontempi El, Depero L.E. Miniaturized Near-Infrared (MicroNIR) Spectrometer in Plastic Waste Sorting // Materials 12(17). 2019. 2740. https://doi.org/10.3390/ma12172740

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЕРЕНОСА ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ PM10 НА ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ НАД ЧЕРНЫМ МОРЕМ

Калинская Д. В.

Морской Гидрофизический Институт РАН, г. Севастополь

kalinskaya_ d_ v@mail.ru

Ключевые слова: Взвешенные частицы, MODIS, EOSDIS, SPM, HYSPLIT, CALIPSO, Черное море

Содержание в атмосфере взвешенных частиц является одним из основных показателей качественных характеристик воздуха. Взвешенные частицы (PM — particulate matter) относятся к загрязнителям атмосферы, которые чаще всего анализируют по массовым концентрациям частиц. Выделяют 2 типа взвешенных веществ, изучению концентрации которых уделяется особое внимание: с размерами частиц меньше 2,5 мкм ($PM_{2,5}$) и 10 мкм (PM_{10}) [1, 2].

В результате обработки спутниковых данных за период с 25 сентября по 1 октября 2020 г. был зафиксирован аномальный перенос аэрозольных частиц в сторону Ростовской и Донецкой областей, а также северо-восточного побережья Черного моря.

Загрязнение атмосферы взвешенными частицами PM в приложении *Ventusky* рассчитывается по модели *SILAM* (System for Integrated modeLling of Atmospheric coMposition) [3]. Компьютерный пакет программ *SILAM* широко используется для исследования влияния лесных пожаров, извержений вулканов, пылевых переносов, а также иных природных и техногенных катастроф на загрязнение атмосферы. Система *SILAM* позволяет моделировать распространение значительного количества химических веществ и их смесей с различными типами взаимодействий между ними. Событие переноса пылевого аэрозоля было проанализировано по спутниковым данным *MODIS Aqua*, а именно по значениям параметра *ADS* (AIRS Dust Score), вычисленным на основе результатов зондирования атмосферы в инфракрасном и микроволновом диапазонах. За период с 25 сентября по 1 октября 2020 г. по данным *Ventusky* была зафиксирована аномально высокая концентрация частиц PM10. За двое суток (29-30 сентября) значение концентрации частиц PM_{10} на территории Узбекистана, Казахстана и Туркмении превысило 500 мкг/м^3, а в юго-восточной части России - 330 мкг/м^3. Жители Ростовской области вследствие аномального переноса воздушных масс в этот регион 29 и 30 сентября отмечали резкое ухудшение видимости и изменение цвета горизонта.

Для определения возможного источника взвешенных частиц были проанализированы обратные траектории модели *HYSPLIT* [4]. По спутниковым данным *MODIS* и данным приложения за 29 сентября, облако взвешенных частиц PM_{10} находилось на территории, через которую проходят траектории переноса воздушных масс в приземном слое атмосферы (до 1 км) по данным модели *HYSPLIT*. Были проанализированы спутниковые данные *MODIS* и *CALIPSO* [5] за период с 25 сентября по 1 октября 2020 г. для определения масштабов переноса и типизации взвешенных частиц PM_{10}. По данным типизации аэрозольных частиц *CALIPSO*, в районе Ростовской и Донецкой областей находился пылевой загрязненный аэрозоль. Согласно метеорологическим данным [https://rp5.ru] за 30 сентября 2020 г., в Ростовской и Донецкой областях наблюдалась дымка, затем умеренная пылевая буря с последующими осадками над исследуемыми областями. В различных информационных источниках было много фотоматериалов о содержании аномальной взвеси кирпичного цвета в каплях выпавшего дождя. Известно, что взвешенные частицы PM конденсируют влагу и осаждаются на подстилающую поверхность, а значит могут влиять на изменчивость оптических характеристик подстилающей поверхности в области их потенциального осаждения. Анализ данных приложения *Ventusky* за 30 сентября показал наличие облака частиц PM_{10} в районе

северо-западной части Черного моря, что затрагивает и акваторию Керченского пролива, где в тот момент проводились измерения оптических характеристик морских вод и атмосферы с борта НИС «Профессор Водяницкий».

По данным фотометра *SPM* [6], измерения которым осуществлялись также с борта НИС «Профессор Водяницкий», среднее дневное значение аэрозольной оптической толщины на длине волны 500 нм за 29 сентября t(500) = 0,27, за 30 сентября t(500) = 0,26, что более чем в 1,5 раза превышает среднемесячное значение t(500) = 0,156. Анализ вклада мелкодисперсной (до 1 мкм) и грубодисперсной (более 1 мкм) фракции в общую величину t_l за исследуемые дни показал, что в основном (более 70%) в эти дни атмосферный аэрозоль состоит из частиц мелкодисперсной фракции. Значение влагосодержания за эти даты превышало среднемесячные значения более чем в полтора раза, и это подтверждает, что указанные частицы конденсировали влагу и 30 сентября, по ходу движения облака, выпали с осадками на подстилающую поверхность региона исследования.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-05-50023 (обработка спутниковых данных) и темы госзадания № 0555-2021-0003 (осуществление измерений характеристик атмосферного аэрозоля посредством фотометра SPM и их анализ). Авторы благодарят: С.М. Сакерина, Д.М. Кабанова за предоставленный фотометр SPM и программное обеспечение к нему, Ю.С. Куринную за фотоматериалы и оперативную информацию о событии выпадения аномальных осадков над Ростовской областью.

Список литературы

1) Ревич. Б.А. Мелкодисперсные взвешенные частицы в атмосферном воздухе и их воздействие на здоровье жителей мегаполисов // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т. 29. №3. 2018. С. 53–78. https://doi.org/10.21513/0207-2564-2018-3-53-78.

2) Кузнецова И.Н., Глазкова А.А., Шалыгина И.Ю., Нахаев М.И., Архангельская А.А., Звягинцев А.М., Семутникова Е.Г., Захарова П.В., Лезина Е.А. Сезонная и суточная изменчивость концентраций взвешенных частиц в приземном воздухе жилых районов Москвы // Оптика атмосферы и океана. Т.27. № 6. 2014. С. 473–482.

3) Sofiev M. System for integrated modelling of atmospheric composition // FMI [Электронныйресурс FMI]. –Режимдоступа: http://silam.fmi.fi.

4) Белихов А.Б., Леготин Д.Л., Сухов А.К. Современные компьютерные модели распространения загрязняющих веществ в атмосфере // Вестник Костромского государственного университета им. Н.А. Некрасова. 2013. Т. 19. С. 14–28.

5) Kalinskaya D.V., Papkova A.S., Kabanov D.M. Research of the Aerosol Optical and Microphysical Characteristics of the Atmosphere over the Black Sea Region by the FIRMS System during the Forest Fires in 2018–2019 // Physical Oceanography 27(5). 2020. P. 514-524. doi:10.22449/1573-160X-2020-5-514-524.

6) Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Ростов А.П., Турчинович С.А., Князев В.В. Солнечные фотометры для измерений спектральной прозрачности атмосферы в стационарных и мобильных условиях // Оптика атмосферы и океана. Т. 25. №12. 2012. С.1112–1117.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ В РАСПРЕДЕЛЕНИИ ПРОМЫСЛОВЫХ СКОПЛЕНИЙ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ АРКТИЧЕСКОЙ ТРЕСКИ КАК ИНДИКАТОР АТЛАНТИФИКАЦИИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Кивва К.К., Мурый Г.П.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», г. Москва

kirill.kivva@gmail.com

Ключевые слова: Баренцево море, северо-восточная арктическая треска, рыбный промысел, вылов, промысловые скопления, климатические факторы.

Бореализация - новое в океанологии понятие, отражающее изменения в Северном Ледовитом океане (СЛО), связанные с увеличением потока атлантических и тихоокеанских вод. Термином «атлантификация» обозначают усиление влияния относительно тёплых и солёных атлантических вод на атлантический сектор СЛО [1]. Открытие этого явления опиралось на многолетние данные по состоянию вод Баренцева моря [2], но в настоящее время изменения видны и в высокой Арктике. Как и бореализация в целом, «атлантификация» накладывает отпечаток не только на биотопы, но и на биоценозы, поэтому термин получил широкое распространение в биологических исследованиях [3].

В пределах Баренцева моря выделяют северо-восточную арктическую популяцию атлантической трески (*Gadus morhua*). Она распространена к югу от полярного фронта на глубинах в основном 0-600 м, относится к бентопелагическим видам, её возраст достигает 30 лет, а половая зрелость наступает в 8-10 лет. Нерест происходит в феврале-мае у побережья Лофотенских островов и арх. Вестеролен на глубинах 50-200 м. Взрослые особи осуществляют ежегодные нагульные миграции. Вид имеет важное экологическое и экономическое значение [4]. При этом для трески свойственна значительная межгодовая изменчивость численности пополнения и общей биомассы, а также распространения промысловых скоплений [4, 5]. Цель данной работы - проверка гипотезы о наличии связи между изменениями в распределении физических параметров среды и промысловых скоплений трески в Баренцевом море.

Использованы данные об уловах трески российским рыболовным флотом за 1980-2018 гг. Для характеристики удаления основных районов промысла (ОРП) от условной точки в юго-западной части моря использован подход из работы [6]. Получены ряды расстояния между центроидом ОРП и данной условной точкой, которые использованы в качестве индекса пространственной амплитуды миграции трески. Гидрологические данные взяты из массива EN4 (разрешение $1^\circ \times 1^\circ \times 1$ месяц). Для поиска закономерностей между изменениями в распределении трески и динамикой полей температуры и солёности выполнен корреляционный анализ.

Обнаружена высокая статистически значимая корреляция амплитуды миграции трески в июне и июле с межгодовой изменчивостью температуры ($\rho > 0{,}7$ при $p < 0{,}05$) и солёности ($\rho > 0{,}5$ при $p < 0{,}05$) в мае-июне в придонном слое Баренцева моря. Причём, даже индекс амплитуды миграции в северном направлении (вдоль материкового слона на западной окраине моря) имел наиболее обширный район с положительной корреляцией в пределах внутренней части моря. Можно предположить, что изменения в миграциях связаны не столько с динамикой самих полей температуры и солёности, сколько отражают влияние процесса, определяющего эту динамику. Таким процессом, по всей видимости, является увеличение потока атлантических вод в Баренцево море и СЛО вдоль западной границы моря, влияющее на смещение полярного фронта и, как следствие, кормовых объектов трески.

Полученные закономерности могут быть использованы в управлении промыслом рассматриваемого вида а также при адаптации рыбохозяйственной отрасли России к изменениям климата.

Проверка предположения о связи амплитуды миграции трески с объёмом переноса атлантических вод и с положением полярного фронта в пределах моря послужит продолжением работы.

Работа выполнена в рамках раздела 3 государственного задания ФГБНУ «ВНИРО» № 076-00005-20 ПР.

Список литературы

1) Polyakov I.V. Borealization of the Arctic Ocean in response to anomalous advection from sub-Arctic seas / I.V. Polyakov, M. Alkire, B. Bluhm [et al.] // Frontiers in Marine Science. – 2020. – Vol. 7. – P. 491.

2) Reigstad M. Variations in hydrography, nutrients and chlorophyll a in the marginal ice-zone and the central Barents Sea / M. Reigstad, P. Wassmann, C.W. Riser [et al.] //Journal of Marine Systems. – 2002. – Vol. 38. – №. 1-2. – С. 9-29.

3) Паутова Л.А. Летний фитопланктон северной части Баренцева моря (75–80° N) / Л.А. Паутова, В.А. Силкин, М.Д. Кравчишина [и др.] // Экология гидросферы. – 2019. – № 2(4) – С. 8-19.

4) Матишов Г.Г. География промысла трески как индикатор экосистемы Баренцева моря / Г.Г. Матишов, В.В. Денисов, А.П. Жичкин // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2010. – №. 1. – С. 112-119.

5) Кивва К.К. Многолетняя изменчивость распределения промысловых скоплений трески в Баренцевом море / К.К. Кивва // Современные проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды на пространстве СНГ. Сборник тезисов Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию Российского государственного гидрометеорологического университета. СПб: Российский государственный гидрометеорологический университет. – 2020. – С. 514-517.

6) Кивва К.К. Влияние изменений климата на распределение промысловых скоплений северо-восточной арктической трески (Баренцево море) / К.К. Кивва, А.С. Кровнин, Г.П. Мурый [и др.] // Моря России: исследования береговой и шельфовой зон. Тезисы докладов всероссийской научной конференции. – г. Севастополь, 21–25 сентября 2020 г. – Севастополь: ФГБУН ФИЦ МГИ, 2020. – С. 405-407.

ИМПАКТНЫЕ ЗОНЫ ВОДОСБОРА БЕЛОГО МОРЯ

Коновалов Д. С.

Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск

konovalov.daniil1998@gmail.com

Ключевые слова: Импактные зоны, Белое море, морская экология.

В водосборный бассейн Белого моря входит значительная часть гидрографической сети рек Мурманской и Архангельской области, республики Карелия, небольшие территории других субъектов РФ [1]. Общая площадь водосбора Белого моря составляет более 1100 тыс. км^2. Речная система бассейна Белого моря относится к Северному экономическому району, который характеризуется высокой плотностью размещения промышленных объектов: здесь выделяются горно-металлургические, горно-обогатительные и горнодобывающие, целлюлозно-бумажные, энергетические, транспортные и рекреационные районы [1]. Столь интенсивное освоение данной территории способствовало формированию зон повышенного антропогенного воздействия, что может потенциально способствовать изменению экосистем моря.

Большая часть вредных веществ поступает в Белое море посредством речного стока, а расположенные в долинах рек предприятия образуют импактные зоны, т.е. области точечного воздействия на окружающую среду. Импактные зоны характеризуются высоким химическим загрязнением окружающей среды, значительной трансформацией естественного геохимического фона, растительного покрова, почв и грунтов, неуправляемым развитием процессов деградации, как наземных, так и водных экосистем, внедрением загрязняющих веществ в цепи питания, повышенной заболеваемостью населения [2].

При рассмотрении импактных зон Белого моря были выделены три крупные области: импактная область водосбора северо-западного побережья Белого моря, импактная область юго-восточной части водосбора Белого моря и импактная область водосбора южной части водосбора Белого моря, их различия существенны.

Импактная область водосбора северо-западного побережья (Карельский и Терский берега), на территории которой располагаются предприятия цветной металлургии и горнодобывающей промышленности. Здесь существенную роль играет западный перенос: зона активного влияния атлантических циклонов. Благодаря транспортной освоенности в атмосферу региона попадает большое количество оксида углерода - 16 тыс. т за 2019 год[3]. От стационарных источников (промышленные предприятия) регион получил 156 тыс. т диоксида серы за 2019 год. При этом нагрузка от стационарных источников снизилась, по сравнению с 2015 годом, то же можно сказать об автотранспорте. Наибольшее количество выбросов основных загрязняющих веществ от стационарных источников в атмосферу отмечается на территории Печенгского района - 68,553 тыс. т. Контроль качества поверхностных вод, проводимый ФГБУ «Мурманское УГМС» в 2019 году показал, что в 18 водных объектах зарегистрировано 109 случаев высокого загрязнения и 48 - экстремально высокого по характерным показателям: никель, молибден, медь, сульфаты, дитиофосфат, соединения азота и другие показатели. Содержание сульфатов, ртути, меди, никеля, марганца превышало допустимую концентрацию во всех отобранных пробах, цинка - в 92% проб, азота нитритного - в 83% проб, дитиофосфата - в 67%, молибдена - в 50%, легкоокисляемых органических веществ (по $БПК_5$) и азота аммонийного - в 33%, фосфора фосфатного в единичных пробах.

Импактная область юго-восточной части водосбора Белого моря (Зимний берег), включающая в себя Архангельский и Котласский импактные районы. Данная территория характеризуется загрязнением атмосферного воздуха вредными примесями от предприятий целлюлозно-бумажной промышленности, машиностроения, транспорта, теплоэнергетики, лесообрабатывающей и химической промышленности. Учитывая промышленную развитость региона, уровень загрязнения атмосферы в 2019 году был повышенный, а средние концентрации примесей в 2019 году не пре-

вышали установленных нормативов, однако было зафиксировано 2 случая высокого загрязения воздуха бенз(а)пиреном [4]. Динамика сброса сточных вод в разрезе территорий административных районов Архангельской области за 2017-2019 годы показывает общее снижение объема сброса. Увеличилось содержание загрязняющих веществ в сточных водах предприятий на 5,37 млн. $м^3$ и составил 357,7 млн. $м^3$ в 2019 году. Однако общая масса сброса загрязняющих веществ в Белое море за 2019 год составила 104,3 тыс. т

Импактная область южной части водосбора Белого моря (Поморский берег), включающая в себя северо-восточную часть республики Карелия. В 2019 году в республике Карелия было отобрано 4118 контрольных проб, проведено 6744 количественных анализов атмосферного воздуха и случаев экстремально высокого загрязнения атмосферного воздуха не зафиксировано [5]. В 2019 году, по сравнению с 2018 увеличился объем сбрасываемых сточных вод в водные объекты Белого моря и составил 73,87 млн $м^3$, в т.ч. 14,98 млн $м^3$ приходится на стоки хвостохранилища АО «Карельский окатыш». Из общего объема сточных вод 7,83% (5,85 млн $м^3$) составили сточные воды, не прошедшие очистку. Наибольшую массу в составе загрязняющих веществ, сбрасываемых в водоемы бассейна Белого моря, составляют: лигнин сульфатный (3014,88 т), натрий (524,35 т), нефтепродукты (11,92 т), калий (1982,43 т), нитраты (670,21 т). Также стоит отметить выросший объем недостаточно-очищенных сточных вод по сравнению с 2018 годом (в 3 раза).

Проанализировав три импактные области, можно судить о том, что Карельский и Терский берег оказывает более сильное антропогенное воздействие на водосборный бассейн. Исходя из этого, необходимо разработать природоохранные меры, необходимые для предприятий, снизить транспортную нагрузку на регион. В перспективе планируется оценить антропогенное влияние на экосистемы Белого моря.

Список литературы

1) Филатов Н.Н., Тержевик А.Ю. Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 349 с
2) Моисеенко Т.И. Загрязнение поверхностных вод водосбора и ключевые антропогенно обусловленные процессы. Система Белого моря. М.: Научный мир, 2010. Т. 1. С. 301–333.
3) Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2019 году // Министерство природных ресурсов и экологии Мурманской области. – Мурманск, 2020. – 177с.
4) Состояние и охрана окружающей среды Архангельской области за 2019 год / А. В. Ерулик, А. Ф. Горних, Р.В. Бузинов, С.О. Нагибин, Р. В. Ершов, А. Н. Кравцов, А.А. Копытов, Э. В. Шашин, Архангельск : 2019.
5) Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2019 г. / Министерство природных ресурсов и экологии Республики Карелия; Редакционная коллегия: А. Н. Громцев (главный редактор), О. Л. Кузнецов, Г. Т. Шкиперова. – Петрозаводск, 2020. – 248 с.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОМУСОРА НА ПЕСЧАНЫХ ПОБЕРЕЖЬЯХ ФИНСКОГО ЗАЛИВА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НАБЛЮДЕНИЙ 2018-2020 ГГ.

Кузьмина А. С., Ершова А. А.

Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург

kuzmina_a98@yahoo.com

Ключевые слова: микромусор, микропластик, Финский залив.

Мониторинг морского мусора (в том числе микромусора) является неотъемлемой частью борьбы с загрязнением морских экосистем. В регионе Балтийского моря, в том числе на побережьях Российской части Финского залива, такие исследования проводятся на протяжении нескольких лет [1, 2, 3].

Целью данной работы является изучение динамики распределения микромусора на песчаных пляжах российской части Финского залива за трехлетний период по результатам полевых наблюдений в летний период 2018-2020 гг. На основе полученного массива данных за 3 года работ определены наиболее и наименее загрязненные пляжи, показано, какой тип микромусора является преобладающим, а также от каких факторов зависит загрязненность пляжей.

Пробы микромусора отбирались в период с 2018 по 2020 гг. в летнее время на 8 пляжах Санкт-Петербурга ежегодно в пределах Невской губы и внешней части Восточной части Финского залива (в парке Александрия, поселке Лахта, городе Ломоносове, парке 300-летия, острове Декабристов, северном и южном пляжах острова Котлин, городе Зеленогорск), а также дополнительно еще на 7 пляжах в разные годы (в поселках Комарово, Солнечное, Лисий Нос, Большая Ижора, Лебяжье, рядом со станцией Тарховка, а также на Жемчужном пляже). К микромусору относятся частицы размером менее 5 мм. В данных исследованиях использовались сито («фрейм-метод») и грабли («рейк-метод» [4]) с диаметром ячеек 2 мм, что позволяло отбирать наиболее крупную фракцию микромусора размером 2-5 мм в зоне заплеска, а также по всей ширине пляжа.

В результате обработки данных получены следующие результаты. Преобладающим типом микромусора почти на всех изученных пляжах является пластик, хотя есть исключения, например, на протяжении двух последних лет микромусор в парке Александрия представлен исключительно стеклом. В целом наиболее загрязненными являются пляжи в районах плотной городской застройки.

Самым загрязненным в зоне заплеска (при исследовании «фрейм-методом») в последние два года является пляж на острове Декабристов, хотя в 2020 году концентрация микромусора там уменьшилась примерно в 4 раза (55,5 шт/м^2 против 14,25 шт/м^2). В 2018 году самым загрязненным был пляж в Ломоносове (более 37 частиц на м^2), тогда как в 2020 г. он является одним из самых чистых (чуть больше 1 частицы на м^2). На пляжах Лахты и парка 300-летия значения 2019 и 2020 гг. сравнимы, однако отличаются от значений 2018 г. Концентрации микромусора на пляжах Александрии, Ломоносова и Зеленогорска в течение исследуемого периода становятся меньше. Уровень загрязненности южного пляжа острова Котлин держится примерно на одном уровне (3-5 частиц на м^2).

В 2020 году на пляже в Большой Ижоре значительно возросло количество микромусора, отобранного «рейк-методом» (почти в 3 раза) и он оказался самым загрязненным из обследованных данным способом. Также изменился и состав частиц - на место пластиковым частицам пришли металлические. В Зеленогорске картина обратная - микромусора стало в 3 раза меньше, чем в 2018-2019 гг., в общей структуре стало больше стекла. Самым грязным за период 2018-2019 гг. является северный пляж острова Котлин - он был загрязнен металлическими частицами обшивки кораблей.

Сильные различия между годами могут быть обусловлены множеством факторов. Во-первых, всегда существует погрешность, связанная с ошибкой наблюдателя, не все частицы могут быть учтены. Во-вторых, от года к году погодные условия и уровни воды отличались, что провоцировало различия, особенно в зоне заплеска. В-третьих, многие пляжи с высокой рекреационной нагрузкой периодически убираются, что также могло искажать общую картину загрязнения.

Основным фактором, определяющим степень загрязненности пляжей от года к году, является удерживающая способность Комплекса защитных сооружений: пляжи в пределах Невской губы стабильно более загрязненные, чем в открытой части Финского залива. На загрязненность также влияют: рекреационная нагрузка, направление течений, скорость и направление ветра, а также близкое расположение строек и очистных сооружений, однако это воздействие непостоянно и меняется каждый год или даже чаще. Отсюда следует, что однократных летних съемок недостаточно для составления полной картины загрязнения пляжей; нужно проводить более частые исследования (например, раз в сезон), чтобы иметь возможность более детально отслеживать зависимость распределения микромусора от разных воздействий - как антропогенных, так и природных.

Список литературы

1) Raateoja M., Setälä O. The Gulf of Finland assessment. - Helsinki: SYKE, 2016. - 363 pp.
2) Ершова А.А., Еремина Т.Р., Макеева И.Н. Мониторинг морского мусора в прибрежной зоне восточной части Финского залива Балтийского моря // Арктические берега: путь к устойчивости. - Мурманск: Мурманский арктический государственный университет, 2018. С. 211-214.
3) Ершова А.А., Кузьмина А.С., Миннигазимова Л.И. Исследование распределения морского мусора на побережье российской части Финского залива в 2019 году // Современные проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды на пространстве СНГ. - СПб.: Российский государственный гидрометеорологический университет, 2020. С. 736-737.
4) Haseler M., Schernewski G., Balciunas A., Sabaliauskaite V. Monitoring methods for large micro- and meso-litter and applications at Baltic beaches // Journal of Coastal Conservation 22. 2018. P. 27–50.

МОНИТОРИНГ ДИНАМИКИ ОЗЕР ЦЕНТРАЛЬНОГО ЯМАЛА НА ОСНОВЕ МНОГОСПЕКТРАЛЬНОЙ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Дрост Г.И[1], Тешебаева К.[2],Ловцкая О.В.[3], Балыкин Д.Н.[3], Хворова Л.А.[4], Ковалевская Н.М.[3], Кульшин А.В.[4]

[1] *Национальный институт управления водными ресурсами, Лолистад*

[2] *Свободный Университет Амстердама, Амстердам*

[3] *Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул*

[4] *Алтайский государственный университет, Барнаул*

molnioz@mail.ru

Ключевые слова: многоспектральные спутниковые данные, криолитозона сплошного типа, термокарстовые озера, классификация, концентрация взвешенного вещества.

Область криолитозоны сплошного типа, границы которой охватывают большую часть арктических островов и тянутся непрерывно вдоль всего побережья от Карского моря на западе до Чукотского моря на востоке, занимает на территории России наибольшую часть (61,8%) от общей площади распространения вечной мерзлоты) [1].

В последние годы в связи с глобальным потеплением климата значительно ускорились процессы таяния вечной мерзлоты, что приводит к уменьшению прочности многолетнемерзлых пород (ММП). Уже в настоящее время в Западной Сибири отмечается интенсивное оттаивание мерзлых пород (до 4 см/год) [2]. В Западной Сибири ежегодно происходит тысячи аварий нефте- и газопроводов, в том числе, связанные с потерей устойчивости фундаментов и деформацией опор в связи с глобальным потеплением. Имеются также многочисленные примеры нарушения целостности и разрушения жилых и производственных зданий, связанных с деградацией вечной мерзлоты.

В этих условиях получение прогнозных оценок изменения состояния вечной мерзлоты под действием климатических изменений является важной задачей, решение которой должно быть основано на использовании экспериментальных данных об изменениях состояния ММП. Получение таких данных ввиду труднодоступности территории Западной Сибири из-за высокой степени заболоченности невозможно без применения дистанционного зондирования поверхности Земли.

В дистанционных исследованиях важными являются вопросы выбора геоиндикаторов криогенных изменений. Анализ литературных данных по дешифрированию аэрофотоснимков в геокриологических исследованиях показал, что в качестве наиболее перспективных геоморфологических индикаторов криогенных и посткриогенных изменений мерзлотных ландшафтов могут быть использованы термокарстовые озера, возникающие в результате вытаивания подземных льдов, имеющие, как правило, округлую, овально-удлиненную или лопастную форму [3].

Объектом исследования является территория Бованенковского газоконденсатного месторождения, как района наиболее активного освоения Центрального Ямала. На Ямале насчитывается более 60 000 озер, около 90 % из них составляют малые, площадью менее 1 км. В среднем заозеренность полуострова Ямал составляет 10 %, достигая максимума ($>$ 40 %) в Центральном Ямале.

В ряде работ был проведен анализ космических снимков в Арктике и субарктике Западной Сибири и установлено, что за период 1973-2006 гг. количество озер сократилось, часть озер исчезла полностью [1, 4]. Хотя по результатам этих исследований на отдельных тестовых участках южной части полуострова Ямал общая площадь озер несколько увеличилась, необходимо провести дополнительные исследования для Центрального Ямала. Поскольку этот регион характеризуется усилением (термической) эрозии из-за истечения малых рек из крупных озер. Малые реки углубляют свое русло с возрастающей скоростью, понижая водосборный порог озера, что с большой вероятностью может приводить к уменьшению общей площади озер.

Поэтому особую важность приобретает мониторинг искомой территории с точки зрения спектральных характеристик качества воды термокарстовых озер, как дополнительных показателей активизации термокарстовых процессов и деградации мерзлоты, полученных на основе оперативной и архивной многоспектральной космической информации.

В нашем исследовании обработка многоспектральных спутниковых данных проводится, основываясь на результатах полевых и лабораторных исследований и классификации озер в соответствии с уровнем концентрации взвешенного вещества (Total Suspended Matter, TSM, г/м^3):

250 < TSM - озера с крайне мутной и глинистой водой,

100 < TSM <= 250 - озера с мутной водой,

20 < TSM <= 100 - озера со слегка мутной водой,

TSM <= 20 - озера с прозрачной водой.

Предварительные исследования на основе архивной многоспектральной информации спутников Landsat показали:

· отсутствие значительных корреляций увеличивающихся площадей водного зеркала с изменением температурного режима и уровней осадков,

· циклические изменения классов термокарстовых озер в исследуемом регионе, в том числе, наличие:

· илистых озер с гипер-илистыми циклами

· умеренно-илистых озер с илистыми циклами

· безилистых озер с илистыми циклами.

Работа выполнена в рамках Госзадания Института водных и экологических проблем Сибирского отделения РАН при финансовой поддержке Некоммерческого Партнерства «Российский Центр освоения Арктики» (г. Салехард).

Список литературы

1) Кирпотин С.Н., Полищук Ю.М., Брыксина Н.А. Динамика площадей термокарстовых озер в сплошной и прерывистой криолитозонах Западной Сибири в условиях глобального потепления // Вестник Томского государственного университета 133. 2008. С. 185–189.

2) Полищук В. Ю., Полищук Ю. М. Геоимитационное моделирование полей термокарстовых озер в зонах мерзлоты. Югорский гос. ун-т, Ин-т мониторинга климат. и экол. систем СО РАН, Ин-т химии нефти СО РАН. Ханты-Мансийск: ЮГУ, 2013. 128 с.

3) Smith I.C., Sheng Y., MacDonald G.M., Hinzman L.D. Disappearing Arctic lakes // Science 308 (5727). 2005. P. 1429.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДНОГО БАЛАНСА ВЫСОКОМИНЕРАЛИЗОВАНОГО ОЗЕРА БАСКУНЧАК

Лапенков А.Е., Поздняков Ш.Р., Ревунова А.В.

Институт озероведения Российской академии наук - обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (ИНОЗ РАН - СПбФИЦ РАН). г. Санкт-Петербург

lapa13art@gmail.com

Ключевые слова: Высокоминерализованное озеро, водный баланс.

Озеро Баскунчак находится в прикаспийской низменности, занимающей северное побережье Каспийского моря. Зеркало озера располагается между 48°16' и 48°07' с. ш. Это самый низкий относительно уровня моря регион Европы. Водоем является крупным месторождением самосадочной соли с глубиной залегания поверхностных солей 10 -18 метров. Соленость воды в летние месяцы доходит до 360 ‰.

Цель работы: оценить современное состояние водного баланса высокоминерализованного озера Баскунчак.

Компонентами водного баланса оз. Баскунчак являются осадки, испарение, инфильтрация и сток. Приходная часть водного баланса озера складывается из осадков над его акваторией и поверхностного притока впадающих в него водотоков. В двадцатом веке водотоки были перекрыты плотинами и дамбами для защиты от притока взвешенных наносов в половодье. В некоторых их них были организованы водопропускные сооружения, но поступление воды в озеро резко сократилось. Расход рек основных притоков оценивался гидрологической вертушкой и поплавковым методом в августе и сентябре 2020 года. Измерения проводились для р. Горькая, Улан-Благ и группы северных ручьев. Значительного вклада в поверхностный сток в летний период они не вносят. Сезонные оценки дебита ручьёв за 2004 - 2007 гг. были взяты из работы Зеленковского П.С. [1]. Также было оценено современное состояние водопропускных установок и плотин, определены скорости потока на основных водотоках:

- р. Горькая 0,1 л\с
- р. Улан-Благ 20,0 л\с
- Группа северных ручев 46,0 л\с

Для расчета поверхностной составляющей притока была определена площадь водосбора оз. Баскунчак. Оценка была сделана на основе крутизны уклона и анализа распространения стока с учетом локальных условий рельефа. Также бы рассчитан среднегодовой слой испарения. Использовались данные о температуре подстилающей поверхности, скорости и направления ветра за последние 80 лет. Ряд данных был разбит на два климатических периода 1961-1990 гг. и 1991 - 2020 гг. [2]. Эти периоды служит основой для долгосрочной оценки изменения климата [3; 4]. По данным ВНИИГМИ-МЦД средняя многолетняя сумма осадков в период с 1961 по 2019 гг. составляла 276 мм, значительно изменяясь в пределах от 190 до 405 мм. Испарение было вычислено по формуле Иванова (с поправкой Молчанова), которая подходит для районов с недостаточным увлажнением. Рассчитанная величина слоя испарения оказалась в пределах от 398 мм до 422 мм. Результаты сравнения испарения и притока воды в настоящее время на оз. Баскунчак позволяют сделать вывод, что имеет место нарушение естественного водного режима. Выполненное исследование показало, что из-за антропогенного воздействия поступление воды в виде поверхностного

стока с бассейна либо очень мало, либо в отдельных частях бассейна отсутствует вовсе. Дальнейшее снижение уровня может привести к нарушению равновесия системы озера и накоплению самосадочной соли.

Список литературы

1) Зеленковский П. С. Эколого-геологическая характеристика месторождения минеральных солей озера Баскунчак и особенности рационального освоения его ресурсов // Автореф. дис. к.г.-м.н., 2010.
2) Булыгина О.Н., Веселов В.М., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. Описание массива срочных данных об основных метеорологических параметрах на станциях России. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620549 (http://meteo.ru/data/163-basic-parameters#описание-массива-данных)
3) Браславский А. П., Викулина З. А. Указания по расчету испарения с поверхности водоемов // Л.: Гидрометеоиздат. – 1969. 85 с.
4) Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм. ВМО-№ 1203. 2017. 23 с. (https://library.wmo.int)

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ПОДВОДНЫХ ЛАНДШАФТАХ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА: ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА ADRIENNE

Леонтьев Ф.А.[1], **Орлова М.И.**[2], **Рябчук Д.В.**[1]

[1]*Всероссийский геологический научно-исследовательский институт им. А.П. Карпинского, г. Санкт-Петербург*

[2]*Санкт-Петербургский научный центр Российской академии наук, г. Санкт-Петербург*

leontyevph@gmail.com

Ключевые слова: подводные ландшафты, геоэкология, морская геология, Финский залив.

Восточная часть Финского залива - мелководная зона с естественными глубинами от 2-5 м в Невской губе до 80 м у острова Гогланд. Минерализация воды низкая - от 0,07 до 3-6 ‰, с увеличением в западном направлении. В последние десятилетия восточная часть Финского залива испытывает все возрастающую техногенную нагрузку: проложена первая часть газопровода «Северный поток» (2010-2011 гг.); реализовано строительство крупнейшего портового терминала Усть-Луга; имеют место дноуглубительные работы и подводный отвал грунта в Невской губе, возведение здесь комплекса защитных сооружений (дамбы). Это приводит к заметным изменениям подводных ландшафтов и антропогенному воздействию на морскую среду.

Проект ADRIENNE (ER55) в рамках Программы приграничного сотрудничества между Эстонией и Россией, начатый в 2019 году, направлен на создание общедоступного портала ГИС, который предоставит возможность оценить последствия антропогенного воздействия на экосистему подводных ландшафтов Финского залива при различных сценариях (включая изменение климата). Создание такого портала поможет рационализировать подход к нормированию уровня антропогенного воздействия на окружающую среду и сохранить существующий биогеоценоз. Фактические данные и знания для будущего моделирования в настоящее время собираются в ходе полевых работ по проекту и анализа существующих источников (например, результатов ежегодных полевых геологических работ, проводимых сотрудниками Всероссийского геологическим научно-исследовательский институт им. А.П. Карпинского в 2011-2019 годах, и профилирования многолучевым эхолотом (Teledyne RESON Seabat 8111-H, система E208-3F66 Dry MBES), осуществленного в 2017 и 2019 годах во время рейсов ИО РАН им. П.П. Ширшова на НИС «Академик Николай Страхов») [1, 2].

Первый этап полевых работ проекта ADRIENNE был проведен в летне-осенний период 2019 года и привел к созданию первичной базы данных, содержащей информацию об отобранных пробах биотических компонентов (фитопланктон, зоопланктон, бентос, перифитон, макрофиты, рыба) и образцах донных отложений для последующего гранулометрического анализа, основных гидрофизических (глубина, прозрачность воды по диску Секки, температура поверхностной и придонной воды, осадка) и гидрохимических показателях (соленость, pH, Eh, содержание растворенного кислорода), пространственных данных многолучевого эхолотирования и подводной фото- и видеодокументации. Выбор и обоснование пространственного распространения точек в пределах исследуемой территории были основаны на результатах геофизических исследований восточной части Финского залива, проведенных в предыдущие годы. Общее количество станций пробоотбора - 134.

Анализ существующих данных и результаты натурных наблюдений были использованы для визуализации в геоинформационных системах. Набор геологических и биологических данных (девять ключевых участков с полным многолучевым покрытием) предоставляет возможность для картирования распределения различных типов подводных ландшафтов и оценки состояния экосистемы всего Финского залива. Пространственное распространение исследуемых участков и точек отбора проб позволило выявить и описать разнообразие абиотических компонентов подводных ландшафтов. Наиболее восточная часть Финского залива - Невская губа - характеризуется

лимнической соленостью ($<$ 0,5 ‰) и чрезвычайно мелкими глубинами (до 10 м), сильно подвержена воздействию волн. Преобладает песчаное и валунное дно, георазнообразие относительно низкое. На бентосные сообщества здесь сильно повлияли масштабные дноуглубительные работы в Невской губе. Вторая часть изучаемой территории расположена в пределах крупных заливов южного побережья (например, Копорская и Лужская губы, участок вокруг острова Мощный) и может быть охарактеризована как олигогалинная (0,5-5 ‰) и подверженная воздействию волн. Сложное геологическое строение и относительно выраженные глубины (10-30 м) по сравнению с Невской губой приводят к более высокому георазнообразию, включая переход от каменистого дна в пределах фотической зоны, сильно подвергающегося воздействию волн, к бескислородному илистому или глинистому дну. Наибольшее георазнообразие характерно для северо-западной части исследуемой территории (Выборгский залив) с олигогалинными (0,5-5 ‰) и мезогалинными ($>$ 5 ‰) условиями, очень неоднородным (мозаичным) распределением донных отложений по типам и широким распространением железомарганцевых конкреций различных форм и генезиса. Для западной части изучаемой территории (например, участка вблизи острова Гогланд) свойственны мезохалинные условия и наибольшие глубины (20-80 м), неравномерное распределение донных отложений, широкое распространение газонасыщенных грунтов и интенсивное локальное воздействие придонных течений.

Предварительные результаты анализа позволили ранжировать совокупность абиотических факторов от менее благоприятной для развития бентосной фауны (как численности, так и биомассы) на поверхности и в толще бескислородного алеврито-пелитового субстрата до более благоприятных (насыщенное кислородом алеврито-пелитовое, песчаное или каменистое дно) и наиболее благоприятных условий (насыщенный кислородом субстрат смешанного типа, включая участки развития железомарганцевых конкреций). Полученные данные используются для многомерного статистического анализа, направленного на оценку состояния биоты в пространстве абиотических и опосредованных деятельность человека параметров. Эта работа находится в процессе и частично будет представлена в докладе.

Исследования выполнены в рамках проекта ADRIENNE (ER55) программы приграничного сотрудничества «Россия-Эстония» на период 2014–2020 годов.

Список литературы

1) Orlova M., Ryabchuk D., Ezhova E., Evdokimenko A., Neevin I., Kobik L., Sukhacheva L., Bubnova E., Budanov L., Kocheshkova O., Krek A., Molchanova N., Sergeev A., Zhamoida V. Case studies of geo- and biodiversity of underwater landscapes in the eastern Gulf of Finland (Baltic Sea): is anything interesting across brackishwater lightless areas? // Book of Abstracts, GeoHab 2019 Marine Geological and Biological Mapping, Saint-Petersburg, Russia, May 13–17, 2019. P. 148–149

2) Ryabchuk D., Orlova M., Kaskela A.M., Kotilainen A.T., Sergeev A., Sukhacheva L., Zhamoida V., Budanov L., Neevin I. The eastern Gulf of Finland—brackish water estuary under natural conditions and anthropogenic stress // Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat (Second Edition) 15, 2020. P. 281–301. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814960-7.00015-4

ШУМОВОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОДВОДНОЙ СРЕДЫ, КАК ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА

Лисовский А.Я.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

andrew.lissovsky@gmail.com

Ключевые слова: морские экосистемы, шумовое загрязнение, экологическая безопасность

Современные исследования показали, что среди экологических факторов подводной среды - шум является одним из самых значимых для многих гидробионтов [1-6]. Основными источниками антропогенных подводных шумов служат: судовые двигатели, гребные винты, турбулентные потоки в пограничном слое при обтекании неровностей и шероховатостей корпуса, процессы морской сейсморазведки, дноуглубительные работы на подходах к портам, деятельность ледокольного флота. В целом, акустический шум естественной окружающей среды океана составляет 55-85 децибел, тогда как антропогенный шум в среднем может достигать уровня 150-250 децибел [4-6].

Развитие судоходства, активное освоение шельфа и значительное развитие портов приводят к необходимости оценки влияния антропогенного шумового воздействия на гидробионтов, в том числе на промысловых рыб и млекопитающих. Исследования показывают, что за последние 40 лет подводный шум на частотах от 10 до 50 Гц в прибрежных зонах мирового океана возрос в среднем на 10 - 12 дБ, а на морских трассах - на 10 дБ только за последнее десятилетие. Подводный антропогенный шум постепенно превращается в экологическую проблему, которая в некоторых районах проявляется достаточно остро.

На фоне нарастающей угрозы шумового загрязнения океана в 2014 г. Международная межправительственная морская организация (IMO - International Maritime Organization), членом которой Российская Федерация является, приняла «Руководство по сокращению подводного шума, создаваемого торговыми судами, для преодоления его отрицательного воздействия на морскую флору и фауну». Международный Совет по исследованию моря (International Council for the Exploration of the Sea - ICES), одной из функций которого является изучение последствий антропогенного влияния на морские экосистемы, так же озабочен данной проблемой. На основе результатов экспериментальных исследований были выработаны рекомендации ICES, согласно которым уровень шума рыболовных научно-исследовательских судов на частотах ниже 10 кГц не должен превышать порог восприятия рыбами шума на расстоянии 20 м [1, 3]. При этом дистанция реагирования рыб на шум судна существенно варьируется от 40 м до 500 м и более, но чаще 100 м - 200 м в зависимости от слуховых способностей рыб, времени суток, физиологического состояния рыб, уровня шума и условий окружающей среды.

Важнейшие виды промысловых рыб, такие как атлантическая треска (*Gadus morhua*), сельдь (*Clupea harengus*), пикша (*Melanogrammus aeglefinus)*, сайда (*Pollachius virens*) , морская камбала (*Pleuronectes platessa*) и другие обладают высокой чувствительностью к подводным звукам в диапазоне частот от 0,1 Гц до 1,2 кГц в зависимости от вида, с максимумами в области от 20 до 300 Гц. Наибольшая чувствительность к звуку для сельди составляет около 75 дБ в области от 20 Гц и 1,2 кГц. Для трески - от 100 до 300 Гц. Чувствительность к звуку может увеличиваться пропорционально размеру, возрасту рыбы, особенно для тех из них, которые обладает плавательным пузырем (тресковые, сельдевые и др.) [1, 4, 6]. Чувствительность к звуку у данных рыб уменьшается при более низких частотах, и увеличивается при росте частоты звуковых сигналов. Результаты исследований показывают, что сельди меняли направление движения и уходили от источника звука, но стайное поведение рыб при тех же воздействиях звука не менялось. Рыбы реагировали на звуки 144 дБ отн. 1 μПа при частоте 80 или 92 Гц. Однако при повышении частоты звука, его пороговый уровень был на 5 дБ выше при такой же ответной реакции [1, 2].

В процессе проведения сейсмосьемок со специализированных судов были установлены важные факты поведенческих реакций на звук, которые могут наблюдаться на значительном расстоянии до нескольких километров (до 1,5-7, иногда более 10 км) от района работы судна. Наименьшее расстояние реакции избегания составляет, по литературным данным, около 1000 м. Пороговые значения звука, при которых наблюдается реакция избегания рыбами района работ, определены от 160 до 180 дБ [4]. Восстановление естественной структуры скоплений происходит обычно не раньше чем через 1 - 3 дня после прекращения воздействия. Поэтому морская сейсморазведка может создавать проблемы для рыболовства, а в прибрежных районах, где имеются нерестовые реки, препятствовать заходу проходных рыб на нерест.

Применительно к воздействию звуков пневмоисточников на икру и личинок рыб, также были обнаружены негативные эффекты. Их гибель отмечается при 230 - 240 дБ (р-р) отн. 1 μПа на расстоянии от 1 до 5 м [4,5]. При этом смертность существенно снижается при росте расстояния от пневмоисточника. Имеются также данные о характере воздействия техногенных подводных шумов на морских млекопитающих, в частности в акваториях Баренцева моря [3]. Подобные проблемы могут быть свойственны и Балтийскому морю, которое подвержено интенсивному антропогенному воздействию. При этом Финский залив - является одной из акваторий, подвергающихся наиболее существенному шумовому загрязнению в процессе судоходства, дноуглубительных работ и деятельности крупных портов.

Акустический режим порта является одной из составляющих при оценке вредного воздействия от деятельности предприятия на окружающую среду. Оценку шумового воздействия в данном случае целесообразно включать в состав ОВОС (оценки воздействия промышленного воздействия на окружающую среду). Обеспечение предприятиями морской хозяйственной отрасли требований законодательных актов и нормативных документов по соблюдению санитарных норм шума на территории порта выступает в качестве решения проблемы шумового загрязнения окружающей среды в прибрежной зоне. Кроме того, это обеспечивает снижение шумовой нагрузки на персонал и жителей прилегающей жилой зоны.

В целом, учет международных требований и стандартов в области снижения шумового загрязнения подводной среды является важным шагом на пути к комплексному обеспечению экологической безопасности морских экосистем.

Список литературы

1) Кузнецов М.Ю. Дистанции реагирования различных видов рыб на гидроакустические шумы промысловых и научно-исследовательских судов и допустимые уровни шума // Известия ТИНРО. Т. 164. 2011. С.157–176.

2) Кузнецов М.Ю., Поляничко В.И., Убарчук И.Б., Сыроваткин Е.В. Влияние гидроакустического шума судна на эхоинтегрционные оценки запасов рыб и уловистость учетного трала (на примере минтая Охотского моря) // Известия ТИНРО. Т. 190. 2017. С. 85–100.

3) Михайлюк А.Л. Техногенное шумовое загрязнение Баренцева моря и его влияние на биологию кольчатой нерпы. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук. Мурманск, 2012 г. – 24 с.

4) Семёнов В.Н., Зуенко Ю.И., Атаманова И.А., Мухаметова О.Н., Зеленихина Г.С., Архипов Б.В., Корниенко А.Б. Методическое пособие по оценке размера вреда водным биоресурсам при сейсморазведке и электроразведке. – М.: Изд-во ВНИРО, 2016. – 86 с.

5) Шавыкин А.А. и др. Оценка влияния на окружающую среду сейсмоакустических исследований в мелководных районах (на примере Тазовской Губы Карского моря) / А.А. Шавыкин, П.С. Ващенко, А.Н. Карнатов, В.В. Калинчук, Т.И. Белянкова // Ж. Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. Т. 8. 2010. С. 11–17.

6) Scientific synthesis on the impacts of underwater noise on marine and coastal Biodiversity and Habitats / Convention on Biological Diversity: Executive summary. Subsidiary Body on Scientific, Technical and Technological Advice. Sixteenth meeting, Montreal, 30 April–5 May 2012. – 93 p.

МИКРОПЛАСТИК В КЕРНЕ ЛЬДА БУХТЫ НОВИК (АМУРСКИЙ ЗАЛИВ, ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

Лобчук О.И., Лазарюк А.Ю., Чубаренко И.П.

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

olga_may87@mail.ru

Ключевые слова: морской лед, микропластик, загрязнение, Амурский залив

С тех пор, как в 1950-х годах началось массовое производство пластиковых изделий, количество пластикового мусора как в морской, так и в пресноводной среде резко увеличилось, что стало серьезной проблемой во всем мире [1]. Пластмассы являются наиболее распространенными и стойкими загрязнителями океанов и пляжей во всем мире, на них приходится 73% мирового морского мусора [2]. Ежегодно в океаны доставляется около 8 миллионов тонн пластика [3]. Недавние исследования обнаружили микропластик в воде и льдах Арктики, что говорит о том, что и удаленный Северный Ледовитый океан не защищен от загрязнения микропластиком [4, 5].

В данной работе представлены результаты анализа кернов льда, взятых зимой 2020 г. в бухте Новик Амурского залива (Японское море) [6]. Керны вырезались кольцевым буром на ровных участках ледового поля. Каждый керн льда, извлечённый из воды, укладывался на металлический поддон для удаления морской воды и части рассола. Производился замер длины керна (толщины льда) и фотографирование. Далее на деревянном столике расстилались 2 листа пищевой алюминиевой фольги и керн помещался на эти листы и упаковывался. На следующем этапе для упаковки кернов использовались полиэтиленовыепакеты. Упакованный керн помещался в пластиковый ящик, установленный в салоне а/м. В ящик помещалось 2-3 керна (дополнительно использовались прокладочные материалы).

Керны льда доставлялись на а/м в лабораторию Национального научного центра морской биологии (ННЦМБ ДВО РАН) и помещались в холодильник-ларь (Т -18С). ННЦМБ расположен на берегу Амурского залива.

Обработка проб проводилась в АО ИОРАН, в ламинарном шкафу "Ламинар-С"-1,8 LORICA, с использованием микроскопа Микромед-2 с дополнительной камерой. Процедура обнаружения МП в пробах выполнялись двумя наблюдателями. Для минимизации/исключения внешнего загрязнения использовалось металлическое (деревянное) лабораторное оборудование и стеклянная посуда. В лаборатории при работе с образцами использовались лабораторные халаты и одежда из натуральных материалов для минимизации воздушного загрязнения образцов. Чашка Петри для контроля внешнего загрязнения проверялась после работы с каждым фильтром.

Проведён визуальный анализ формы, размера и цвета МП. Извлеченные МП были классифицированы как частицы, пленки и волокна. Среди извлеченных частиц волокна были наиболее распространенной формой МП (53.0% от общего количества частиц), за которыми следовали фрагменты (44.4%) и пленки (2.6%).

Анализ распределения частиц по размерам показал, что наибольшее количество частиц имеет размеры 1-2 мм (36.9%), чуть меньшее количество частиц имеет размеры 2-5 мм (26.5%), затем 0.3-1 мм (18.3%), затем < 0.3 мм (14.0%) и >5 мм 4.3%. Наибольшее количество пленок в размерном диапазоне 1-2 мм.

По цвету волокна были разделены на следующие категории: синяя, черная, желтая, красная, голубая, зеленая, розовая, фиолетовая, оранжевая, зебра голубая и зебра синяя. Зебры - те волокна, которые имеет двойной цвет (голубой-белый или ярко-синий-белый, которые чередуются). Самыми распространёнными цветами были синий (21%) и черный (18%). Оранжевый составил всего 2% и был самым редко встречающимся цветом. Волокна-зебры встречались практически на всех горизонтах

Дополнительный тест для разделения синтетических волокон от натуральных не проводился.

Выводы. Среди полученных из фильтрата льда бухты Новик частиц волокна были наиболее распространенной формой МП. Среди волокон самым распространенным цветом являлся синий (33%). Концентрация частиц МП во льду составила 0.25 шт/см^3 или 254 шт/л.

Исследование проводится при поддержке РНФ №19-17-00041.

Список литературы

1) Barnes D.K.A., Galgani F., Thompson R.C., Barlaz M. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments // Philos. Trans. R. Soc. B 364. 2009. P. 1985-1998. DOI: 10.1098/rstb.2008.0205.

2) Tekman M.B., Krumpen T., Bergmann M. Marine litter on deep Arctic seafloor continues to increase and spreads to the North at the HAUSGARTEN observatory // Deep Sea Res. I 120. 2017. P. 88-99. DOI: 10.1016/j.dsr.2016.12.011.

3) Jambeck J.R., Geyer R., Wilcox C., Siegler T.R., Perryman M., Andrady A., Narayan R., Law K.L. Plastic waste inputs from land into the ocean // Science 347. 2015). P. 768-771. DOI: 10.1126/science.1260352

4) Obbard R.W., Sadri S., Wong Y.Q., Khitun A.A., Baker I., Thompson R.C. Global warming releases microplastic legacy frozen in Arctic Sea ice. // Earth's Future 2. 2014. P. 315-320. DOI: 10.1002/2014EF000240

5) Cózar A., Marti E., Duarte C.M., Garcia-de-Lomas J., Sebille E. van, Ballatore T.J., Eguiluz V.M., Gonzales-Gordillo J.I., Pedrotti M.L., Echevarria F., Trouble R., Irigoien X. The Arctic Ocean as a dead end for floating plastics in the North Atlantic branch of the thermohaline circulation // Sci. Adv. 3. 2017. DOI: 10.1126/sciadv.1600582

6) Лобчук О.И., Лазарюк А.Ю., Граве А.Н., Чубаренко И.П. Towards the understanding of the distribution of microplastic particles in the ice cores MICRO2020 International Conference. Fate and Impacts of Miroplastics: Knowledge and Responsibilities.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АВТОМАТИЧЕСКОГО СЕГМЕНТИРОВАНИЯ СУДОВЫХ РАЗЛИВОВ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА ПО РАДИОЛОКАЦИОННЫМ СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ РСА SENTINEL-1

Мазур А.Ю.[1], **Ивонин Д.В.**[2]

[1]*Московский физико-технический институт, кафедра термогидромеханики океана, г. Москва*

[2]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

kimo2021@mail.ru

Ключевые слова: сегментирование судовых разливов, РЛИ, Sentinel

В данной работе был создан автоматический алгоритм выделения пленочных загрязнений на поверхности моря и их сегментирования от аэрогидродинамических явлений на поверхности океана по монополяризационным (одна соосная VV-поляризация) данным Sentinel-1. Предложенный алгоритм базируется на физических соображениях о различном поведении границы раздела (в горизонтальной плоскости) на РЛИ для пленок маслянистых веществ (загрязнений) и для аэогидродинамических явлений. В первом случае морфология границы раздела обусловлена эффектом поверхностного натяжения, которое приводит к достаточно резкому градиенту контраста яркости на РЛИ. Во втором случае морфология границы аэрогидродинамических теней на РЛИ связаны с эффектами перемешивания теплых и холодных потоков на границе раздела вода/воздух, а также пульсациями скорости потока, которые приводят к более слабым градиентом яркости РЛИ и более хаотичному виду границы. Разделение сликов различной природы проводилось на основании формального параметра - отношения длины резкой границы к длине всей границы. Параметр выбирается максимизирующий метрику качества классификации полученных после сегментации сликов. На одном из снимков сравнение с результатами независимой экспертизы, проведенной визуальным анализом, показало, что программа для параметра 0.75 классифицирует согласовано с экспертным заключением от 67% до 82% случаев со средней величиной 75%. Таким образом, данный автоматический алгоритм обладает определенным потенциалом для использования как самостоятельно, так и в помощь экспертам для облегчения рутинной работы. На языке программирования Python был создан комплекс автоматической загрузки, калибровки, создания разметочных масок по данным радара Sentinel-1 для Баренцева моря и последующей их обработки в Matlab для выделения сликов. Данный программный комплекс планируется в дальнейшем включить в работу автоматического детектирования сликов на портале scanex.ru/BarentsSea.

Работа выполнена частично в рамках гранта РФФИ № 18-55-20010 «Нефтяные загрязнения и молодой морской лёд в Баренцевом море: распознавание, определение характеристик и картографирование методами дистанционного зондирования с помощью РСА».

Список литературы

1) Кучейко А.Ю., Иванов А.Ю., Евтушенко Н.В., Филимонова Н.А., Терлеева Н.В., Ивонин Д.В., Александрова А.Г. Пленочные загрязнения Баренцева моря по данным радиолокационного мониторинга 2017–2019 гг. // Экология и промышленность России. Т. 24(7). 2020. С. 48-55. https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-7-48-55

2) Добровольский А.Д., Залогин Б.С. Моря СССР // Изд-во Моск. ун-та,1982. 192 с.

3) Документация к данным спутников Sentinel-1. https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar

4) Документация к программе Sentinelsat. https://sentinelsat.readthedocs.io/en/stable/

5) Документация к программе SNAP. http://step.esa.int/main/doc/tutorials

6) Chen G., Li Y., Sun G., Zhang Y. Application of deep networks to oil spill detection using polarimetric synthetic aperture radar images // Applied Sciences 7(10). 2017. 968. https://www.researchgate.net/publication/319975316_Application_of_Deep_Networks_to_Oil_Spill_Detection_Using_Polarimetric_Synthetic_Aperture_Radar_Images

ОБЗОР РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА И ОСОБЕННОСТЕЙ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ МИРОВОГО ОКЕАНА

Мустафина Ф.И.[1,2], **Шарма Р.**[3], **Черкашёв Г.А.**[1,2]

[1]*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург*

[2]*Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового Океана им. ак. И.С. Грамберга, г. Санкт-Петербург*

[3]*Национальный институт океанографии, г. Дона Пола, Индия*

fimustafina@gmail.com

Ключевые слова: глубоководные полезные ископаемые, рациональное природопользование, устойчивое развитие.

Человечество нуждается в природных ресурсах, важное место среди которых занимают минеральные ресурсы. Однако, в связи с истощением наземных месторождений и с рядом проблем, связанных с добычей полезных ископаемых на суше, человечество испытывает потребность в поиске альтернативных источников минеральных ресурсов. Океаны являются важным источником полезных ископаемых и энергии. Этот источник пока не используется в значительной степени, но изучается с целью будущей эксплуатации.

Целью данной работы было рассмотреть ресурсный потенциал глубоководных полезных ископаемых и предложить подходы к рациональному природопользованию и защите морской среды.

Из-за быстрого роста спроса и цен на металлы наземные запасы полезных ископаемых широко используются и могут истощаться. Данные и расчеты показывают, что для удовлетворения повышенного спроса объем производства металлов ежегодно растет, и, если не брать во внимание разведку новых месторождений и перевод ресурсов в категорию запасов, основные месторождения металлов могут прослужить не более 25 лет [1].

Ресурсы глубоководных полезных ископаемых же, напротив, чрезвычайно огромны и богаты. Согласно расчетам для железомарганцевых конкреций (далее - ЖМК) даже один горнорудный район площадью 75 тыс. кв. км с минимальным экономически выгодным содержанием ЖМК (5 кг на кв. м) обладает огромным ресурсным потенциалом и может разрабатываться до 200 лет при темпе добычи 1.5 млн т ЖМК в год. Районы с более богатым содержанием полезных ископаемых могут разрабатываться еще дольше, например, при содержании ЖМК 15 кг на кв. м добыча может продлиться вплоть до 700 лет.

Истощение наземных месторождений может служить веской причиной для перехода к глубоководным полезным ископаемым. Тем не менее, прежде чем начнется добыча на морском дне, необходимо проанализировать наличие новых месторождений полезных ископаемых на суше и способы рециклинга металлов. Вдобавок, необходимо оценить экономическую целесообразность добычной деятельности, которая будет зависеть от разработки системы добычи, способной эффективно и надежно работать в глубоководных условиях. Кроме того, необходимы более детальные исследования для защиты морской среды от последствий глубоководной добычи [3, 4].

Важно понимать, что разработка морских полезных ископаемых займет гораздо меньшую площадь морского дна, чем горнорудный район, выделенный по контракту какому-либо государству или горнодобывающей компании, и эта площадь будет окружена защитными зонами. К тому же, разработка полезных ископаемых сразу на нескольких горнорудных районах не представляется целесообразным и устойчивым. Разработка будет осуществляться определенными темпами, и чем выше содержание полезных ископаемых, тем меньше времени потребуется для достижения такого темпа добычи. Решение о количестве районов, на которых будет вестись добыча, будет зависеть от прогнозируемого спроса на различные металлы в будущем [5].

Горнодобывающая деятельность будет негативно сказываться на морской среде, поэтому государства и заинтересованные стороны в сотрудничестве с учеными должны усовершенствовать свои инфраструктуру, оборудование и методы добычи полезных ископаемых, сделать их экологически безопасными, провести оценку воздействия на окружающую среду до начала горнодобывающей деятельности для расчета и предотвращения рисков и принять меры по сохранению окружающей среды в соответствии с руководящими принципами Международного органа по морскому дну [5].

Рациональное использование минеральных ресурсов Мирового океана, устойчивое развитие и защита морской среды невозможно без применения методов управления природными ресурсами. Основная цель этих управленческих методов заключается в соблюдении баланса между экономическими, социальными и экологическими аспектами взаимодействия человека и природы с учетом качества жизни как нынешних, так и будущих поколений. Наиболее приемлемым подходом к морским минеральным ресурсам является комплексное управление природными ресурсами, которое учитывает целый ряд аспектов, таких как экологические исследования, технико-экономические обоснования, социально-политические вопросы, правовая база, меры по сохранению морской среды и наилучшие методы экономически выгодной добычи полезных ископаемых [2].

Таким образом, в ближайшем будущем может возникнуть дефицит металлов, и альтернативным источником минеральных ресурсов могут стать глубоководные полезные ископаемые. Содержание полезных ископаемых в таких месторождениях настолько велико, что они могут разрабатываться столетиями. Однако, предполагается, что разработка будет вестись на ограниченных территориях и только в соответствии со спросом на металлы, при этом важная роль будет уделяться защите морской среды. Для этого важно применение методов управления природными ресурсами, которые обеспечат рациональное использование ресурсов, устойчивое развитие и безопасность морской среды.

Список литературы

1) Мустафина Ф.И., Шарма Р., Черкашёв Г.А. Оценка запасов и расчет продолжительности добычи металлов на суше // Комплексные исследования Мирового океана: Материалы IV Всероссийской научной конференции молодых ученых / Севастополь: ФГБУН МГИ. - 2019. - С. 292-294.
2) Lovell C., Mandondo A., Moriarty P. The question of scale in integrated natural resource management // Conservation Ecology. 5 (2): 25. – 2002.
3) Marine Mineral Resources: Scientific Advances and Economic Perspectives / United Nations. – 2004. – 126 p.
4) Petersen S. Marine mineral resources / Harff J., Meschede M., Petersen S., Thiede J. // Encyclopedia of marine geosciences / Springer Science+Business Media Dordrecht. – 2016. - pp. 475-480.
5) Recommendations for the guidance of contractors for the assessment of the possible environmental impacts arising from exploration for marine minerals in the Area / International Seabed Authority. – 2013. – 32 p.

АНАЛИЗ СВЯЗИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛАВАЮЩЕГО МОРСКОГО МУСОРА С ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ РОССИИ В ОКТЯБРЕ 2020 Г.

Погожева М.П. [1,2], **Якушев Е.В.** [1,3]

[1] *Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН. Москва, Россия*

[2] *Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, Росгидромет, Москва, Россия*

[3] *Норвежский институт водных исследований (NIVA). Осло, Норвегия*

pogojeva_maria@mail.ru

Ключевые слова: загрязнение морских вод, морской мусор, Арктика

Под плавающим морским мусором понимают относительно крупноразмерную фракцию (> 2,5 см) материала антропогенного происхождения, который может переноситься на большие расстояния течениями, ветром и волнами. Под плавающим морским мусором подразумевают прежде всего пластиковый мусор, который чрезвычайно медленно разлагается по сравнению с мусором из природных материалов. Он представляет прямую угрозу для морских обитателей и впоследствии разлагается на микропластик (<5 мм). В настоящее время мировая общественность воспринимает плавающий морской мусор как одну из основных проблем загрязнения Мирового океана. Мусор поступает в морскую среду из многочисленных источников на суше и на море. Помимо прямых угроз для морских обитателей, связанных в основном с заглатыванием мусора или запутывания в нем, морской мусор может быть и химическим загрязнителем при выделении из него опасных загрязняющих веществ, он может служить транспортом для перемещения инвазивных видов, представлять опасность для навигации, а также портить эстетическую привлекательность морских объектов, нанося существенный урон туристической индустрии. Мусор может опускаться на дно, выноситься на пляжи и береговые линии или разлагаться на микропластик, но большая его часть может оставаться плавающей на поверхности моря в течение длительных периодов времени и переноситься на большие расстояния [1]. Северный Ледовитый океан представляет собой уязвимую среду с уникальной экосистемой, которая подвергается возрастающему давлению из-за изменения климата, влекущему за собой сокращение ледяного покрова и увеличение антропогенной нагрузки. Данные о морском мусоре в Арктическом регионе крайне скудны в настоящее время и не позволяют оценить пути распространения и источники его поступления. Такая информация необходима для реализации мер по уменьшению загрязнения морской среды [2].

Основными целями этой работы были сбор новых данных о плавающем морском мусоре и естественных плавающих объектах, предварительная оценка уровня загрязнения мусором и анализ потенциальных источников поступления. Работы были проведены в 82м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в сентябре-ноябре 2020 года в Белом, Баренцевом, Карском, Лаптевых и Восточно-Сибирском морях.

Для сбора данных о плавающих объектах использовалась методика института Joint Research Center (Объединенный научный центр, г. Испра, Италия) [3]. При помощи мобильного приложения Floating Litter Monitoring (FLM), установленного на планшет на базе Android, фиксировалось наличие крупных частиц морского мусора на поверхности моря. Наблюдения проводились с палубы судна во время движения. Исходя из высоты наблюдателя над урезом воды и условий наблюдения, выбиралась ширина полосы учета (обычно около 15-30 м), в которой наблюдатель гарантированно различает объекты более 2,5 см согласно методике [4]. Приложение позволяет записывать трек учета с привязкой каждого объекта к GPS координатам и идентифицировать объекты морского мусора по установленным общепринятым категориям.

Для сбора океанографических данных и интерпретации данных о распределении мусора использовалась установленная на судне система сбора забортной воды с водозаборником, располо-

женным на глубине 2,5 м с правой стороны судна. Подача воды в проточной системе обеспечивалась бортовым насосом мощностью 900 Вт (3200 л/ч). Система была оборудована термосалинографом (SBE 21 SeaCAT), который непрерывно регистрировал соленость и температуру морской воды. Помимо этого, были установлены волоконно-оптические датчики T, DO и pH компании PyroScience FireSting pro, регистрирующие концентрации растворенного кислорода (мкМ) и pH. Датчики калибровались до выполнения съемки и после.

Результаты этого исследования представляют первые данные о распределении плавающего морского мусора в морях российской Арктики в зависимости от океанографических условий (положения водных масс разного происхождения, описываемых характарной температурой, соленостью, растворенным кислородом и pH). Сопоставление этих данных показывает, что плавающий морской мусор поступает через пролив Карские ворота из Баренцева моря в Карское. В работе показано, что область его распространения ограничена фронтальной зоной между солеными поверхностными водами Атлантики и более пресными водами Обь-Енисейского плюма. Мы предполагаем, что плавающий макромусор, как и микропластик, накапливаются в этой фронтальной зоне затем переносятся на север вместе с плюмовыми водами и, наконец, достигают районов ледообразования в северной части Карского моря. Главный вывод этого исследования состоит в том, что плавающий морской мусор был обнаружен только в воде атлантического происхождения, поступающей из Баренцева моря, где средняя плотность на наблюдаемых трансектах составляла 0,92 частиц/км^2. Восточные части исследования, Карское море, море Лаптевых и Восточно-Сибирское море были практически свободны от плавающего мусора. Поступление с водами рек в осенний период представляется незначительным.

Эта работа частично финансировалась проектом Министерства климата и окружающей среды Норвегии RUS-19/0001 «Создание регионального потенциала для измерения и моделирования распределения и поступления микропластика в Баренцево море из рек и течений (ESCIMO)» и Российским фондом Фундаментальные исследования, исследовательские проекты 19-55-80004.

Список литературы

1) NOAA. 2016. “Modeling Oceanic Transport of Floating Marine Debris.” NOAA Marine Debris Program: 21

2) PAME. 2019. Protection of the Arctic marine environment Desktop Study on Marine Litter Including Microplastics in the Arctic

3) Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas / F. Galgani, G. Hanke, S. Werner, L. Oosterbaan, P. Nilsson, D. Fleet, S. Kinsey, J. van Franeker, T. Vlachogianni, M. Scoullos, J. Mira Veiga, A. Palatinus, M. Matiddi, T. Maes, S. Korpinen, A. Budziak, H. Leslie, J. Gago, G. Liebez // European Commission, Joint Research Centre. MSFD Technical Subgroup on Marine Litter (TG ML). – 2013. – № EUR 26113. – P. 1-126.

4) González-Fernández D., Hanke G. Toward a harmonized approach for monitoring of riverine floating macro litter inputs to the marine environment // Frontiers in Marine Science 4. 2017. P. 1–7.

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОЙ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ МИКРОПЛАСТИКА

Полетаев Д.А., Соколенко Б.В., Присяжнюк А.В.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь

poletaevda@cfuv.ru

Ключевые слова: загрязнение, вода, лазер, интерференция, пластик

Пластиковые элементы мусора часто попадают в водные среды [1]. Под действием различных факторов они разлагаются только частично. Большая часть элементов пластикового мусора дробится на мелкие части, увеличивая масштабы загрязнений. Микропластик может попадать в организмы морских животных и там накапливаться [1].

Традиционными методиками оценки степени микропластикового загрязнения водных сред являются гравиметрический и микроскопический. Первый подразумевает выпаривание большого объема жидкости и взвешивание оставшегося осадка. Второй – микроскопическое наблюдение проб практически в ручном режиме. Приведенные весьма непростые методики оценки микропластикого загрязнения водных сред сдерживают организацию постоянного мониторинга, как это осуществляется для температурного и химического контроля. Целесообразно предложить простую систему детектирования наличия пластиковых частиц во взятой пробе воды, а также предложить комплекс мер по организации такого мониторинга.

В настоящее время интенсивно развиваются методы диагностики, применяющие фазовые возмущения волновых фронтов световых полей различными объектами [2]. Запись цифровым способом фазовых особенностей электромагнитной волны с последующей обработкой и получением изображения получило название цифровой голографической микроскопии. Этот метод позволяет с высокой разрешающей способностью анализировать малоразмерные объекты в разных средах. Цифровая голографическая микроскопия позволяет за одно измерение определить количество взвешенных частиц в исследуемом объеме жидкости, а также их пространственное распределение.

Целью работы является оценка применимости метода цифровой голографической микроскопии для детектирования микропластиковых частиц в водной среде.

Экспериментальная установка цифровой голографической микроскопии включала: полупроводниковый лазер с мощностью оптического излучения 120 мВт на длине волны 535 нм, диафрагму с размером отверстия 25 мкм, кювету с тестовой средой. Для апробации метода и оценки минимального размера обнаруживаемых частиц были подготовлены несколько тестовых сред. Они состояли из дистиллированной воды и взвешенных частиц микропластика, отсортированных сторонними методами по линейным размерам частиц в диапазонах: от 0 до 5 мкм; от 15 до 20 мкм; от 40 до 50 мкм; от 90 до 100 мкм.

Для получения данных о форме образца из объектной волны в цифровой голографии использовался численный анализ в разработанном программном обеспечении. Время анализа тестовой среды, включая получение изображения и компьютерную обработку, составило не более 100 мкс.

В ходе экспериментов установлено, что частицы микропластика с размерами более 20 мкм хорошо различимы среди других элементов (микроводоросли, микропланктон). Это делает возможным разработку и запуск полностью автономных автоматических платформ, оснащенных описанной установкой цифровой голографической микроскопии, производящих мониторинг загрязненности водных сред. Такие устройства должны включать фотоэлектрический преобразователь для снабжения электрической энергией всей системы и заряда аккумуляторов, аккумуляторы, предназначенные для непрерывной работы системы в темное время суток, модуль мониторинга загрязнений

в виде установки цифровой голографической микроскопии, осуществляющей оценку загрязнения в реальном времени, модули геолокации и передачи данных в базы данных и дальнейшего анализа.

Данная работа была частично поддержана стипендиальной программой Президента Российской Федерации для молодых ученых (СП-745.2019.4).

Список литературы

1) Hansen R.A., Gross A. Determination of micro plastics in coastal beach sediments along Kattegat sea, denmark // Theoretical and applied ecology № 2. 2019. P. 75–82.

2) Prisiazhniuk A.V., Sokolenko B.V., Poletaev D.A., Shostka N.V. Digital holographic testing of the optical fiber at welding // Journal of physics: conference series. V. 1400. № 6. 2019. P. 1–7.

ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЗЕЛЕНОЙ ВОДОРОСЛИ ENTEROMORPHA INTESTINALES L. БАРЕНЦЕВА МОРЯ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

Салахов Д.О., Пуговкин Д.В.

Мурманский морской биологический институт РАН г. Мурманск

salahov04@yandex.ru

Ключевые слова: Баренцево море, Enteromorpha intestinales, фотосинтез, дизельное топливо

В настоящее время одной из глобальных экологических проблем является загрязнение мирового океана нефтью и ее производными. Нефтепродукты попадают в морскую среду разными путями, основными из которых являются: транспортировка, переработка, а также эксплуатация водного транспорта. Наибольшую антропогенную нагрузку испытывают прибрежные морские акватории, а в частности литоральные зоны крупных портов, где концентрация нефтепродуктов (НП) может превышать предельно-допустимые значения в тысячи раз. Наиболее сильному негативному влиянию НП подвержены литоральные фитоценозы.

В исследованиях по влиянию углеводородов на водоросли внимание ученых привлекали разные группы макрофитов, но наиболее полно изучены бурые водоросли [1]. В последнее время интерес представляют зеленые водоросли, являющиеся неотъемлемой частью прибрежных фитоценозов. В экспериментах с участием *Ulvaria obscura* (Chlorophyta) показано, что данный вид макрофитов демонстрирует высокую физиологическую устойчивость и сорбционную способность к дизельному топливу (ДТ) [2].

Объектом данного исследования являлись литоральные водоросли *Enteromorpha intestinales L.* (Chlorophyta) - бореальный атлантический вид широко распространенный на мурманском побережье [3]

Целью исследования являлось определение влияния дизельного топлива на физиологическое состояние *Enteromorpha intestinales*.

Водоросли собирали в июле - августе 2020 года на Восточном побережье Баренцева моря в районе сезонной биостанции ММБИ КНЦ РАН п. Дальние Зеленцы. Эксперимент проводили в термостатированном помещении при постоянном освещении 100 Вт/м^2, температуре 8-10 °С и постоянной аэрации морской воды.

Талломы *E. intestinales*, предварительно адаптированные к условиям лаборатории, помещали в стеклянные емкости, содержащие 2.5 литра морской воды солёностью 35%. В емкости с водорослями вносили ДТ в объемах, соответствующих 20, 100, 1000, 2000 и 3000 ПДК. ПДК нефтепродуктов в воде для рыбохозяйственных водоемов составляет 0,05 мг/л [4]. В контрольных емкостях использовали морскую воду без добавления нефтепродукта. Длительность эксперимента составила 10 суток. По его окончанию анализировали морфологию клеток при помощи светового микроскопа ЛОМО МИКМЕД - 6 с увеличением х400, 1000. Фотосинтетическую активность водорослей определяли скляночным методом по изменению содержания кислорода в воде за период инкубации талломов [5]. Количество культивированных сапротрофных и углеводородокисляющих (УОБ) бактерий определяли методом предельных разведений с использованием сред Зобелла и ММС.

В результате эксперимента было показано, что в контрольном образце в начале эксперимента цитоплазма прозрачная, хлоропласты располагаются по всему объему клеток равномерно, через 10 дней группируются в центре клетки, межклеточное пространство незначительно увеличивается. При концентрации ДТ 20 - 100 ПДК «содержимое» клетки сжимается по сравнению с контрольным образцом и приобретает более зернистое строение, прозрачность цитоплазмы снижается. При концентрации ДТ 1000 - 2000 ПДК в части клеток наблюдается плазмолиз и начинает-

ся разрушение компонентов фотосинтетического аппарата. Дальнейшее увеличение концентрации ДТ приводит к полному обесцвечиванию и разрушению клеток.

В контрольных образцах водорослей через 10 суток эксперимента интенсивность фотосинтеза (ИФ) составляла 0.04 мкгО2/г сыр.массы*ч; при концентрации ДТ 20 ПДК наблюдается незначительное снижение ИФ по сравнению с контролем - 0.03 мкгО2/г сыр.массы*ч. При воздействии ДТ в концентрациях 100 и 1000 ПДК ИФ падает по сравнению с контролем в 2 раза. В опытных емкостях с концентрацией ДТ 2000 и 3000 ПДК фотосинтез у водорослей отсутствовал.

Количество культивируемых сапротрофных бактерий увеличивается к концу эксперимента (10 сутки) во всех вариантах. Максимальных значений данный показатель достигал на 6 сутки. Численность УОБ в течение всего эксперимента оставалась достаточно низкой во всех вариантах, и исчислялась десятками, реже сотнями кл/г. В контроле и варианте с 2000 ПДК на 10 сутки опыта УОБ зафиксированы не были. Их доля в эксперименте была также достаточно низкой и колебалась от 0,0001 до 0,1 % от количества культивируемых бактерий.

Выводы:

Enteromorpha intestinales способна выдерживает воздействие ДТ до 100 ПДК в течение 10 суток. Концентрации ДТ 1000 ПДК и выше оказались летальными для водорослей. Через 10 суток эксперимента наблюдаются процессы деградации фотосинтетического аппарата, а при более высоких концентрациях ДТ (2000 и 3000 ПДК) клетки водорослей разрушаются. Можно предположить, что жизнедеятельность водорослей находится в зависимости от концентрации токсиканта в среде.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-05-80058\18

Список литературы

1) Воскобойников Г.М., Матишов Г.Г., Метелькова Л.О. Жаковская З.А., Лопушанская Е.М. Об участии зеленой водоросли Ulvaria obscura в биоремедиации морской среды от нефтепродуктов // Доклады академии наук. – 2018. – Т. 481, В. 1. – С. 11-113

2) Воскобойников Г.М., Ильинский В.В., Лопушанская Е.М., Пуговкин Д.В. О возможной роли морских макрофитов в очистке поверхности воды от нефтяного загрязнения // Нефть и газ арктического шельфа. Материалы международной конференции. - Мурманск, 2008. - С. 63-68.

3) Растения и лишайники Мурманского побережья Баренцева моря (полевой атлас) / Е.Ф. Марковская [и др.]; Мин-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. Гос. бюджет. Образоват. Учреждение высш. Образования Петрозавод. Гос. ун-т. - Петрозаводск: Издательство ПетрГУ, 2016. - 191 с.

4) Судебные и нормативные акты РФ 2016 Нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. https://sudact.ru/law/prikaz-minselkhoza-rossii-ot-13122016-n-552/prilozhenie/tablitsa-n-2/ [дата обращения 21.02.20]

5) Лурье Ю.Ю. Унифицированные методы анализа вод. Изд. 2-е. — М.: Химия, 1973. 376 с.

К ВОПРОСУ О РЕКРЕАЦИОННОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УСТЬЕВЫХ ОБЛАСТЕЙ РЕК РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Санин Александр Юрьевич

Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, Росгидромет, Москва.

eather86@mail.ru

Ключевые слова: устьевые области рек, рекреация, экологические услуги, рекреационный потенциал, внутренний туризм. рекреационные потоки, водоохранная зона, прибрежная защитная полоса.

Развитие внутреннего туризма всегда представлялось весьма актуальной задачей, важность которой возросла еще больше в связи с пандемией COVID-19 и в связи с ее многочисленными последствиями, к которым относятся резкое удорожание международных перевозок и возрастание их сложности и рисков, с ними связанных, а также усталость людей от ограничений, связанных с пандемией, которая активизирует потребность в отдыхе. Одним из наиболее привлекательных для рекреантов объектов являются некоторые устьевые области рек, например, дельта Волги и тех, которые впадают в пределах активно используемых для отдыха морских побережий (реки Крыма, Кубани, Калининградской области и т.д.). Так, дельта Волги привлекает туристов, как минимум, со всей Европейской России. Устьевые области привлекательны для туристов в силу разнообразия характерных для них природных ландшафтов, высокого рекреационного потенциала, большого количества видов туризма, которые могут развиваться в их пределах. Они «соединяют в себе» рекреационный потенциал, характерный для берегов рек и более крупных водных объектов (озер, водохранилищ, морей), в которые эти реки впадают. Если это устьевая область реки, впадающей в море, то здесь возможна комбинация видов туризма, характерных для рек (спортивная гребля, сплав по реке, спортивная рыбная ловля и т.д.) и морских побережий, которые могут дополнять друг друга, что позволяет достичь большего разнообразия и насыщенности впечатлениями отдыха.

Для большинства территорий, на которых развита рекреация, имеется угроза утраты их природного туристического потенциала вследствие воздействия человека на природу, далеко не все составляющие которого (в частности, загрязнение подземных вод, завоз растений и животных -вселенцев, негативно влияющих на характерные виды, эстетическое загрязнение ландшафтов, изменение объемов твердого стока, климата, интенсивности водной эрозии и многие другие) учитываются. К наиболее очевидным составляющим антропогенного воздействия на устьевые области является поступления разнообразных загрязняющих веществ [1]. Это приводит к снижению качества вод, что кроме прочих негативных последствий, приводит к снижению рекреационного потенциала, в частности, к нежеланию всех или части рекреантов купаться в воде и, в некоторых случаях, к опасным последствиям для здоровья от купаний. Вследствии воздействия человека объемы поступления загрязняющих веществ могут возрасти как для антропогенных (коммунальные и промышленные стоки, смыв с сельскохозяйственных угодий и т.д.), так и для природных (абразия, твердый сток рек) источников их поступления.

Как и для побережья рек и морей в целом, для прибрежной зоны устьевых областей рек действуют ограничения хозяйственной деятельности для водоохранных зон и прибрежных защитных полос, прописанные в действующем Водном кодексе РФ, что сдерживает их хозяйственное, в частности, рекреационное освоение, с одной стороны, но с другой стороны, снижают эстетическое загрязнение территории, обеспечивают всем категориям рекреантам, в том числе и неорганизованным, доступ к береговой линии. Указанные ограничения призваны снижать интенсивность антропогенного воздействия на реку принимающий ее водоем, в частности, уменьшить поступление загрязняющих веществ из антропогенных источников. Следует, впрочем, отметить, что далеко не во всех случаях ограничения, предусматриваемые Водным кодексом, соблюдаются.

Воздействие человека на природные ландшафты приводит к тому, что они полностью или частично утрачивают способность к оказанию геоэкологических услуг, экономическая оценка стоимости которых, выполненная для разных регионов (в частности, для устья Волги[3]), часто многократно превышает выгоды, получаемые от их хозяйственного освоения. К услугами, оказываемым природными системами устьевых областей относится транспортная, рекреационная, отепляющее и увлажняющее воздействие на климат, услуга снабжения человека ресурсами (водными, биологическими) и их воспроизводства (именно в устьевых областях нерестятся многие рыбы), участие в биологических круговоротах, очищение воды, ценность самого существования устьевых ландшафтов и их эстетическая ценность, «рефугиумная» функция (устьевые ландшафты как среда обитания растений и животных) и некоторые другие.

Устьевые области рек имеют свои геоморфологические и гидрологические особенности, которые должны учитываться при любом их хозяйственном, в частности, рекреационном использовании. Корректному учету физико-географические особенности устьевых областей в ходе их хозяйственного использования способствует их типизация, предложенная по итогам многолетних исследований на территории бывшего СССР и за его пределами В.Н. Коротаевым[2]. Берега рек в устьевых областях характеризуются высокой интенсивностью динамических процессов, что необходимо учитывать при строительстве зданий и сооружений на них. Река во многих случаях выносит значительное количество наносов, что обуславливает быстрый рост аккумулятивных форм (часто разрушаемых полностью или частично сильными штормами, в том случае, если река впадает в море, крупное озеро или водохранилище) формирование отмелей и быструю заносимость каналов для прохода судов в случае их наличия.

Для устойчивого развития рекреации в устьевых зонах рек необходимо сохранение их рекреационного потенциала (что часто подразумевает минимизацию воздействия на природные ландшафты), развитие новых для регионов видов туризма (в том числе и не подразумевающего активного воздействие на природу, в частности, экологический туризм), перераспределение туристических потоков при необходимости для предотвращения превышения рекреационной емкости территорий одновременно с увеличением туристических потоков или, по крайней мере, сохранением его текущих уровнях. Поддержание туристических потоков на текущем уровне необходимо для сохранения позитивного вклада туризма на экономику субъектов Российской Федерации, к которым относятся устьевые области.

Список литературы

1) Брызгало В.А., Никаноров А.М., Косменко Л.С., Решетняк О.С. Устьевые экосистемы крупных рек России: антропогенная нагрузка и экологическое состояние // Ростов, издательство Южного федерального университета, 2015, 158 с.
2) Коротаев В.Н. Очерки по геоморфологии устьевых и береговых систем. М.: Издательство географического факультета МГУ, 2012, 540 с.
3) Санин А.Ю., Кошовский Т.С. Геоэкологические услуги природных систем Волго-Ахтубинской поймы как основа её рекреационного потенциала // Сервис в России и за рубежом. Т. 11(1). 2017. С. 85-96.

ПРОСТРАНСТВЕННО-РАСПРЕДЕЛЕННАЯ АДАПТИВНАЯ МОДЕЛЬ АССИМИЛЯЦИОННОЙ ЕМКОСТИ МОРСКОЙ ЭКОСИСТЕМЫ

Свищев С.В.

ФГБУН ФИЦ МГИ РАН, г. Севастополь, Россия

sergsvishchev09@gmail.com

Ключевые слова: моделирование морских экосистем, ассимиляционная емкость, адаптивный баланс влияний.

Прибрежные зоны моря подвержены интенсивному воздействию берегового стока, приносящего с собой взвешенные и растворенные загрязняющие вещества промышленного, сельскохозяйственного и бытового происхождения. Способность морской среды к самоочищению от загрязнений представляет собой важный ассимиляционный ресурс, который активно используется береговой социально-экономической системой. Однако меры, принимаемые для очистки берегового стока от загрязнений, зачастую оказываются недостаточными для сохранения биоразнообразия морской среды. Ассимиляционная емкость морской среды определяется как предельно возможная скорость самоочищения морской экосистемы от загрязнений, при которой в ней еще не начинаются необратимые изменения, препятствующие возвращению экосистемы в равновесное стационарное состояние. Ассимиляционная емкость имеет свои пределы, поскольку она зависит от баланса скоростей накопления и деструкции основных видов загрязняющих веществ. Поэтому для контроля экологического состояния прибрежной зоны моря важно связать между собой количественные оценки потребляемого ассимиляционного ресурса (через индекс уровня загрязнения) и сценарии экономического использования прибрежных морских ресурсов.

Для описания пространственно-временной изменчивости потребления ассимиляционного ресурса прибрежной зоны моря применена интегральная модель эколого-экономических процессов, основанная на методе адаптивного баланса влияний [1]. Возможность имитировать отклики модели на различные варианты внешних управляющих воздействий делает подобные модели удобным инструментом планирования природоохранных действий прибрежной зоны моря. Примененный метод оценки коэффициентов уравнений адаптивной модели по нормированным текущим отношениями средних значений процессов [2] позволил построить количественную модель системы берег - прибрежная акватория (на примере Севастопольского взморья) по минимальному объему наблюдений [3] - средним многолетним значениям моделируемых эколого-экономических параметров. В качестве внешних источников влияния моделью усваивались спутниковые данные о содержании поллютантов в поверхностном слое вод исследуемой акватории.

Для оценки экологического состояния морской экосистемы использованы: текущий уровень концентрации загрязнений PL, поступающих в море с береговым стоком, интегральный баланс S скоростей накопления Sacc и ассимиляции Sass загрязняющих веществ, а также индекс биоразнообразия морской экосистемы BD. Текущий баланс скоростей накопления и ассимиляции загрязнений контролировал агент управления AG(TX), который увеличивал штрафные санкции TX за загрязнение, когда баланс объемов накопленных и ассимилированных загрязнений S превышал пороговое значение, определяемое ассимиляционными свойствами морской экосистемы. Кроме того, когда индекс биоразнообразия морской среды опускался ниже заданного предельного значения, агент управления AG(BD) также начинал оказывать угнетающее влияние на параметры экономического блока модели.

Проведенные вычислительные эксперименты подтвердили свойство предложенной адаптивной модели прогнозировать сценарии эколого-экономических процессов, согласующиеся с заложенными в модель концепциями управления, что позволило оценить пространственно-временную изменчивость ассимиляционной емкости рассматриваемой акватории.

Усвоение спутниковых данных в интегральную эколого-экономическую модель в качестве внешних переменных выполнялась при поддержке при поддержке госзадания 0827-2021-0002 (шифр «Оперативная океанология»). Проведение численных экспериментов по уточнению значений ассимиляционной емкости акватории верифицированными по спутниковым данным параметрами выполнялась при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-47-920001 р_а и при поддержке госзадания 0827-2019-0004 (шифр «Прибрежные исследования»).

Список литературы

1) Тимченко И.Е., Иващенко И.К., Игумнова Е.М., Никифоров Ю.И. Эколого-экономическая модель управления рекреационным потенциалом прибрежной зоны моря // Морской гидрофизический журнал. Т. 34(5). 2018. С. 454–467. DOI: 10.22449/0233-7584-2018-5-454-467

2) Тимченко И.Е., Иващенко И.К., Игумнова Е.М., Свищев С.В. Интегральная модель эколого-экономической системы управления береговым стоком загрязнений в морскую бухту // Морской гидрофизический журнал. Т. 36(3). 2020. С. 329-341. DOI: 10.22449/0233-7584-2020-3-329-341

3) Тимченко И.Е., Игумнова Е.М., Свищев С.В. Применение принципов адаптивного моделирования морских экосистем к гидрохимическим наблюдениям в Севастопольской бухте // Морской гидрофизический журнал. Т. 35(1). 2019. С. 70-84. DOI: 10.22449/0233-7584-2019-1-70-84

СОДЕРЖАНИЕ МИКРОПЛАСТИКА В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ В 79 РЕЙСЕ НИС "АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ"

Сильвестрова К.П., Степанова Н.Б.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

ksberry@mail.ru

Ключевые слова: микропластик, Атлантический океан

В ходе первого этапа 79 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» с 12 декабря по 4 января во время трансатлантического перехода проведен отбор проб на содержание микропластика (МП) в поверхностных и подповерхностных водах [4]. Содержание и концентрации МП в океане зависит от многих факторов, таких как: размещение источников загрязнения, циркуляция вод, состав частиц, влияющий на плотность и плавучесть, скорость обрастания и др.

Всего отобрано 47 проб воды при помощи проточной системы (с фильтрами 1.5 мм и 200 мкм) [6] и сети Манта (500 мкм, раскрытие 60х40см). Забор воды для проточной системы осуществлялся с глубины 2.5 м, сетью Манта пробы отбирались на поверхности (0-20 см при спокойных погодных условиях). Двадцать семь полученных проб были проанализированы на борту судна при помощи бинокуляра МБС-10. Вторая часть проб подготовлена для последующего спектрометрического анализа в лабораторных условиях.

Максимальные концентрации содержания МП (4.9-5.5 шт./м^3) по анализируемым образцам из проточной системы наблюдались в районе 20-15° с.ш., недалеко от островов Зеленого Мыса. Повышенное количество частиц было также зарегистрировано на периферии Южно-Атлантического круговорота между 17° ю.ш. и 25° ю.ш. и в последней точке отбора проб на 31° ю.ш., где согласно оценкам модели и траекториям дрифтеров, расположено «большое мусорное пятно» Южной Атлантики [5]. Минимальные концентрации содержания МП (0-0,4 шт./м^3) были обнаружены в северном полушарии 27-35 ° с.ш. в пробах из проточной системы, а также в южном полушарии до 11 ° ю.ш., включая поверхностные пробы из сети Манта. Распределение МП согласуется с основными закономерностями, полученными в других работах [1, 2], где минимальные значения измерены на экваторе и до 10 ° ю.ш. Средняя концентрация МП в морской воде Атлантического океана составляет 1.48 шт./м^3, а медианное значение составляет 0.77 шт./м^3.

В ходе анализа проб определялся также тип частиц (волокно, фрагмент, пена, пленка, гранулы / пеллеты) и их размер. Установлено, что в пробах из проточной системы чаще всего встречаются волокна, а в пробах из сетки фрагменты. Данные различия связаны в первую очередь, с размером ячейки сети (волокна могут проходить сквозь ячейку сети), хотя в целом для волокон скорее характерно более частое появление именно в поверхностных водах [3]. Основную часть проанализированных частиц в поверхностном и подповерхностном слоях составили волокна (36%) и фрагменты (56%), единичными были плёнки, гранулы и пена. Полученное распределение поверхностного загрязнения пластиком в целом соответствует глобальным модельным расчетам.

В дальнейшем планируется сравнить результаты полученным по данным лабораторных исследований (FT-IR спектроскопия) и визуального анализа.

Работа выполнена в рамках госзадания по теме 0149-2019-0004.

Список литературы

1) Barnes D.K.A., Milner P. Drifting plastic and its consequences for sessile organism dispersal in the Atlantic Ocean // Marine Biology 146(4). 2005. P. 815-825. https://doi.org/10.1007/s00227-004-1474-8

2) Eriksen M., Lebreton L.C., Carson H.S., Thiel M., Moore C.J., Borerro J.C., Reisser J. Plastic pollution in the world's oceans: more than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea // PloS one 9(12). 2014. e111913. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111913

3) Ryan P.G., Suaria G., Perold V., Pierucci A., Bornman T.G., Aliani S. Sampling microfibres at the sea surface: The effects of mesh size, sample volume and water depth // Environmental Pollution. 2019. 113413. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113413

4) Silvestrova K., Stepanova N. The distribution of microplastics in the surface layer of the Atlantic Ocean from the subtropics to the equator according to visual analysis // Marine Pollution Bulletin. 2020. doi:10.1016/j.marpolbul.2020.111836

5) Van Sebille E., England M.H., Froyland G. Origin, dynamics and evolution of ocean garbage patches from observed surface drifters // Environmental Research Letters 7(4). 2012. 044040.

6) Yakushev E., Pakhomova S., Lusher A.L., Mazur A., GrinkoA., Dautova T., Kosmach D., Semiletov I., Berezina A., van Bavel B. Studies of microplastic distribution in subsurface waters of the Arctic Seas in the 73 cruise of RV "Akademik Mstislav Keldysh", September- October 2018 // Proceedings of the XXII International Conference on Marine Geology, Moscow, Russia. V.4. 2019. P. 326-330. http://geoschool.ocean.ru/images/reports_2019/Volume_4_MarineGeology_2019.pdf

СОВРЕМЕННОЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ШЕЛЬФОВОЙ ЧАСТИ ХАРАСАВЭЙСКОГО ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (КАРСКОЕ МОРЕ, 2020)

Скавинская Н.Ю., Барымова А.А.

ООО «Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова», г. Москва

skavinskayany@gmail.com

Ключевые слова: донные отложения, Харасавэйское месторождение, Карское море, поллютанты, тяжелые металлы, радионуклиды, фоновые отложения, экологическое состояние.

В свете активного освоения шельфа полезно иметь представление о фоновом (естественном) состоянии среды в районе потенциальных работ, так как в природе превышения нормативов встречаются не только по вине человека, но и по причине естественных геохимических аномалий. Ежегодно разными коммерческими организациями (в том числе ООО «ЦМИ МГУ») проводится большое количество экологических исследований и инженерно-экологических изысканий в акваториях Арктики, но результаты этих исследований практически не публикуются, и данные о состоянии окружающей среды остаются точечными в пространственном, качественном и временном смыслах. В этой работе освещено современное состояние донных грунтов шельфовой части Харасавэйского газоконденсатного месторождения, которая находится на юго-западе акватории Карского моря. В этом районе отсутствуют постоянные источники техногенного воздействия, поэтому нынешнее состояние донных отложений можно считать фоновым. Пробы для исследований были отобраны с помощью дночерпателей Ван-Вина или «Океан-1» на 29 станциях в июле 2020 года.

Осадки на исследуемом участке представлены глинистыми и песчаными алевритами, алевритовой глиной и разнообразными песками: алевритовыми, тонко-мелкозернистыми, мелкозернистыми и средне-мелкозернистыми. В пространственном распределении грунтов наблюдается следующая закономерность: наиболее крупнозернистые осадки, пески, тяготеют к береговой линии (глубины до 40 м), а мелкозернистые, алевриты, в общей сложности, располагаются мористее (глубины до 170 м). Эта закономерность отвечает классическому распределению обломочных пород на шельфе.

Водородный показатель pH характеризовал среду донных отложений как нейтральную-слабощелочную (6,9-7,8 ед.pH, в среднем для участка исследований 7,4%). Содержание органического углерода менялось от <0,5 до 6,0% (в среднем 3,5%).

Концентрации большинства органических загрязнителей (нефтепродукты, хлорорганические пестициды, полихлорированные бифенилы) не достигали нижних пределов диапазонов измерений. Содержание анионных поверхностно-активных вещества (АПАВ) в донных отложениях изменялось от 1,4 до 17 мг/кг, составляя в среднем 5,4 мг/кг.

В донных отложениях были измерены концентрации химических элементов, которые изменялись в следующих пределах:

- *Al* - 789,3-15410 мг/кг (в среднем 7852,9 мг/кг);
- *Ba* - <5,0-349 мг/кг (в среднем 77,6 мг/кг);
- *Fe* - 1725,8- 47575 мг/кг (в среднем 77,6 мг/кг);
- *Cd* - <0,05-0,73 мг/кг (в среднем 0,39 мг/кг);
- *Co* - 0,9-24,1 мг/кг (в среднем 9,0 мг/кг);
- *Mn* - 36,5-45700 мг/кг (в среднем 7187,9 мг/кг);
- *Cu* - 0,9-23,6 мг/кг (в среднем 11,5 мг/кг);
- *As* - 2,7-84,8 мг/кг (в среднем 25,5 мг/кг);
- *Ni* - 1,4-38,6 мг/кг (в среднем 17,5 мг/кг);
- *Hg* - <0,005-0,075 мг/кг (в среднем 0,028 мг/кг);

- *Pb* - 1,6-13,7 мг/кг (в среднем 6,5 мг/кг);
- *Cr* - 2,0-38,3 мг/кг (в среднем 17,8 мг/кг);
- *Zn* - <5,0-70,2 мг/кг (среднем 35,1 мг/кг).

Для оценки степени загрязнения осадков был выполнен пересчет концентраций поллютантов на стандартный образец в соответствии с зарубежным нормативным документом «Голландские листы» [1]. По результатам в 2020 г. отмечаются превышения целевого уровня для бария, кобальта и кадмия; концентрации мышьяка превышают как целевой уровень, так и уровень вмешательства.

Повышенное содержание мышьяка в различных компонентах экосистемы Карского моря определяется естественными природными процессами, что можно считать геохимической спецификой рассматриваемой акватории. В первую очередь это может быть связано с распространением в Карском море железомарганцевых конкреций [2], обогащенных мышьяком, сурьмой, оловом, ванадием и цирконием [3].

В пространственном распределении элементов по участку исследований наблюдается приуроченность более высоких концентраций элементов к тонкодисперсным осадкам, находящимся в глубоководной части участка исследований (глубины до 170 м). В прибрежной части участка (глубины до 40 м) распространены пески, и для этой территории концентрации элементов в основном минимальны.

По результатам радиологических исследований удельная активность Th-232 в исследуемых пробах составила <6-71 Бк/кг (в среднем 39,69 Бк/кг); K-40 - 380-1010 Бк/кг (в среднем 649,31 Бк/кг); Ra-226 - <2-110 Бк/кг (в среднем 55,11 Бк/кг); Cs-137 - <3-17 Бк/кг (в среднем 11,26 Бк/кг); Sr-90 - <5 Бк/кг для всего участка исследований. Значения эффективной удельной активности изменялись от 44,96 до 256,09 Бк/кг, составляя в среднем 144,18 Бк/кг. Согласно СанПиН 2.6.12523-09 исследованные грунты относятся к первому классу ($А_{эфф}$⩽370Бк/кг), который является самым безопасным.

В ходе выполненных исследований были получены данные по состоянию донных отложений шельфовой части Харасавэйского газоконденсатного месторождения. Обобщенные в этой работе результаты могут быть использованы в качестве фоновых показателей, для анализа изменения состояния донных отложений этого района Карского моря со временем, а также для расчета суммарного показателя загрязнения грунтов Zc.

Исследования выполнены по договору «Мониторинг состояния окружающей среды на Северо-Харасавэйском лицензионном участке в 2018-2020 гг.» с ООО «ФРЭКОМ», генеральный заказчик ООО «Газпром геологоразведка».

Список литературы

1) Warmer H., van Dokkum R. 2002. Water pollution control in the Netherlands. Policy and practice 2001. Lelystad, RIZA: 77 p.
2) Дроздова А.Н., Шульга Н.А. Железомарганцевые конкреции Карского моря // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. № 3. 2018. С. 115-120.
3) Батурин Г.Н. Распределение элементов в железомарганцевых конкрециях морей и озер // Литология и полезные ископаемые. №5. 2019. С. 404–417.

НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ВЫБРОСАМИ МОРСКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ НА ПОБЕРЕЖЬЕ КРЫМА В 2019 Г.

Суворова И.В.[1] [2], **Постникова А.Н.**[1], **Коростелева А.Н.**[1]

[1]*Автономная некоммерческая организация Центр изучения, спасения и реабилитации морских млекопитающих «Безмятежное Море», г. Москва*

[2]*Центр океанографии и морской биологии «Москвариум», г. Москва*

i.suvorova@moskvarium.ru

Ключевые слова: Черное море, дельфины, афалина, белобочка, азовка, морская свинья, прилов

Представлены данные, полученные в рамках работы сети мониторинга выбросов морских млекопитающих на побережье Республики Крым за 2019 г. Сбор информации о выбросах осуществлялся путем информирования и получения обратной связи от населения, а также посредством регулярного обследования контрольных участков прибрежной полосы сотрудниками и волонтерами АНО «Безмятежное Море» (https://www.serenesea.org). Фиксировались следующие данные: фотографии, порядковый номер, дата, время и координаты места обнаружения, вид, пол, возрастная категория, размеры, наличие или отсутствие следов антропогенного воздействия и повреждений, индекс упитанности, стадия разложения. В ходе осмотра проводился отбор зубов и грудных плавников для определения возраста животных, отбор проб подкожной жировой клетчатки и тканей внутренних органов для токсикологических исследований. В ряде случаев также проводилось патологоанатомическое вскрытие и отбор проб для гистологических, вирусологических и паразитологических исследований.

Суммарно были учтены выбросы 470 китообразных, включая: 255 (54%) морских свиней (Phocoena phocoena relicta Abel, 1905), 55 (12%) белобочек (Delphinus delphis ponticus Barabasch, 1935), 95 (20%) афалин (Tursiops truncatus ponticus Barabasch, 1940) и 65 (14%) дельфинов неуточненного вида (ввиду продвинутых стадий разложения и масштабных посмертных повреждений). Лидирующими районами по количеству учтенных выбросов китообразных были Севастопольский (181 особь, или 39%), а также Сакский район и г. Евпатория (93 особи, или 20%). Резкое повышение количества регистрируемых выбросов пришлось на весенние и летние месяцы - 62 особи в марте, 81 - в апреле, 97 - в мае и 68 - в июне, что отражает ежегодную динамику и совпадает с периодом повышенной рыбопромысловой активности, в частности, сезонного лова камбалы-калкан.

В ходе осмотра животных особое внимание уделялось признакам, указывающим на попадание в орудия рыбной ловли. К ним относились: незажившие линейные углубления-порезы в области рострума, головы, грудной клетки, на основании и передней кромке грудных и спинного плавников, а также на хвостовом стебле и хвостовых лопастях. Фиксация этих повреждений была возможной преимущественно при обследовании свежих или относительно свежих трупов с минимальными или умеренными признаками разложения и при условии хорошей сохранности кожных покровов. Косвенными признаками прилова являлись проникающие ранения в грудную и брюшную полости, удаленный хвостовой плавник или хвостовые лопасти с ровными краями по линии отсечения. Проникающие ранения в полости тела, очевидно, связаны с попытками добиться утопления трупа, а отсечение хвостового плавника обеспечивает удобство выпутывания (“вытряхивания”) тела из сетей.

Доля дельфинов с очевидными признаками прилова составила 57% от останков, чье состояние и стадия разложения позволили провести детальный осмотр. Подавляющее

большинство приловленных животных демонстрировало хорошую степень упитанности и отсутствие внешних признаков заболеваний.

Запутывание в орудиях рыболовства - основной антропогенный источник смертности для малых китообразных, при этом главную опасность для черноморских дельфинов представляют крупноячеистые жаберные сети и отцеживающие орудия лова (тралы) [1, 2, 3, 4]. Пики выбросов,

приходящиеся на теплые месяцы, ежегодно демонстрируют устойчивую корреляцию с периодами интенсивной рыбной ловли в прибрежных районах Республики Крым.

Список литературы

1) Read A.J., Murray K.T. Gross Evidence of Human-Induced Mortality in Small Cetaceans. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-OPR-15. 2000. P. 1-21.
2) Friedlaender A.S., McLellan W.A., Pabst D.A. Characterising an interaction between coastal bottlenose dolphins (Tursiops truncatus) and the spot gillnet fishery in southeastern North Carolina, USA. J. Cetacean Res. Manage 3(3). 2001. P. 293-303.
3) Perrin, W.F., Donovan, G.P. and Barlow, J. (eds.). 1994. Report of the International Whaling Commission (Special Issue 15). Gillnets and Cetaceans. International Whaling Commission, Cambridge, UK. 629 p.
4) Логоминова И.В., Артов А.М., Коростелева А. В., Постникова А. Н. Итоги работы сети регистрации и мониторинга выбросов китообразных на побережье Крыма в 2017 году // Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – природного заповедника РАН. № 2(4). 2017. С. 55–69.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА ПЛОСКОЙ УСТРИЦЫ

Филиппова Т.А., Васечкина Е.Ф.

ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН», Севастополь

deryabina1993@yandex.ru

Ключевые слова: плоская устрица, модель энергетического баланса устрицы

Плоская устрица является предметом многих биологических, экологических и физико-химических исследований. Это связано с тем, что, с одной стороны, устрицы выступают промысловым видом, пригодным для культивирования, с другой стороны, сокращение их численности в естественной среде является биоиндикатором происходящих негативных процессов. В Чёрном море была широко распространена европейская плоская устрица - Ostera edulis. До второй половины XX века она выступала промысловым видом, затем произошло резкое уменьшение численности, обусловленное эвтрофикацией и связанными с ней грибковыми болезнями раковины [1]. На сегодняшний день актуальным является вопрос культивирования марикультуры Ostera edulis в Чёрном море. Ведение устричных хозяйств - достаточно сложный, ресурсоёмкий и финансово затратный процесс. Для уменьшения рисков, которые неизбежно возникают при разведении и дальнейшем обслуживании устричных ферм, предлагается использовать математическое моделирование. Целью исследования является разработка модели энергетического баланса плоской устрицы Ostera edulis. В работе [2] описана модель энергетического баланса мидии Mytilus galloprovincialis. Основные физиологические процессы моллюсков Ostera edulis и Mytilus galloprovincialis совпадают, отличия наблюдаются в скоростях протекания процессов, их количественных характеристиках. Принимая во внимание схожесть моллюсков, а также одну и ту же среду обитания, модель роста устрицы Ostera edulis можно построить на основе модели роста мидии Mytilus galloprovincialis. Основной модельной переменной выступает сухой вес мягких тканей, по которому рассчитываются скорости и величины следующих физиологических характеристик: рацион, метаболизм, выделение, соматическое и генеративное продуцирование, линейный и весовой рост [2]. Перевод весовых характеристик в энергетические осуществляется за счёт коэффициентов калорийности: калорийность соматических мягких тканей тела моллюска, калорийность гонад, калорийность пищевой взвеси. Модель основана на уравнении энергетического баланса устрицы: K_d (dW_d)/dt=P, P=A-R, A=I-E где K_d - калорийность тканей устрицы, W_d - общий сухой вес мягких тканей устрицы (масса гонад и соматических тканей, г), P - энергетические затраты на рост, A - ассимилированная энергия (тратится на рост и дыхание), R - затраты на дыхание, I - потреблённая энергия (рацион (кал/сут)), E - выделение (неусвоенная пища и экскретируемое вещество). В свою очередь I и E зависят от скорости фильтрации, концентрации кормовой взвеси: I=FK_c C E=FK_c C(1-A_e)+E_x где F - скорость фильтрации (л/сут), K_c - калорийность кормовой взвеси (кал/мг); C - концентрация взвеси (мг/л); A_e - коэффициент ассимиляции пищи; E_x - экскретируемая энергия (кал/сут). Количество потреблённой и выделенной энергии зависит от скорости фильтрации устрицы. Скорость фильтрации зависит от температуры среды, размера особи, количества поступающей пищи. Согласно [4], фильтрацию Ostera edulis можно описать уравнением: F=0.236×e^0.075×T×W_d где T - температура воды. Дыхание устрицы также зависит от температуры воды и аллометрических показателей, поэтому согласно [4] скорость дыхания можно описать уравнением: R=0.028×e^0.097T×W_d Важными характеристиками энергетического баланса организма устрицы являются скорости генеративного и соматического роста. Соотношение этих скоростей определяет какую часть ассимилированной энергии устрица расходует на поддержание структуры и рост и какую на процессы размножения. Согласно экспериментальным данным, это соотношение выражается следующим уравнением [5]: P_g/P_s =0.013W_d+0.09 Управляющими переменными в модели являлись температура и концентрация пищевой взвеси

(фитопланктон и детрит). В ходе численных экспериментов были получены динамические кривые морфометрических характеристик: массы тела, длины раковины, скорости роста, определены объемы продуктов нереста. Также были рассчитаны составляющие энергетического баланса: соматическая и генеративная продукционная энергия, ассимилированная энергия, затраты на дыхание. Проводилось сравнение модельных величин с экспериментальными данными, опубликованными в [4]. Временной ход, морфофункциональные зависимости, полученные в модели, качественно повторяют экспериментальные результаты. Модельные и натурные величины имеют один порядок, однако незначительно отличаются по величине, имеют временные сдвиги. Эти различия обусловлены вариацией управляющих переменных модели: температуры и концентрации пищевого субстрата. Хорошее соответствие модельных и натурных данных позволяет использовать полученную модель для описания функционирования роста устриц Ostera edulis.

Список литературы

1) Губанов В.В. Влияние раковинной болезни на состояние естественных популяций устриц Ostrea edulis и их культивирование в Черном море: автореф. дисс. на соискание учен. степ. канд. биол. наук.: спец. 03.00.17. «Гидробиология» / В.В. Губанов – Севастополь, 1990. - 21 с.
2) Васечкина Е. Ф., Казанкова И. И. Математическое моделирование роста и развития мидии Mytilus galloprovincialis на искусственном субстрате // Океанология. – 2014. – 54, № 6. – С. 816–824.
3) Сытник Н.А. Рост и энергетический бюджет плоской устрицы (Ostrea edulis) в раннем онтогенезе. // Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія. – 2010. – 18, № 1. – С. 110–116.
4) Сытник Н.А. Функциональная экология плоской устрицы (Ostrea edulis L., 1758, Ostereidae, Bivalvia) Чёрного моря. [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. биол. наук: спец. 03.02.08. «Экология» / Н.А. Сытник. – Севастополь, 2015. – 23 с.
5) Сытник Н.А. Функциональная экология плоской устрицы (Ostrea edulis L., 1758, Ostereidae, Bivalvia) Чёрного моря. [Текст]: дис. канд. биол. наук: 03.02.08: защищена 20.03.2015 / Н.А. Сытник – Краснодар, 2015. - 173 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО ЛАЗЕРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ МОРСКОГО МУСОРА, ВЗВЕШЕННОГО В ПРИПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ

Якушкин Л.Е., Пелевин В.В., Завьялов П.О.

Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

yakushkin@mail.ru

Ключевые слова: лидар, морской мусор, флуоресцентное лазерное зондирование

Данная работа посвящена автоматическому детектированию морского мусора, взвешенного в приповерхностном слое морской или речной воды. Обнаружение плавающего в воде мусора и измерение его количества необходимо для мониторинга экологического состояния водоёмов и последующей очистки их от мусора. Вместе с тем, существующие на сегодняшний день методы измерения его количества в значительной степени основаны на ручном подсчёте единиц мусора, что требует больших затрат и применимо только для весьма ограниченной площади акватории [1]. Поэтому разработка методов дистанционного зондирования, в том числе лазерного, представляет собой важную и актуальную задачу.

Целью данного исследования была разработка методики автоматического детектирования пластикового мусора на основе данных лазерного зондирования с борта судна. Известно, что спектры флуоресценции воды и морского мусора отличаются, поэтому на основании различия спектров при зондировании различных участков морской поверхности можно определить наличие на ней каких-либо загрязнителей [2].

Рамановское рассеяние света сопровождается сдвигом по частоте относительно возбуждающего лазерного импульса. Так, при зондировании воды ультрафиолетовым импульсом с длиной волны 355 нм рамановское рассеяние возникает на длине волны 404 нм. Сигнал рамановского рассеяния лежит на крутом склоне широкого спектра флуоресценции ОРОВ (окрашенного растворенного органического вещества). В основе предложенной методики лежит идея о том, что при попадании лазером в плавающий мусор в спектре принимаемого эхо-сигнала пичок рамановского рассеяния от самой воды должен пропасть, поскольку мусор непрозрачный и находится либо на поверхности, либо вблизи поверхности моря.

В морской экспедиции в Чёрном море в июле 2020 года был проведен ряд натурных экспериментов с типичным образцами пластикового мусора. Кроме того, посредством точечных измерений были измерены спектры флуоресценции верхнего квазиоднородного слоя моря с помощью ультрафиолетового лидара УФЛ-9 [2] в ходе работ в районе Керченского пролива, Таманского п-ва и Феодосийского залива. Впоследствии был предложен критерий обнаружения мусора по интенсивности эхо-сигналов на длинах волн 404 нм (рамановское рассеяние) и 440 нм (максимум флуоресценции ОРОВ). Также для учета ложных срабатываний критерия при зондировании плавающей травы или листьев критерий был дополнен граничным условием по сигналу на длине волны 685 нм, что соответствует флуоресценции хлорофилла. Глубина обнаружения мусора при использовании данной методики зависит от мутности воды и составляет около полуметра для данных условий. Размеры обнаруженного мусора примерно равны линейному размеру лазерного пучка на поверхности моря и составляют 5 см и более.

По итогам обработки полученных данных построена карта распределения мусора в верхнем слое воды. Также был написан алгоритм, определяющий количество единиц мусора на заданной площади акватории. Показано, что используемая методика зондирования применима для определения количества мусора в приповерхностном слое воды и даёт результаты, согласующиеся с результатами измерений, полученными другими методами.

В дальнейшем планируется продолжить валидацию предложенного метода на натурных данных и совершенствование алгоритма обнаружения мусора.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 19-55-80004.

Список литературы

1) Erik van Sebille et al. A global inventory of small floating plastic debris // Environmental Research Letters №10. 2015.

2) Stephanie C.J. Palmer et al. Ultraviolet Fluorescence LiDAR (UFL) as a Measurement Tool for Water Quality Parameters in Turbid Lake Conditions // Remote Sensing №5. 2013. P. 4405-4422

БИООПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОРСКОЙ ВОДЫ У КРОМКИ ЛЬДА В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ ЛЕТОМ 2020 ГОДА

Аглова Е.А.[1,2], **Глуховец Д.И.**[2]

[1] *Московский физико-технический институт, Долгопрудный*

[2] *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва*

aglova.ea@phystech.edu

Ключевые слова: флуоресценция, хлорофилл a, растворенное органическое вещество, показатель ослабления света, Баренцево море.

Исследование Арктического региона - актуальная научная задача. Это обусловлено его активным технологическим развитием, а также ярко выраженными проявлениями последствий глобального потепления. Особенностью исследуемого региона является наличие морского льда, и, следовательно, возможное появление подледного «цветения» фитопланктона - увеличение его биомассы под кромкой льда [1]. Цель данной работы - изучить пространственное распределение различных параметров морской воды (показателя ослабления света, интенсивности флуоресценции хлорофилла *a*, количества растворенной органики и желтого вещества, а также солености и температуры воды) у кромки льда в Баренцевом море и исследовать взаимосвязь этих параметров.

Судовые измерения выполнены в 80-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» (август 2020 г.). Следует отметить, что часть используемых данных получена существенно севернее среднемноголетнего положения ледовой кромки (https://climate.copernicus.eu/sea-ice-cover-august-2020) - вплоть до 83.2° с.ш. Это обусловлено тем, что в августе 2020 г. протяженность арктического морского льда была на 35% ниже средней, составляя третий по величине минимум за более чем сорокалетнюю историю наблюдений.

В исследовании использовались показания судового проточного измерительного комплекса [2], в состав которого входят следующие приборы:

· проточный двухканальный флуориметр ПФД-2М для непрерывного измерения интенсивности флуоресценции хлорофилла *a* (Хл) и окрашенного растворенного органического вещества (ОРОВ) на ходу судна в поверхностном слое морской воды. Данные измерений приведены к абсолютным рамановским единицам (R.U.);

· универсальный малогабаритный прозрачномер ПУМ-А для определения величины показателя ослабления света;

· проточный кондуктометр «Эксперт-002» для измерений удельной электропроводности и температуры воды.

На основании анализа данных судовых измерений выявлено увеличение интенсивности флуоресценции Хл от значения 0,42 R.U. на 82° с.ш. до 0,76 R.U. на 83,2° с.ш., достигая своего максимума 1,73 R.U. на 82.6° с.ш. Также установлены следующие зависимости:

· зарегистрировано уменьшение солености поверхностного слоя вод, связанное с таянием морского льда. Известно, что при этом может возникать положительная корреляция солености и интенсивности флуоресценции ОРОВ [3] - талые воды содержат меньше желтого вещества [4]. Однако такой корреляции нет, что, по всей видимости, вызвано жизнедеятельностью фитопланктона, производящего автохтонное органическое вещество в области максимального опреснения у кромки льда;

· с увеличением интенсивности флуоресценции Хл (с 0,42 до 1,73 R.U.) наблюдалось увеличение показателя ослабления (с 0,37 м$^{-1}$ до 1,02 м$^{-1}$) с коэффициентом корреляции $R^2 = 0{,}85$ ($N = 3468$). Аналогичная зависимость была получена и для интенсивности флуоресценции растворенной органики. Это связано с увеличением мутности воды при увеличении концентрации Хл;

· интенсивность флуоресценции ОРОВ имеет отрицательную корреляцию с температурой воды. Это объясняется тем, что при приближении ко льду, где температура воды уменьшается за счет таяния, из-за жизнедеятельности фитопланктона увеличивается содержание желтого вещества.

В дальнейшем планируется использование спутниковых данных, а также данных прямых измерений концентрации Хл.

Исследования выполнены в рамках государственного задания по теме № 0128-2021-0001, проекта РФФИ № 19-55-45024 и гранта Президента Российской Федерации МК-4561.2021.1.5. Гранты предоставлены через Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН.

Список литературы

1) Arrigo K. R. et al. Massive phytoplankton blooms under Arctic sea ice //Science. – 2012. – Т. 336. – №. 6087. – С. 1408-1408.

2) Гольдин Ю.А., Глуховец Д.И., Гуреев Б.А., Григорьев А.В., Артемьев В.А. Судовой проточный комплекс для измерения биооптических и гидрологических характеристик морской воды // Океанология. 2020. Т. 60. № 5. С. 814–822.

3) Глуховец Д.И. Исследование биооптических характеристик вод поверхностного слоя Баренцева и Норвежского морей летом 2017 года // Океанологические исследования. 2019. Т. 47. № 1. С. 145-160.

4) Amon R.M.W. The role of dissolved organic matter for the organic carbon cycle in the Arctic Ocean // The Organic Carbon Cycle in the Arctic Ocean. Springer, Berlin. 2003. P. 83-99.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОЖЕСТВЕННОЙ РЕГРЕССИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА А ПО СПЕКТРАМ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ

Глуховец Д.И., Гольдин Ю.А.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

glukhovets@ocean.ru

Ключевые слова: флуоресценция морской воды, хлорофилл a, растворенное органическое вещество, арктические моря России, северная Атлантика.

Концентрация хлорофилла *a* (Хл) - важнейший параметр, характеризующий биомассу фитопланктона и широко использующийся для расчета первичной продукции океанов и морей [1, 2]. Интенсивность флуоресценции хлорофилла зависит не только от концентрации, но также от целого ряда факторов, таких как видовой состав фитопланктона, физиологическое состояние клеток, возраст популяции и адаптация водорослей к внешним условиям - световому режиму и минеральному питанию [3]. Влияние этих факторов приводит к тому что, связь интенсивности флуоресценции с концентрацией Хл для различных длин волн возбуждения варьируется. Цель работы - использовать множественную линейную регрессию для повышения точности оценки концентрации Хл по спектрам флуоресценции, полученных при различных длинах волн возбуждения.

В серии рейсов Института океанологии РАН проводились измерения спектров флуоресценции проб морской воды с помощью двухканального лазерного спектрометра [4] с возбуждением в синей (405 нм) и зеленой (532 нм) областях спектра. Синий лазер позволяет получить информацию о спектре флуоресценции окрашенного растворенного органического вещества (ОРОВ) и Хл, зеленый - о Хл. Данные измерений приведены к абсолютным (рамановским) единицам. Сопутствующие прямые определения выполнены экстракционным методом [5] сотрудниками биологических отрядов.

Возбуждение флуоресценции каждой из используемых длин волн имеет свои преимущества [6], однако прямое сопоставление интенсивностей флуоресценции Хл с его концентрацией не всегда показывает высокие значения коэффициентов корреляции r. При возбуждении в зеленой области спектра связь для всего массива данных (648 проб) получается существенно лучше, чем в синей ($r = 0{,}86$ и $0{,}73$ соответственно, уровень значимости $p < 0{,}001$). Это связано с тем, что ОРОВ поглощает возбуждающее излучение в синем канале (405 нм), поэтому сигналы комбинационного рассеяния (471 нм) и Хл (685 нм) становятся слабее. С учетом сложной зависимости между концентрацией Хл и его флуоресценцией полученный результат можно считать приемлемым и использовать полученную общую формулу для экспресс оценки концентрации Хл. Однако анализ результатов показывает, что для массивов данных, полученных в отдельных рейсах, может наблюдаться ухудшение связи. Например, по данным измерений, выполненных в 72-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» (Карское море и море Лаптевых, 2018 г.) значение коэффициента корреляции составило 0,63 ($p < 0{,}001$). Возможно, это связано с тем, что в этом рейсе значительная часть станций выполнена в высоких широтах, отличающихся световым режимом (большая продолжительность светового дня).

Улучшить результат оценки концентрации хлорофилла *a* позволяет использование множественной линейной регрессии. В качестве входных данных использованы три величины, полученные в отличие от одномерной модели в двух каналах - интенсивность флуоресценции ОРОВ $I_{\mathrm{CDOM}}(405)$ и две интенсивности флуоресценции Хл $I_{\mathrm{Chl}}(405)$ и $I_{\mathrm{Chl}}(532)$. Использование $I_{\mathrm{CDOM}}(405)$ связано с необходимостью компенсации влияния поглощения желтого вещества на $I_{\mathrm{Chl}}(405)$, измеряемую в синем канале. Для каждого набора данных по отдельности множественная регрессия дает более хороший результат. К примеру, для «проблемного» 72-го рейса r существенно увеличивается с 0,63 до 0,88 ($p < 0{,}001$) при уменьшении среднеквадратичного отклонения с 0,36 до

0,21. Следует отметить улучшение параметров связи и при использовании общей формулы для каждого рейса по отдельности.

В результате предложена формула для оценки концентрации Хл (Chl) по данным флуоресцентных измерений в мезотрофных водах северных морей, в том числе для высокоширотных районов Арктики: $Chl = 0.65^* I_{\mathrm{Chl}}(405)\hat{}0.23^* I_{\mathrm{Chl}}(532)\hat{}0.59$. Показано, что точность оценки сравнима с экстракционными методами определения концентрации Хл: относительные ошибки 40-50% при использовании общей формулы и 20-35% при послерейсовой калибровке. Относительно низкая стоимость и простота обслуживания двухканального лазерного спектрометра позволит использовать его проточную версию для проведения попутных измерений [4]. При продолжении исследований нужно расширить районы работ, для получения данных в олиготрофных и эвтрофных водах.

Исследования выполнены в рамках государственного задания по теме № 0128-2021-0001, проекта РФФИ № 19-55-45024 и гранта Президента Российской Федерации МК-4561.2021.1.5. Гранты предоставлены через Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Авторы выражают благодарность Б.А. Гурееву и Ю.И. Венцкуту за помощь в подготовке приборов; А.В. Шатравину, П.Г. Каралли и В.О. Муравья за помощь в проведении флуоресцентных измерений; А.Б. Демидову, М.Д. Кравчишиной, А.В. Лифанчук и А.Н. Ступниковой за данные прямых определений концентрации Хл.

Список литературы

1) Копелевич О.В., Салинг И.В., Вазюля С.В. и др. Биооптические характеристики морей, омывающих берега западной половины России, по данным спутниковых сканеров цвета 1998-2017 гг. // Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН. Ответственный редактор д.ф.-м.н. О.В. Копелевич. - Москва, 2018. 140 с. https://optics.ocean.ru/Atlas_2019/8_Monography_2018.pdf

2) Antoine D., André J.M., Morel A. Oceanic primary production: 2. Estimation at global scale from satellite (coastal zone color scanner) chlorophyll // Global biogeochemical cycles. 1996. Vol.10(1). P. 57-69

3) Карабашев Г.С. Флюоресценция в океане. - Л.: Гидрометеоиздат, 1987. 200 с.

4) Гольдин Ю.А., Глуховец Д.И., Гуреев Б.А., Григорьев А.В., Артемьев В.А. Судовой проточный комплекс для измерения биооптических и гидрологических характеристик морской воды // Океанология. 2020. Т. 60. № 5. С. 814–822

5) Holm-Hansen O, Riemann B. Chlorophyll a determination: improvements in methodology // Oikos. 1978. Vol. 30(3). P. 438-447

6) Глуховец Д.И., Гольдин Ю.А. Исследование флуоресценции хлорофилла «а» культур фитопланктона при различных длинах волн возбуждения // Процессы в геосредах. Т. 17. № 3. 2018. С. 60-61

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ СПУТНИКОВ SENTINEL-2 И LANDSAT-8 ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ВЗВЕСИ, ХЛОРОФИЛЛА И ПЕРВИЧНЫХ ГИДРООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБСКОЙ ГУБЫ

Кириллов В.В. [1,2], **Ловцкая О.В.** [1], **Хворова Л.А.** [2], **Ковалевская Н.М.** [1], **Ефанов А.В** [2]

[1] *Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул*

[2] *Алтайский государственный университет, Барнаул*

leshaefanov@gmail.com

Ключевые слова: моделирование параметров качества воды, оптически сложные воды, спутниковый мониторинг, Sentinel-2 MSI, Landsat-8 OLI, Обская губа.

Многоспектральная информация, поставляемая спутниками Sentinel-2/MSI и Landsat-8/OLI, имеет достаточно высокое пространственное и радиометрическое разрешение для обнаружения деталей изменения качества воды в прибрежных морских водах. Этот потенциал является особенно важным для изучения динамики изменения качества воды в Обской губе Карского моря, где:

- идет обустройство причальных сооружений Салмановского (Утреннего) терминала сжиженного природного газа, расположенного в акватории Обской губы в непосредственной близости от порта Сабетта.
- на объекте «Морской канал» (Судоходный канал в Обской губе) начались дноуглубительные работы. На 11 августа 2020 г. уже изъяли более 1 млн кубометров донного грунта. Работы выполняются в два этапа и завершатся в 2022 году. Согласно проекту, с территории морского канала будет изъято около 60 млн кубометров донных отложений и переброшено на другой участок губы.

Для изучения возможностей данных, получаемых со спутников Sentinel-2 и Landsat-8, по сравнению с данными сенсора MERIS/ENVISAT [1], мы использовали специальный подход для обработки данных типа case-2 [2], первоначально разработанный в рамках проекта CoastColour (www.coastcolour.org). Это подход интегрирует большую базу данных моделей радиационного переноса, полученную на основе нейросетевых (НС) технологий [3]. Он получил первоначальное название «региональный процессор» и был переименован в C2RCC (Case-2 Regional CoastColor). Для сенсоров Sentinel-2/MSI и Landsat-8/OLI, в частности, был разработан дополнительный процессор C2X (Case-2 Extremel Cases), учитывающий чрезвычайно сложные условия (крайне мутные воды, очень прозрачные воды и т.д.). Оба процессора доступны через открытую программную среду ESA SNAP (Sentinel Application Platform), разработанную Brockmann Consult, Array Systems Computing и CS Systemes d'Information [4].

В основе подхода - использование:

- модели Hydrolight [5] с компонентами, описывающими рассеяние взвешенного вещества и поглощение пигментами фитопланктона, детритом и желтым веществом. Эти компоненты моделируют большое разнообразие оптических свойств природных вод и определяются на длине волны 443 нм.
- базы данных NOMAD (https://seabass.gsfc.nasa.gov/wiki/NOMAD), дополненной набором данных CoastColour [6]. Диапазоны значений концентраций хлорофилла и взвешенного вещества также были определены из базы данных NOMAD. Обученные с этими диапазонами НС используются по умолчанию в версиях SNAP C2RCC и SNAP C2X.

Таким образом, для тестовых участков Обской губы были получены концентрации хлорофилла *(мг/м^3)* и взвешенного вещества *(г/м^3)*, первые оптические глубины (*м*), а также первичные гидрооптические характеристики:

Показатель поглощения пигментами фитопланктона (*м$^{-1}$*)

Показатель поглощения детритом (*м$^{-1}$*)

Показатель поглощение желтым веществом (*м$^{-1}$*)

Показатель обратного рассеяния вв (*м$^{-1}$*)

Показатель поглощения детритом и желтым веществом (*м$^{-1}$*)

Показатель поглощения пигментами фитопланктона, детритом и желтым веществом (*м$^{-1}$*).

Предыдущие исследования продемонстрировали оптическую сложность заливов Карского моря [1] и необходимость использовать многоспектральные данные высокого разрешения. Полученные характеристики позволяют провести анализ изменения качества поверхностных вод с 2013 года и более детально исследовать:

- природные свойства, в частности, существующие значительные многолетние амплитуды основного системообразующего фактора Обской губы - водного стока Оби;
- антропогенное влияние, в том числе, влияние реконструкции «Морского канала» и объем извлеченного донного грунта.

Работа выполнена в рамках Госзадания Института водных и экологических проблем Сибирского отделения РАН при финансовой поддержке Некоммерческого Партнерства «Российский Центр освоения Арктики» (г. Салехард).

Список литературы

1) Кириллов В.В., Ковалевская Н.М., Павлов В.Е., Котовщиков А.В., Семчуков А.Н., Печкин А.С., Скороспехова Т.В., Хворова Л.А., Колисниченко Н.А., Мышляков С.Г., Скачкова А.С. Исследование динамики параметров качества воды в заливах Карского моря и прилежащем Карском шельфе на основе архивной и оперативной спутниковой информации // Вычислительные технологии. 2018. Т.23. № 4. С.65-82.

2) Ковалевская Н.М., Кириллов В.В., Кириллова Т.В., Ловцкая О.В. Сравнительные оценки качества воды в Новосибирском водохранилище на основе лимнологических MERIS-моделей и данных высокого разрешения Worldview-2 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т.9. № 1. С.176-186.

3) Doerffer R., Schiller H. The MERIS Case 2 water algorithm // International Journal of Remote Sensing. 2007. 28(3). P.517–535.

4) Zuhlke M. et al. SNAP (sentinel application platform) and the ESA sentinel 3 toolbox // Sentinel-3 for Science Workshop. 2015. P. 734

5) Mobley C., Sundman L.K. HydroLight 5.2, Ecolight 5.2, Technical Documentation // Technical Report. Sequoia Science Inc. - Bellevue, WA. USA, 2013.

6) Brockmann C. et al. Evolution of the C2 RCC neural network for Sentinel 2 and 3 for the retrieval of ocean colour products in normal and extreme optically complex waters// Living Planet Symposium, Proceedings of the conference held 9-13 May 2016 in Prague, Czech Republic. Edited by L. Ouwehand. ESA-SP Volume 740, ISBN: 978-92-9221-305-3, p.54

ДИНАМИКА БИОМАССЫ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТУНЦА В ТРОПИЧЕСКОЙ АТЛАНТИКЕ В СВЯЗИ С ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ

Казаков А. С.[1], **Чернышков П. П.**[2,3]

[1] *Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва*

[2] *Балтийский Федеральный Университет имени И. Канта, г. Калининград*

[3] *Атлантический филиал Всероссийского Научно-Исследовательского Института Рыбного Хозяйства и Океанографии, г. Калининград*

anduke29@gmail.com

Ключевые слова: тропическая Атлантика, тунцы, промысловая океанология.

Динамика биомассы объектов рыбного хозяйства обыкновенно изучается по данным выловов, а ее оценка и прогноз состояния запасов - по когортным и продукционным моделям. Существует мало работ, посвященных исследованию взаимосвязи состояния популяций тунцов с океанологическими параметрами. Одна из них - статья сотрудников Китайской академии рыбных наук [1]. Нами проведено исследование физических свойств воды и их влияние на биомассу тунца с целью выявления закономерностей изменения и взаимосвязей параметров для составления прогноза состояния промысловой базы тунцов в тропической Атлантике.

Основной источник информации для работы - данные реанализа GLORYS12V1 по температуре, солености воды и высоте поверхности. GLORYS12V1 составлен на основе спутникового зондирования и наблюдений *in situ* [2]. Он находится в свободном доступе на портале программы Copernicus Европейского Союза. Также изучены ежегодные отчеты международной Комиссии по сохранению атлантических тунцов [3] и использованы данные о выловах [4], предоставляемые информационным порталом данной Комиссии.

Были выделены наиболее значимые для жизнедеятельности трех основных промысловых видов тунцов (желтоперый, большеглазый, полосатый) участки акватории, в них рассмотрена динамика температуры, солености воды и положения ее уровня, а также построен многолетний ряд биомассы этих тунцов. Применены различные виды корреляционного анализа с последующей фильтрацией рядов. Установлены особенности влияния термических и динамических условий по спутниковым данным на распределение тунцов в Тропической Атлантике. Выявлены тенденции для всех рассматриваемых рядов.

Руководствуясь полученными результатами, можно предположить сценарии развития рыбного промысла, который Россия ведет в Атлантическом океане, на ближайшие годы.

Список литературы

1) Sheng Long Yang et al. Relationship between temporal–spatial distribution of fishing grounds of bigeye tuna (Thunnus obesus) and thermocline characteristics in the Atlantic Ocean // Acta Ecologica Sinica. 2015. Vol. 35(3). P. 1-9.

2) Fernandez E., Lellouche J.M. Product user manual. For the Global Ocean Physical Reanalysis product: GLOBAL_REANALYSIS_ PHY_001_030 // Issue 1.1. 2018. 15 p.

3) https://www.iccat.int/en/Meetings.asp - Stock assessment sessions on BET, ALB and SKJ in 1994-2019

4) https://www.iccat.int/en/accesingdb.html - Major species (10 tuna & tuna like species and 3 shark species)

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХЛОРОФИЛЛА «А» В МОРЯХ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕДИЦИИ НИС «ПРОФЕССОР ЛЕВАНИДОВ» 2019 ГОДА

Кивва К.К.[1], **Воробьёва О.В.**[1,2], **Орлова С.Ю.**[1], **Кодрян К.В.**[1], **Педченко А.П.**[1,3]

[1] *Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», г. Москва*

[2] *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», биологический факультет, г. Москва*

[3] *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург*

kirill.kivva@gmail.com

Ключевые слова: хлорофилл, феофитин, Карское море, Чукотское море, Восточно-Сибирское море, море Лаптевых.

Фитопланктон является основным продуцентом органического вещества и важным звеном в трофических цепях сообществ Мирового океана. В его пигментном составе выделяют хлорофиллы «a», «b», «c», каротиноиды и фикобилины. Основную роль в фотосинтезе играет хлорофилл «a», так как другие пигменты лишь передают поглощенную ими энергию хлорофиллу «a». Концентрация хлорофилла «a» позволяет оценить биомассу и продукционные характеристики фитопланктона, а также рассчитать величины первичной продукции. Один из подходов к решению этой задачи предполагает использование моделей первичной продукции (ПП) и спутниковых данных содержания хлорофилла в качестве входящих в эти модели параметров. Модели ПП, созданные на базе данных для всего Мирового океана, могут давать искажённые значения при их использовании в региональном масштабе [1]. Для повышения точности оценок используют натурные данные по продукционным параметрам фитопланктона из разных морей и районов. При этом важно исследовать не только концентрацию хлорофилла в поверхностном слое, но и его вертикальное распределение, поскольку подповерхностный хлорофильный максимум (ПХМ) может вносить значимый вклад в интегральную ПП [2, 3]. Например, известно, что в Карском море в осенний период ПХМ выражен слабо, а его вклад в ПП может составлять от 1 до 27% [4]. Летом вклад первичной продукции, создаваемой в ПХМ наибольший. Так, в юго-западной части моря он составляет в среднем 53% [5]. В море Лаптевых в осенний период основной вклад в ПП вносит поверхностный слой, а доля ПП в ПХМ составляет от 8 до 56 % [2].

В ходе трансарктического перехода НИС «Профессор Леванидов» из Владивостока в Мурманск в августе-октябре 2019 г. были выполнены океанографические, планктонные и тралово-акустические исследования в морях Чукотском, Восточно-Сибирском, Лаптевых и Карском. В рамках биогидрохимического блока работ определяли концентрацию растворённого кислорода, минеральных форм основных биогенных элементов, растворённого органического углерода, хлорофилла «a» и феофитина [6]. Пробы на хлорофилл «a» взяли на 25 станциях во всех исследованных морях, по 4 горизонта на каждой станции. Горизонты отбора проб назначали с учётом особенностей вертикального распределения температуры, солёности и плотности. На большинстве станций пробы взяты на поверхности, в верхней, средней, и нижней частях пикноклина.

В Чукотском море максимум хлорофилла на большинстве станций располагался на горизонтах 11-27 м и составлял 0,70-1,94, в среднем 1,1 мкг/л. В Восточно-Сибирском море максимальная концентрация хлорофилла наблюдалась на горизонтах 7-30 м и варьировала в диапазоне 0,44-2,12 (среднее 1,1, медиана 0,6) мкг/л. В море Лаптевых максимальная концентрация на разных станциях составила 0,70-0,88 мкг/л, максимум на всех станциях располагался в слое скачка плотности на горизонтах 21-30 м. В Карском море максимум хлорофилла был приурочен к поверхностному

горизонту, или располагался в верхнем 10-метровом слое. Максимальные значения колебались в интервале от 0,55 до 3,44 мкг/л, составляя в среднем 1,92 мкг/л.
Исследования показали, что в летне-осенний период 2019 года в арктических морях России ПХМ наблюдался не на всех исследованных станциях. В случае наличия ПХМ он располагался в слое скачка плотности, обычно ниже горизонта максимального градиента плотности.

Список литературы

1) Демидов А.Б. Интегрированная и разрешающая по глубине модели первичной продукции Карского моря/ А.Б. Демидов, С.А. Мошаров, В.А. Артемьев [и др.] // Океанология. – 2016. – Т. 56. – № 4. – С. 563–576.
2) Демидов А.Б. Вертикальная изменчивость первичной продукции и характеристики подповерхностного хлорофильного максимума в море Лаптевых в августе–сентябре 2015, 2017 и 2018 гг. / А.Б. Демидов, В.И. Гагарин, В.А. Артемьев [и др.] // Океанология. – 2020. – Т. 60. – № 2. – С. 216-232.
3) Ardyna M. Parameterization of vertical chlorophyll a in the Arctic Ocean: impact of the subsurface chlorophyll maximum on regional, seasonal, and annual primary production estimates / M. Ardyna, M. Babin, M. Gosselin [et al.] // Biogeosciences. – 2013. – Vol. 10. – № 6. – P. 4383-4404.
4) Demidov A.B., Mosharov S.A., Makkaveev P.N. Patterns of the Kara Sea primary production in autumn: Biotic and abiotic forcing of subsurface layer / A.B. Demidov, S.A. Mosharov, P.N. Makkaveev // Journal of Marine Systems. – 2014. – Vol. 132. – P. 130–149.
5) Demidov A.B. Spatial and vertical variability of primary production in the Kara Sea in July and August 2016: the influence of the river plume and subsurface chlorophyll maxima / A.B. Demidov, V.I. Gagarin, O.V. Vorobieva [et al.] // Polar Biology. – 2018. – Vol. 41. – № 3. – P. 563-578.
6) Педченко А.П. Трансарктический рейс НИС «Профессор Леванидов»: особенности океанографических условий арктических морей в августе-сентябре 2019 г. / А.П. Педченко, В.Л. Зубаревич, К.В. Кодрян [и др.] // Сб. докладов «Труды III Всероссийской конференции “Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития”» – СПб.: ХИМИЗДАТ. – 2019. – С. 692-696.

ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ОСЕДАНИЯ ЧАСТИЦ В ЧЕРНОМ МОРЕ И ЕЁ СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ БУЕВ БИО-АРГО

Кубряков А.А., Станичный С.В.

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

arskubr@ya.ru

Ключевые слова: оседание частиц, скорость оседания, Био-Арго, кокколитофориды.

Развитие программы Био-Арго в Черном море позволило получить беспрецедентный ряд многолетних непрерывных биооптических измерений с высоким вертикальным разрешением (1 м) и достаточно хорошим временным разрешением (5 дней). В настоящей работе на основе измерений коэффициента обратного рассеяния *bbp* четырех буев био-Арго в Черном море за 2014-2019 гг. исследуется изменчивость вертикального распределения концентрации частиц в верхнем слое центральной части Черного моря. Важнейшее влияние на *bbp* в глубоководной части моря, вдали от берега, оказывает цветение кокколитофорид, способствующее сильному рассеянию света на покрывающих их кокколитах. Оседающие кокколиты являются важнейшим фактором, формирующим карбонатные донные отложения в Черном море [1].

В верхнем слое *bbp* имеет два сезонных пика: мощный пик в мае-июле на глубинах 0-30 метров, связан с летним цветением кокколитофорид; менее интенсивный пик *bbp* наблюдается во всей 0-50 метровом слое вод в зимний период связан, в первую очередь, с более слабым зимним цветением кокколитофорид [2]. На временных диаграммах вертикального распределения коэффициента обратного рассеяния видно, что сигнал *bbp*, наиболее сильный в верхнем слое, со времени проникает в более глубокие слои. Это происходит в результате оседания частиц и их вертикального перераспределения под влиянием динамических факторов. В работе предложен способ оценки скорости оседания частиц w на основе измерений Био-Арго, который позволил, впервые, определить сезонную изменчивость w на верхнем слое Черного моря.

При отсутствии потерь сигнала скорость вертикального смещения частиц была бы равна наклону изолиний концентрации в пространстве глубина-время. Данные Био-Арго с дискретностью 5 суток позволяют отследить скорости частиц в слое 0-150 м только в диапазоне 0.2-30 м/сут. Мы в нашей работе будем ограничиваться величинами 0.2-5 м/сут. Однако, частицы в морской среде не является пассивными трассерами и подвержены влиянию биохимических процессов, например, растворения, или выедания. Кроме того, часть частиц может выводится из верхнего слоя очень быстро с вертикальными скоростями 50-300 м/сут в результате их агрегации и выпадения в виде морского снега. Такие быстрые процессы не возможно отследить по измерениям Био-Арго. В результате действия этих процессов общий сигнал *bbp* значительно уменьшается с глубиной.

Для оценки количества частиц которые быстро выводиться из верхнего 150 м слоя было рассчитано отношение средней концентрации *bbp* на каждом горизонте к её значению на поверхности. В летний период частицы достаточно быстро выводятся из верхнего слоя. Оседание частиц хорошо просматривается от поверхности до слоя 40-50 м. Но зимой значения *bbp* можно проследить от верхнего перемешанного слоя до значительно больших глубин 120-150 м. В частности, на глубине 50 м *bbp* составляет 50% от поверхностного сигнала зимой и только 30% летом, на глубине 60 м - 40% и 20%, соответственно. Одной из причин такого быстрого выведения частиц в летний период может являться интенсивная агрегация кокколит в результате выброса большого количества органического вещества и TEP (transparent exopolymer particles), вызванного вирусным лизисом, во время их летнего цветения [2].

Для того чтобы убрать эффект, связанный с быстрым оседанием/растворением частиц рассчитывалось отношение *bbp* к её среднему по времени значению на той же глубине. Рассчитанная

таким образом величина - *bbpa* позволяет проследить опускание высоких аномалий *bbp* (концентраций частиц) и оценить их вертикальные скорости. Далее на основе наклона контурных линий *bbpa* определялась скорость оседания частиц с разрешением по глубине 3 м и по времени 10 дней. Рассчитанные таким образом скорости колеблются от 0.2 до 2 м/сут. В среднем они равен 0.5 м/сут и имеют значительную сезонную изменчивость. Наибольшие скорости (1-1.2 м/сут) наблюдаются в поверхностных слоях в октябре-декабре и частично связаны с заглублением ВКС [3]. Наименьшие скорости наблюдаются с февраля по август на границе субкислородной зоны в слое 80-120 м. Здесь частицы оседают на 40 м за более 6 месяцев и их скорость оседания составляет всего 0.2-0.4 м/сут. Значительное уменьшение скорости оседания на границе аэробной зоны вероятно связано с коагуляцией легких взвешенных веществ, имеющими нейтральную плавучесть на этих глубинах (например, частиц оксида марганца или нитчатых бактерии) на кокколитах.

В летнее период скорость оседания низка в верхних слоях 0-30 м со значениями 0.2-0.4 м/с в 10-60 м слое. При этом заглубление сигнала совпадает с заглублением изопикны 1014 кг/м^3.Вероятно, опускание частиц в этом случае связано с физическими процессами заглубления слоя нейтральной плавучести частиц при прогреве верхних слоев и уменьшении их плотности. Ниже глубины 60 м летом w составляет около 0.5-0.6 м/сут.

Используемый метод позволил, впервые, оценить сезонную изменчивость и вертикальное распределение скорости оседания частиц в диапазоне 0.2-5 м/с.

Исследование скорости оседания частиц выполнено при поддержке гранта РНФ 19-77-00029, исследование динамики цветения кокколитофорид выполнено при поддержке гранта РФФИ 20-35-70034

Список литературы

1) Hay B.J. et al. Interannual variability in particle flux in the southwestern Black Sea // Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers. 1990. Vol. 37(6). P. 911-928

2) Kubryakov A.A., Mikaelyan A.S., Stanichny S.V. Summer and winter coccolithophore blooms in the Black Sea and their impact on production of dissolved organic matter from Bio-Argo data // Journal of Marine Systems. 2019. Vol. 199. P. 103220

3) Кубряков А. А. и др. Изменчивость толщины перемешанного слоя в Черном море и ее связь с динамикой вод и атмосферным воздействием //Морской гидрофизический журнал. 2019. Т. 35. №. 5 (209). С. 449-468

ЗИМНИЕ ЦВЕТЕНИЯ КОККОЛИТОФОРИД В ЧЕРНОМ МОРЕ: МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ И ФАКТОРЫ ЕЕ ВЫЗЫВАЮЩИЕ

Кубрякова Е.А., Кубряков А.А., Микаэлян А.С.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

elena_kubryakova@mail.ru

Ключевые слова: зимнее цветение кокколитофорид, Черное море, MODIS, фитопланктон.

Кокколитофориды являются одним из доминирующих типов фитопланктона в Черном море [1], существенно влияя на трофическую структуру и сезонную сукцессию видов в бассейне. Кокколитофориды образовывают известняковые пластинки - кокколиты, покрывающие клетку этих водорослей, которые после окончания «цветений» частично оседают на дно. Таким образом, эти водоросли играют важную роль в транспорте неорганического углерода из атмосферы в донные осадки, что приобретает особую значимость в связи с проблемой углекислотного загрязнения атмосферы.

В Черном море кокколитофориды представлены в основном массовым видом *Emiliania huxleyi*. Присутствие этой водоросли отмечалось как в районах шельфа, так и в открытых водах. Принято считать, что численность этого вида, достигшая $1*10^6$ клеток/л, соответствует уровню «цветения» [1]. При такой численности *E. huxleyi* значительно изменяются оптические свойства воды и спутниковый сканер регистрирует так называемую “белую воду” [2]. Сильное рассеяние света, вызываемое кокколитами, позволяет исследовать динамику «цветения» кокколитофорид по оптическим данным [3, 4]. Наиболее интенсивные "цветения" кокколитофорид наблюдаются в весенне-летний период. Спутниковые измерения широко используются для исследования пространственно-временной изменчивости летних «цветений» кокколитофорид [3]. В то же время в Черном море наблюдаются достаточно интенсивные «цветения» кокколитофорид и в зимний период, что отмечалось по данным натурных измерений [5].

До недавнего времени отсутствовали данные об ареале зимних «цветений», причины их возникновения и информация о факторах, влияющих на их интенсивность, поскольку большинство исследователей было сосредоточено на изучении летних «цветений» кокколитофорид [3]. В нашей работе, опубликованной в Journal of Marine Systems [6], мы предложили классификацию зимних «цветений» кокколитофорид по площади «цветения» и провели исследование межгодовой изменчивости зимних «цветений» кокколитофорид на основе ежедневных измерений спутникового оптического радиометра *MODIS-Aqua* с пространственным разрешением 1 км.

Анализ спутниковых данных за 2003-2017 гг. показал, что зимние «цветения» кокколитофорид наблюдаются в Черном море с ноября по февраль и характеризуются значительной межгодовой изменчивостью. Условно их можно разделить по площади «цветения» на интенсивные (масштабные), охватывающими большую часть моря (2004-2005 гг., 2005-2006 г., 2006-2007 гг., 2012-2013 гг.), и локальные «цветения», встречающиеся только в отдельных районах Черного моря (2003-2004 гг., 2007-2008 гг., 2010-2011 гг., 2011-2012 гг., 2013-2014 гг., 2014-2015 гг., 2015-2016 гг., 2016-2017 гг.), чаще всего в его южной части.

Результаты исследования выявили, что зимой «цветение» кокколитофорид обычно наблюдается в зоне штормового апвеллинга через 1-2 недели после действия штормов. В отдельные годы, например, в 2016-2017 гг., в течение одного сезона может наблюдаться несколько фаз усиления/ослабления «цветения» кокколитофорид, что связано с изменчивостью экстремальных атмосферных явлений. Кросс-шельфовый обмен питательными веществами может способствовать росту кокколитофорид в районе континентального склона.

Интенсивное зимнее «цветение» кокколитофорид наблюдается в годы с низкими осенними концентрациями хлорофилла «а», то есть в периоды ослабления типичного осенне-зимнего цветения

диатомовых водорослей. Наиболее сильная корреляция на годовых масштабах обнаружена между интенсивностью цветения и уменьшением завихренности ветра в осенне-зимний период. Мы предполагаем, что слабая завихренность ветра вызывает ослабление крупномасштабной циркуляции и интенсификацию кросс-шельфового обмена. Это может оказывать влияние на трофическую структуру Черного моря в летний период и может способствовать зимнему «цветению» кокколитофорид.

Сбор и обработка данных осуществлялись в рамках государственного задания № 0555-2021-0007 «Междисциплинарное численное моделирование и высокопроизводительные вычисления». Исследование вертикальной структуры цветения кокколитофорид выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ № 19-77-00029. Исследование пространственно-временной изменчивости зимнего цветения кокколитофорид выполнено при поддержке гранта РФФИ № 20-35-70034 (Кубрякова Е. А.). Исследование влияния штормов на возникновение цветения кокколитофорид выполнено в рамках гранта РНФ № 20-17-00167 (Микаэлян А. С.).

Список литературы

1) Mikaelyan, A.S., Silkin, V.A., Pautova, L.A., 2011. Coccolithophorids in the Black Sea: their interannual and long-term changes. Oceanology. 51(1), 39-48.

2) Balch, W.M., Holligan, P.M., Ackleson, S.G., & Voss, K.J., 1991. Biological and optical properties of mesoscale coccolithophore blooms in the Gulf of Maine. Limnology and Oceanography. 36(4), 629-643.

3) Cokacar, T., Oguz, T., & Kubilay, N., 2004. Satellite-detected early summer coccolithophore blooms and their interannual variability in the Black Sea. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers. 51(8), 1017-1031.

4) Kopelevich, O., Burenkov, V., Sheberstov, S., Vazyulya, S., Kravchishina, M., Pautova, L., ... & Grigoriev, A., 2014. Satellite monitoring of coccolithophore blooms in the Black Sea from ocean color data. Remote sensing of environment. 146, 113-123.

5) Стельмах Л.В., Сеничева М.И., Бабич И.И. Эколого-физиологические основы “цветения” воды, вызываемого Emiliania huxleyi в Севастопольской бухте // Экология моря. - 2009. - Т. 77. - С. 28-32.

6) Kubryakova E.A., Kubryakov A.A., Mikaelyan A.S., 2021. Winter coccolithophore blooms in the Black Sea: interannual variability and driving factors. Journal of Marine Systems. 213, 103461, https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2020.103461.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЧИСТОЙ ПРОДУКЦИИ ПЛАНКТОНА (СООБЩЕСТВА) В АТЛАНТИЧЕСКОМ ОКЕАНЕ И ЕЁ СВЯЗЬ С ФИЗИЧЕСКИМИ И БИОЛОГИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ СРЕДЫ

Кузьмина С.К., Лобанова П.В.

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

so.k.kuzmina@gmail.com

Ключевые слова: первичная продукция, чистая продукция планктона (сообщества), хлорофилл «a», взвешенный органический углерод, температура поверхности океана, Атлантический океан.

Исследование и моделирование чистой продукции планктона (сообщества) (ЧПС) является актуальной задачей современных исследований Мирового океана [1, 2]. Чистая продукция планктона (сообщества) (ЧПС) - это разница между валовым фотосинтезом и дыханием всего сообщества, включая автотрофные организмы (фитопланктон) и гетеротрофные (зоопланктон, бактерии и вирусы) [3]. Её оценка позволяет оценить биологическую продуктивность вод океана, а также охарактеризовать потоки углерода в системе океан-атмосфера. ЧПС зависит от влияющих на живые организмы факторов среды: температуры воды, фотосинтетически активной радиации (ФАР), доступности биогенных элементов (БЭ) и др. [2, 4]. Понимание связи между ЧПС и физическими и биологическими параметрами очень важно для разработки алгоритмов её восстановления, в том числе и с использованием спутниковых данных, позволяющих исследовать пространственно-временную изменчивость ЧПС на региональных и глобальных масштабах.

В работе рассмотрена связь между ЧПС и такими параметрами, как концентрация хлорофилла *a*, содержание взвешенного органического углерода (ВОУ) в морской воде, чистая первичная продукция фитопланктона (ЧПП), фотосинтетически активная радиация (ФАР), температура поверхностности океана (ТПО), соленость и глубина перемешанного слоя (ГПС) в семи биогеографических провинциях Атлантического океана: Атлантическая Арктическая провинция (ARCT), Североатлантический дрейф (NADR), Североатлантический субтропический круговорот (NAST) и южная субтропическая конвергенция (SSTC), Североатлантический тропический круговорот (NATR), Атлантическая западная тропическая провинция (WTRA) и Субтропический атлантический круговорот (SATL) [5]. Данные имеют разброс в 19 лет, с 1998 по 2017 год, и получены в период с мая по ноябрь. Данные по хлорофиллу *a* взяты из базы данных Climate Change Initiative Ocean Colour, версия 3.1 (http://rsg.pml.ac.uk/thr%C2%A0edds/catalog-cci.html). Данные по ТПО, ФАР, ВОУ взяты из базы данных NASA's OceanColor Web (https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/). Данные по ГПС и солёности взяты из базы данных Copernicus Marine Environment Monitoring Service (https://climate.copernicus.eu/). *In situ* данные ЧПС и ЧПП получены в рейсах Atlantic Meridian Transect и предоставлены Плимутской морской лабораторией (https://rsg.pml.ac.uk/).

Результаты исследования показали, что ЧПС максимально коррелирует с ЧПП ($r = 0{,}46$, $p < 0{,}01$) и ВОУ ($r = 0{,}40$, $p < 0{,}05$), в то время как она слабо связана с хлорофиллом *a* (0,25) и имеет слабую обратную связь с ТПО (-0,27). Это подтверждает исследования Teira et al, 2005 [2]. Между ЧПС и другими рассмотренными параметрами (ФАР, соленостью и ГПС) нет какой-либо значимой связи.

Анализ меридионально-временной изменчивости ЧПС и перечисленных параметров показал высокие значения ЧПС в высоких широтах и у экватора, низкие - в субтропических круговоротах, для которых характерны олиготрофные воды. Такая же тенденция характеризует и пространственную изменчивость хлорофилла *a*. Связь между изменчивостью ЧПС и ЧПП и ВОУ

может быть как прямой, так и обратной в зависимости от района. Например, в высоких широтах наблюдалась обратная связь ЧПС с ЧПП, а в низких - прямая. В южных полярных широтах наблюдается прямая связь ЧПС и ВОУ, а в северных полярных и умеренных - преобладает обратная. ФАР и ТПО коррелируют с ЧПС и ЧПП только в полярных широтах, где фитопланктон более чувствителен к изменению освещенности и температуры. Изменчивость солености и ГПС плохо связана с изменчивостью ЧПС и ЧПП. Анализ временной изменчивости ЧПС показал минимум в летний период (в связи с установившейся стратификацией и недоступностью БЭ); весенний и осенний максимумы в связи с доступностью БЭ благодаря вертикальному перемешиванию, а также в связи с более комфортными температурами.

Таким образом, в результате исследования показана значимая связь ЧПС с ЧПП и ВОУ, выявлена слабая связь ЧПС с ТПО и хлорофиллом *a*. Описана меридиональная изменчивость ЧПС, показывающая олиготрофность субтропических круговоротов и преобладающую эвтрофность вод экватора и высоких широт: ЧПС ниже в субтропических водах, выше - у экватора и в высоких широтах.

Список литературы

1) Serret, P., Robinson, C., Fernández, E., Teira, E., Tilstone, G., Pérez, V. Predicting plankton net community production in the Atlantic Ocean. //Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. – 2009. – Т. 56. – №15. – С. 941–953.
2) Teira E., Mourin B., Maran E., Pérez V., Pazó M. J., Serret P., Armas D., Escánez J., Woodward E. M. S., Fernández E. Variability of chlorophyll and primary production in the Eastern North Atlantic Subtropical Gyre: potential factors affecting phytoplankton activity //Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers. – 2005. – Т. 52. – №. 4. – С. 569-588.
3) Алимов, А.Ф. Введение в продукционную гидробиологию. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989. – 152 с.
4) Моисеев, П.А. Биологические ресурсы мирового океана. – М.: ВО «Агропромиздат», 1989. – 368 с.
5) Longhurst A. R. Ecological geography of the sea (2d ed). – Elsevier Academic Press, 2007. – 560 с.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ УДЕЛЬНОЙ СКОРОСТИ ФОТОСИНТЕЗА КАК ФУНКЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ И ХЛОРОФИЛЛА-А В АКВАТОРИЯХ С РАЗЛИЧНЫМИ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ НА ПРИМЕРЕ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА

Малышева А.С., Лобанова П.В.

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

st068388@student.spbu.ru

Ключевые слова: ассимиляционное число, первичная продукция, фотосинтез, Атлантический океан, моделирование, температура воды, хлорофилл-а.

Для оценки биологической продуктивности Мирового океана и представления о глобальном цикле углерода используют такой показатель, как первичная продукция - скорость синтеза органического вещества морским фитопланктоном в процессе фотосинтеза (ПП). Величина ПП зависит от факторов среды, влияющих на фотосинтез и рост морского фитопланктона, таких как температура воды, подводная освещенность, обеспеченность биогенными элементами. Эти факторы также используются для разработки алгоритмов восстановления ПП [1,2].

В моделях ПП важная роль отводится параметрам фотосинтетической кривой таким, как удельная максимальная скорость фотосинтеза, начальный угол и параметр фотоингибирования, характеризующим зависимость фотосинтеза от подводной освещённости. Точность их определения сказывается на результатах восстановления ПП [2,3].

В данном исследовании произведен анализ зависимости удельной максимальной скорости фотосинтеза (или ассимиляционного числа, АЧ) от температуры поверхности воды (ТПО) и концентрации хлорофилла-*a* (Хл-*a*), а также оценка точности восстановления АЧ, как функции ТПО и Хл-*a* в акваториях с различными океанологическими условиями, на примере Атлантического океана.

Данные АЧ [мг С (мг Хл)$^{-1}$ ч$^{-1}$], ТПО [°С] и Хл-*a* [мг м$^{-3}$], получены в октябре-ноябре 2019 г. в международной экспедиции Atlantic Meridional Transect (AMT-29) для поверхностного горизонта (5-14 м) на 20 станциях, расположенных между 49°с.ш. и 42°ю.ш. в 5-ти биогеографических провинциях. В ходе работы проанализированы диаграммы рассеяния и произведен корреляционный анализ. Также, был разработан региональный эмпирический алгоритм АЧ как функции ТПО и Хл-*a* и выполнена первичная валидация модели.

В поверхностном горизонте наблюдается сильная корреляционная связь между АЧ и ТПО (коэффициент корреляции равен 0.75 при p-уровне < 0.01): с увеличением ТПО увеличиваются значения АЧ. От экватора до северного тропика наблюдаются максимальные значения АЧ, тогда как в зоне южного субтропического круговорота (30-40°ю.ш.) они минимальны. Связь с Хл-*a* имеет отрицательный коэффициент корреляции (-0.61 при p-уровне < 0.1).

Поскольку связь АЧ с ТПО имеет высокую значимость, сначала были рассмотрены три различных алгоритма восстановления АЧ как функции температуры воды, представленных в [1,4,5]. Наиболее приближенными к измеренным в рамках AMT-29 величинам АЧ оказались модельные данные по линейному уравнению из [4]:

$$P^B{}_m = 0.118\,T + 1.25 \qquad (1)$$

где: $P^B{}_m$ - ассимиляционное число, T - температура воды.

Коэффициент корреляции составил 0.75 при p-уровне < 0.01, модельные значения минимально завышают *in situ* значения АЧ: систематическая ошибка равна 0.76, абсолютная процентная ошибка составляет 10%.

Также, в рамках данного исследования разработан региональный эмпирический алгоритм восстановления АЧ как функции ТПО и Хл-*a* в виде уравнения множественной линейной регрессии:

$$P^B{}_m = \text{-}1.71 + 0.22\,T + 0.43\,Chla \qquad (2)$$

где: $P^B{}_m$ - ассимиляционное число, T - температура воды, *Chla* - концентрация хлорофилла-*a*.

Коэффициенты уравнения были получены с помощью пакета Matlab R2019a. Данный алгоритм имеет хорошие показатели по восстановлению АЧ для поверхностного горизонта: коэффициент корреляции равен 0.75 при p-уровне < 0.01. Валидация модели проводилась по тем же станциям. Модельные значения имеют несильное отклонение от фактических: систематическая ошибка равна 0.005, средняя абсолютная ошибка равняется 0.95, абсолютная процентная ошибка составляет 44%.

Таким образом, в поверхностном горизонте лимитирующими факторами для ассимиляционного числа являются ТПО и концентрация Хл-*a*. В теплых (27-28°C), имеющих низкую концентрацию Хл-*a*, водах экватора и северо-атлантического субтропического круговорота наблюдаются высокие значения АЧ, в отличие от субтропической конвергенции. Восстановление АЧ по температурному алгоритму и по двум параметрам (температура, Хл-*a*) имеют значимую корреляцию с *in situ* данными.

Авторы выражают благодарность Плимутской морской лаборатории (г. Плимут, Великобритания), руководителю биооптического отряда АМТ-29 Гэвину Тильстону, а также участнице отряда Анакхе Мохан. Участие Лобановой П.В. в АМТ-29 проходило при поддержке гранта СПбГУ № 41128672.

Список литературы

1) Behrenfeld M., Falkowski P. Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration //Limnology and Oceanography. 1997. №1 (42). P. 1-20

2) Saux Picart S., Sathyendranath S., Dowell M., Moore T., Platt T. Remote sensing of assimilation number for marine phytoplankton //Remote sensing of environment. 2014. V. 146. P. 87-96

3) Bouman H., Platt T., Doblin M., Figueiras F., Gudmundsson K., Gudfinnsson H., Huang B., Hickman A., Hiscock M., Jackson T., Lutz V., Mélin F., Rey F., Pepin P., Segura V., Tilstone G., Van Dongen-Vogels V., Sathyendranath S. Photosynthesis-irradiance parameters of marine phytoplankton: Synthesis of a global data set //Earth System Science Data. 2018. №1 (10). P. 251-266

4) Megard R. O. Phytoplankton, photosynthesis, and phosphorus in Lake Minnetonka, Minnesota //Limnology and Oceanography. 1972. №. 1 (17). P. 68-87

5) Balch, W.M., Byrne, C.F. Factors affecting the estimate of primary production from space //Journal of Geophysical Research. 1994. V.99. P. 7555-7570

СРАВНЕНИЕ МОДЕЛЬНЫХ ОЦЕНОК ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ ПО СПУТНИКОВЫМ И СУДОВЫМ ДАННЫМ В ЯПОНСКОМ МОРЕ

Маховиков А.Д., Лобанова П.В.

Санкт-Петербургский Государственный Университет (СПбГУ), г. Санкт-Петербург

alexmakhovikov@gmail.com

Ключевые слова: первичная продукция, хлорофилл «а», спутниковые модели, Японское море.

Оценка величины первичной продукции (ПП) фитопланктона - первого звена трофической цепи, является неотъемлемым этапом оценки биопродуктивности вод Мирового океана, что в свою очередь очень важно для рыболовства и рыбного хозяйства [1]. ПП измеряется *in situ* или оценивается с помощью специальных моделей, которые используют функциональную зависимость скорости фотосинтеза от подводной освещённости и количество фитомассы, вовлечённой в этот процесс. Спутниковые наблюдения позволяют получить модельные оценки ПП, однако их недостатком является пространственное осреднение. В тоже время, важным преимуществом спутниковых оценок является возможность проведения долговременных серий наблюдений для изучения межсезонной или межгодовой изменчивости ПП на различных пространственных масштабах.

Цель данной работы - восстановить ПП фитопланктона с помощью модели по спутниковым и судовым данным и сделать вывод об их взаимной связи.

Для восстановления ПП использовалась модель, которая представляет собой функцию от суммарной концентрации хлорофилла «а» в эвфотическом слое [2]:

$PP_{eu} = 0.66 * chl_{tot} * {P^B}_{opt} * DL$

где PP_{eu} - дневная ПП в столбе воды, соответствующем глубине эвфотического слоя (мг С/м^2*день), chl_{tot} - суммарная концентрация хлорофилла «а» в этом слое (мг/м^2), ${P^B}_{opt}$ - удельная оптимальная скорость фотосинтеза (мг С/мг Хл*час), DL - продолжительность светового дня (час), коэффициент 0.66 представляет собой численный результат интегрирования световой функции модели (зависимости фотосинтез-свет) в пределах эвфотического слоя, помноженный на отношение длины эффективного фотопериода к длине светового дня.

Для восстановления ПП по судовым данным в работе использованы данные шести экспедиций, предоставленные Тихоокеанским океанологическим институтом Дальневосточного отделения Российской академии наук (ТОИ ДВО РАН): хлорофилл «а», температура воды, удельная оптимальная скорость фотосинтеза. Две экспедиции проведены в весенний сезон (март 2005 и май 2004) и четыре - в осенний сезон (октябрь 2000 и 2005, октябрь-ноябрь 2011 и ноябрь 2003). Величина удельной оптимальной скорости фотосинтеза использовалась как постоянная величина, для весенних экспедиций - 4.4 мг С/мг Хл* час, для осенних - 2.5 мг С/мг Хл* час. Для восстановления ПП по спутниковым данным использованы данные температуры поверхности океана (ТПО) и концентрации хлорофилла «а». Данные ТПО взяты из базы PODAAC (Physical Oceanography Distributed Archive Center) с временным разрешением 1 день и пространственным - 0.01x0.01 градуса. Данные хлорофилла «а» взяты из базы Climate Change Initiative Ocean Colour, версия 5.0. с пространственным разрешением 4x4 км и осреднением 1 день. Значение удельной оптимальной скорости фотосинтеза рассчитывалось по региональному алгоритму как функция ТПО [3]. Для расчёта суммарной концентрации хлорофилла «а» в эвфотическом слое (chl_{tot}) по спутниковым данным использовались алгоритмы из статьи [4] в зависимости от стратификации водных масс (стратифицированные, перемешанные). Для определения стратифицированности использовалось отношение глубины перемешанного слоя к эвфотической глубине. Глубина перемешанного слоя определялась по судовым данным вертикального распределения температуры воды, а глубина эвфотического слоя рассчитывалась по формулам, предложенным в статье [5].

Результаты восстановления ПП показали, что во время весенних и осенних экспедиций величины ПП были на высоком уровне, но весной выше, чем осенью, что хорошо согласуется с общими

представлениями о развитии фитопланктона в Японском море [3]. Спутниковые оценки ПП в среднем занижали судовые за исключением одного осеннего рейса (октябрь 2005), где величина ПП по спутниковым данным была выше. Поскольку ПП в модели является функцией от суммарной концентрации хлорофилла «а» в эвфотическом слое, был проведён корреляционный анализ связи его спутниковых и судовых оценок. Анализ показал, что в среднем по всем экспедициям между ними наблюдалась средняя значимая корреляция (r=0.56, p<0.05). Наибольший коэффициент корреляции (r=0.81, p<0.05) наблюдался для весеннего рейса (март 2005). Анализ величины удельной оптимальной скорости фотосинтеза как функции ТПО, используемой для восстановления ПП по спутниковым данным, показал более низкие его значения для весенних экспедиций (2.11 и 3.01 мг С/мг Хл* час) по сравнению со значением, используемым для восстановления ПП по судовым данным.

Таким образом, в работе показано, что модельные оценки ПП по судовым данным выше, чем оценки по спутниковым данных, что объясняется более низкими спутниковыми оценками как суммарной концентрации хлорофилла «а» в эвфотическом слое, так и удельной оптимальной скорости фотосинтеза как функции ТПО.

Авторы выражают благодарность сотрудникам ТОИ ДВО РАН д.б.н. Звалинскому В.И. и д.х.м. Тищенко П.Я. за предоставленные судовые данные в Японском море.

Список литературы

1) Моисеев П.А. Биологические ресурсы Мирового океана. Моногр. / П.А. Моисеев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1989. – 368 с.

2) Звалинский В.И. Хлорофилл, замедленная флуоресценция и первичная продукция в северо-западной части Японского моря осенью 2000 г. / В.И. Звалинский, В.Б. Лобанов, С.П. Захарков, П.Я. Тищенко // Океанология. – 2006. – Т.46. – №1. – С.27-37.

3) Joo H.T. Long Term pattern of primary productivity in the East/Japan sea based on ocean color data derived from MODIS-Aqua / S.H. Son, J.-W. Park, J.J. Kang, J.-Y. Jeong, C.I. Lee, C.K. Kang, S.H. Lee // Remote Sensing. – 2015. – Vol. 8 (25). – doi:10.3390/rs8010025

4) Uitz J. Vertical distribution of phytoplankton communities in open ocean: An assessment based on surface chlorophyll / J. Uitz, H. Claustre, A. Morel, S. B. Hooker // Journal of Geophysical Research: Oceans. – 2015. – Vol. 111. – Issue C8. – doi:10.1029/2005JC003207

5) Morel A. Bio-optical properties of oceanic waters: A reappraisal / A. Morel, S. Maritorena // Journal of Geophysical Research. – 2001. – Vol. 106. – Issue C4. – p. 7163–7180. – doi:10.1029/2000JC000319

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТОНКОЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ПОЛЯ БИОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В ЧЕРНОМ МОРЕ

Минский И.А.[1], **Серикова И.М.**[1], **Пионтковский С.А.**[2], **Евстигнеев В.П.**[2]

[1] *Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского, г. Севастополь*

[2] *Севастопольский государственный университет, г. Севастополь*

ivan.simfer@gmail.com

Ключевые слова: поле биолюминесценции, светящиеся динофлагелляты.

Одним из биофизических методов исследований в морской гидробиологии является метод регистрации поля биолюминесценции (ПБ) непрерывно движущимся в морской толще прибором. Созданные в ИнБЮМ приборные комплексы (в т.ч. приборный комлекс «Сальпа-М») предназначались для определения интенсивности биолюминесценции в режиме вертикального зондирования водной толщи в дрейфе судна с одновременным измерением температуры, электропроводности и гидростатического давления. Традиционно такие зондирования сопровождаются отбором планктонных проб. Поскольку ПБ в Черном море генерируется в большей степени светящимися динофитовыми водорослями, изучение его структуры дает представление о том, какие неоднородности и при каких гидрологических и метеорологических условиях образуют их скопления. Поскольку обработка планктонных проб является трудоемкой задачей и предусматривает наличие высококвалифицированных специалистов, для детального рассмотрения пространственной структуры сообщества, и в особенности на уровне микромасштабов, вполне подходит биофизический метод исследований. Так, изучение структуры ПБ в толще морской среды и ее изменчивости под влиянием тех или иных внешних факторов в достаточной степени позволяет делать заключения об изменениях в пространственной структуре фитопланктонного сообщества.

На стандартной станции (44 ° 38'N; 33 ° 27'E), расположенной в 2-х милях от берега напротив бухты Круглая г.Севастополь регистрировалась интенсивность биолюминесценции с помощью зондирующего комплекса «Сальпа-М» [1]. В результате обработки сигналов датчиков были получены профили интенсивности биолюминесценции, температуры, солености с дискретностью через каждый метр в диапазоне глубин от 0 до 60 м. Работы выполнялись в ночное время суток, соответствующее максимально возможной интенсивности ПБ. Одновременно отбирались пробы фитопланктона 5-и литровым батометром с приповерхностного горизонта. Зондирование производилось ежемесячно (за исключением отдельных пропусков) в период с января 2009 года по декабрь 2014.

Целью исследований было изучить сезонную динамику тонкой вертикальной структуры ПБ и выявить закономерности ее изменчивости.

Ранее было показано существование четырех типов вертикальной структуры ПБ, которые формировались в соответствии с сезонными изменениями термохалинной структуры, непосредственно связанные с временем года [2]. Однако количественно не оценивалась интенсификация тонкоструктурных неоднородностей ПБ в разные периоды.

Для оценки интенсивности тонкослойной стратификации планктонных скоплений был предложен параметр C_{VB}, - коэффициент вариабельности флуктуаций ПБ, т.е. нормированное на средний уровень среднеквадратическое отклонение высокочастотной составляющей профилей биолюминесценции [3]. В биологическом аспекте такой параметр показывает, на сколько процентов относительно среднего уровня колеблется концентрация светящегося планктона в чередующихся тонких слоях его скоплений и разрежений.

Показано, что интенсификация тонкой структуры ПБ происходит в осенние месяцы. Большей частью максимальные значения параметра C_{VB}, наблюдались в октябре и увеличивались относительно зимне-весенних месяцев в 2-3 раза.

Работа подготовлена по теме государственного задания ФИЦ ИнБЮМ РАН «Структурно-функциональная организация, продуктивность и устойчивость морских пелагических экосистем», № АААА-А-18-118020790229-7, а также гранта СевГУ (№ 42-01-09/90/2020-3).

Список литературы

1) Токарев Ю.Н., Василенко В.И., Жук В.Ф. Новый гидробиофизический комплекс для экспрессной оценки состояния прибрежных экосистем // Современные методы и средства океанологических исследований: Материалы XI Междунар. науч.-техн. конф., 25-27 нояб., 2009 г. Москва. М.: РАН. 2009. С. 23-27.

2) Serikova I. M., Briantseva Yu. V., Tokarev Yu. N., Stanichniy S. V., Suslin V. V., Vasilenko V. I. Response of Phytoplankton of the Sevastopol Coastal Zone to Climate Peculiarities of the Years 2009−2012 // Hydrob.J., 2016. V. 52(1). P. 39-48.

3) Irina M. Serikova, Yulia A. Zagorodnyaya and Vladyslav P. Evstigneev Variability of fine-scale vertical structure of bioluminescence in the north-eastern part of the Black Sea // Proceedings of SPIE : 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. 2020. Moscow, RF (12 November 2020) Vol.11560. Article 1156055 (7 p.). DOI: 10.1117/12.2575671

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СХОДА ЛЬДА НА СТРАТИФИКАЦИЮ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ В КАРСКОМ МОРЕ ПО ДАННЫМ, ПОЛУЧЕННЫМ В ЭКСПЕДИЦИЯХ 2019 И 2020 ГОДОВ НА НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ»

Муравья В.О., Артемьев В.А.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

Muravya.vo@ocean.ru

Ключевые слова: показатель ослабления света, стратификация, талые воды, прозрачномер, цветение, ледяной покров, Арктика.

Весенний период является наиболее интересным с точки зрения комплексного исследования полярных районов Мирового океана. На настоящий момент известно, что активное развитие фитопланктона начинается во время схода сезонного льда. В подледной толще формируются благоприятные условия питания, резкое возрастание количества поступающей фотосинтетически активной радиации (ФАР) и прогрев подповерхностного слоя за счет развития конвективной циркуляции приводит к весенней вспышке "цветения"фитопланктона. Подробнее этот процесс описан в [5]. Но в [4] также довольно подробно описан процесс активизации продуцирования под сплошным покровом льда задолго до его разрушения – за счет подледного "цветения"и развития представителей криофлоры. В результате этих процессов, в период схода льда, формируется тонкий приповерхностный слой активного развития биоты, который вследствие процессов усвоения биогенов и ростом ФАР, начинает опускаться глубже в толщу вод. Поэтому было интересно сравнить, что происходит спустя некоторое время, когда активные процессы переходят в более стабилизированное состояние.

Ранее, во время подобных исследований, при анализе данных использовались исключительно гидрологические и биологические параметры. В данной работе дополнительно приводится сравнение вышеперечисленных параметров со значениями показателя ослабления света, которые напрямую связаны с наличием в водной среде рассеивающей и поглощающей свет взвеси и растворенной органики [2]. Подобное исследование важно для понимания гидрофизических условий развития фитопланктона и региональных особенностей акватории.

Для проведения данного исследования были использованы данные, полученные в 76-ом и 81-ом рейсах НИС «Академик Мстислав Келдыш» в Карское море в 2019 и 2020 годах соответственно. При анализе использовались данные по показателю ослабления света и температуре, измеренные при помощи прозрачномера ПУМ-200 (разработка ЛОО ИО РАН) [3], солёности, полученной при вертикальном CTD-зондировании гидрологическим зондом SBE911plus и процентного содержания талой воды (MW%), рассчитанного по формуле [6]:

$$MW\% \ = 1 - \frac{S_{meas} - 6}{S_{deep} - 6} \ * 100$$

где S_{meas} – солёность, измеренная на поверхности, S_{deep} – солёность, измеренная на глубине, 6 – средняя солёность льда (для более точных измерений, в будущей работе планируется узнать солёность льда непосредственно рядом со станцией).

Методика расчёта процентного содержания талой воды для дальнейшего сравнительного анализа взята из работы [1], в которой данный показатель также использовался для улучшения понимания физической составляющей в биологических процессах, но для района Антарктического полуострова.

Для сравнения были взяты 6 станций на разрезе в желобе святой Анны (северная оконечность архипелага Новая Земля). Отличительной особенностью каждого года являлся разный сезон, при

этом станции были сделаны в одних и тех же координатах. Работы 76-ого рейса (2019 г.) застали весенние процессы в экосистеме Карского моря, связанные с периодом таяния льда, и процессы в прикромочной ледовой области, так как разрез проводился спустя всего 9 дней после схода льда. Работы в 81-ом рейсе (2020 г.) проходили в осенний период, когда после схода льда прошло уже достаточно много времени (38 дней).

По ходу работы было обнаружено несколько интересных наблюдений:

- чем выше процент содержания талой воды и ближе сход льда, тем выше значение показателя ослабления света, что возможно связано с повышенной биологической активностью в период весенней вспышки цветения;
- в момент схода льда резко возрастает количество поступающего света, который является катализатором скорости роста клеток фитопланктона. Так как лёд сходит неравномерно, ветровой перенос ледяных полей и световой режим оказываются неоднородными, это может служить причиной «пятнистости» распределений нефелоидных слоёв биогенной взвеси;
- по мере утилизации биогенов, процессы роста клеток замедляются, больше света начинает проникать в нижележащие горизонты, слой высокой концентрации клеток опускается ниже, как и граница 1% ФАР.

В дальнейшей работе планируется провести более точные расчёты, например, уточнить солёность морского льда, чтобы в приведённой формуле не использовать общепринятое среднее значение, а также найти объяснение полученным наблюдениям.

Список литературы

1) Ижицкий А. С. и др. Влияние таяния льда на структуру вод поверхностного слоя в бассейне Пауэлла, море Уэдделла, в летний сезон 2020 г. // Комплексные исследования Мирового океана. 2020. С. 75-76
2) Лисицын А.П., Шевченко В.П., Буренков В.И. Гидрооптика и взвесь арктических морей // Оптика атмосферы и океана. 2000. Т. 13. № 1. С. 71-79
3) Артемьев В.А., Таскаев В.Р., Буренков В.И., Григорьев А.В. Универсальный малогабаритный измеритель вертикального распределения показателя ослабления света. В кн. Комплексные исследования мирового океана. Проект «Меридиан». Часть 1. Атлантический океан. 2008. - М.: Наука, С. 165-172
4) Макаревич П. Р. Структура годового цикла пелагических альгоценозов прибрежной зоны Карского моря // Материалы научной конференции «Экосистема Карского моря – новые данные экспедиционных исследований». 2015. С. 98-105
5) Эдельштейн К. К. Лимнология: учеб. пособие для академического бакалавриата. 2018. - М.: Юрайт. 398 с.
6) Rivaro P. et al. Distribution of total alkalinity and pH in the Ross Sea (Antarctica) waters during austral summer 2008 // Polar Research. 2014. Vol. 33. No. 1. P. 20403

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХЛОРОФИЛЛА А, ОРГАНИКИ И ВЗВЕСИ В ВЕРХНЕМ СЛОЕ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ ПО ДАННЫМ ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО ЛИДАРА

Платова А.Г.[1], **Пелевин В.В.**[2]

[1]*Московский физико-технический институт(национальный исследовательский университет), г. Долгопрудный*

[2]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

platova.ag@phystech.edu

Ключевые слова: физика океана, флуоресцентный лидар, дистанционное зондирование, хлорофилл a, минеральная взвесь, ОРОВ.

Российский арктический шельф является весьма актуальным объектом для исследования, он сравнительно малоизучен и в нем в первую очередь проявляются эффекты, связанные с глобальным потеплением и изменением климата.

Данная работа посвящена исследованию полей пространственного распределения хлорофилла *a*, окрашенного растворенного органического вещества (ОРОВ) и минеральной взвеси в верхнем слое Арктических морей. Измерения были проведены в 82-ом рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 2020 году с помощью таких приборов для морского дистанционного зондирования, как ультрафиолетовый флуоресцентный лидар и 3-канальный судовой спектрофотометр, а также спутниковых сканеров цвета моря Sentinel 2 и 3. Работы проводились в непрерывном режиме на ходу судна в Баренцевом, Карском, Лаптевых и Восточно-Сибирском морях.

Активное лазерное зондирование и пассивная спектрофотометрия являются оперативными и высокопроизводительными средствами мониторинга. Так, флуоресцентный лидар позволяет вести измерения в любое время суток при любых погодных условиях и при качественной верификации на пробах воды, проанализированных в лаборатории, позволяет получать данные с высокой частотой и приемлемой точностью. Полная относительная погрешность измерений концентраций хлорофилла, ОРОВ и общей взвеси флуоресцентным лидаром УФЛ-9 составляет не более 16%. Бортовой спектрофотометр предназначен для определения коэффициента спектральной яркости моря и позволяет разработать алгоритмы определения вышеназванных параметров на основе измерения цвета поверхности моря, а также соотнести эти измерения со спутниковыми.

При обработке собранного массива натурных измерений в первую очередь была проведена верификация лидарных данных по данным лабораторного анализа проб воды из верхнего слоя моря. В ходе работы были построены карты пространственного распределения вышеуказанных параметров, а также проведены оценки масштабов пространственных неоднородностей вблизи устьев сибирских рек и в зонах предполагаемой береговой эрозии. Было установлено, что масштабы пространственной изменчивости варьировали от первых десятков метров до километров, демонстрируя высокую изменчивость пятнистости в зависимости от района исследований и внешних факторов.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и образования России (тема № 0149-2019-0003).

СЕЗОННЫЙ ХОД ФАКТОРОВ ФОРМЫ СПЕКТРАЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ЯРКОСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ В УСЛОВИЯХ ЦВЕТЕНИЯ КОККОЛИТОФОРИД

Райкина А.О., Корчёмкина Е.Н.

ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН», г. Севастополь

kimo2021@mail.ru

Ключевые слова: коэффициент яркости моря, Черное море, кокколитофориды, селективность рассеяния, индексы цвета.

В данной работе на основе спутниковых данных MODIS-Aqua/Terra Level 1 и 2 исследуется изменчивость спектрального коэффициента яркости моря в период массового развития кокколитофорид в мае-июне 2012 и 2017 гг. Кокколитофориды обладают сильным светорассеянием, что дает возможность отделить область цветения на картах пространственного распределения спектрального коэффициента яркости [1]. Также известно, что спектральный наклон обратного рассеяния смесью кокколитов и клеток кокколитофорид равен 0,8 [2]. Вследствие низкой спектральной селективности рассеяния может изменяться форма спектра коэффициента яркости, так как взвесь сброшенных кокколитов в воде дает повышенный относительный вклад в яркость в длинноволновой области. Для сравнения были взяты значения коэффициента яркости (Level 2) на длине волны с минимальным вкладом кокколитов (667 нм) и, наоборот, значения, в которых вклад кокколитов будет выражен интенсивнее, чем вклад веществ органического происхождения (555 нм). Таким образом, рассматривая отношение значения коэффициента яркости R_{rs} на длине волны 555 нм к его минимальному значению (на длине волны 667 нм), можно охарактеризовать интенсивность цветения в области.

Возрастание восходящей яркости при наблюдении цветения часто оказывалось настолько сильным, что автоматические программы обработки спутниковых данных распознавали район цветения как облачность. Вследствие этого значительная часть данных не попадала в массивы Level 2.

Величины коэффициента яркости Rrs во время цветения оказались завышенными в ~ 5 раз по сравнению с характерными значениями для данных районов и периода времени [3].

Для весенне-летних периодов 2012 и 2017 гг. были выделены области с максимальной и минимальной восходящей яркостью на 555 нм.

Получены характерные величины $R_{rs}(555)$ в период цветения: от 0,01 до 0,03 в областях с максимальными значениями коэффициента яркости, от 0,003 до 0,01 - с минимальными значениями коэффициента яркости.

Для данных областей были рассчитаны величины $R_{rs}(667)/R_{rs}(555)$ и построены зависимости $R_{rs}(555)$ от $R_{rs}(667)$.

В 2012 г. среднее значение спектрального отношения составило: для областей с максимальной восходящей яркостью на 555 нм $0{,}113 \pm 0{,}004$, для областей с минимальной восходящей яркостью на 555 нм $0{,}102 \pm 0{,}009$.

В 2017 г. среднее значение спектрального отношения составило: для областей с максимальной восходящей яркостью на 555 нм $0{,}125 \pm 0{,}018$, для областей с минимальной восходящей яркостью на 555 нм $0{,}116 \pm 0{,}005$.

Видно, что вследствие автоматического отбора данных при использовании Level 2 влияние цветения кокколитофорид на спектральные отношения является слабым.

Проведенный анализ спутниковых данных позволил отследить области массового развития кокколитофорид и их перемещение в весенне-летний период.

С середины мая 2012 г. повышенные значения R_{rs} во всем оптическом диапазоне наблюдались в восточной и южной частях моря. В конце мая - середине июня 2012 г. цветение уже охватывало

практически всю центральную часть моря. К концу июня - началу июля 2012 г. высокие значения R_{rs} наблюдались в центре восточного циклонического круговорота и отсутствовали в районе шельфа.

В середине мая 2017 г. цветение было зафиксировано вблизи побережий в южной и западной части моря. В июне 2017 г. высокие значения R_{rs} также зафиксированы вблизи побережий и в глубоководных южной и западной частях Черного моря.

Использование данных Level 1 позволяет дополнить существующие массивы, исключив вручную влияние облачности. Было показано, что контрасты в величинах исследуемого спектрального отношения для Level 1 проявляются более отчетливо.

Проделанная работа делает подход к более точному определению площадей и интенсивности цветения кокколитофорид.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания 0555-2021-0003 «Оперативная океанология».

Список литературы

1) Копелевич О.В., Костяной А.Г. Использование биооптических параметров океана, определяемых по спутниковым данным, в качестве основных климатических переменных // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2018. – Т. 3. – С. 8-29.

2) Balch W.M., Holligan P.M., Ackleson S.G. Biological and optical properties of mesoscale coccolithophore blooms in the Gulf of Maine // Limnol. Oceanogr. – 1991 – 36, № 4 – P. 629 – 643

3) Биооптические характеристики морей, омывающих берега западной половины России, по данным спутниковых сканеров цвета 1998-2017 гг. / Копелевич О.В. и др. – Москва: ООО «Ваш формат», 2018. – 140 с.

СВЯЗЬ ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА ВЗВЕШЕННЫМИ ЧАСТИЦАМИ С КОНЦЕНТРАЦИЕЙ ХЛОРОФИЛЛА В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ И АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ

Юшманова А.В.[1,2], **Глуховец Д.И.**[1,2]

[1]*Институт океанологии РАН им. П.П. Ширшова, г. Москва*

[2]*Московский физико-технический институт (национальный исследовательский институт), Московская область, г. Долгопрудный*

yushmanova@phystech.edu

Ключевые слова: поглощение света, хлорофилл a, Баренцево море, Карское море, море Лаптевых.

Поглощение света морской водой в значительной степени определяет распространение светового излучения в водной среде. Поглощающие свойства морской воды зависят от содержания окрашенного растворенного органического вещества (ОРОВ), пигментов фитопланктона и взвешенных частиц. Использование спектрофотометра с интегрирующей сферой ICAM (Integrating Cavity Absorption Meter) [1] позволяет получить данные для оценки концентрации пигментов фитопланктона, в частности рассматриваемого в данной работе хлорофилла *a* (Хл).

Использованная методика определения спектров поглощения света морской воды включает в себя измерения сигналов проб морской воды, чистой воды, фильтрата (через фильтры 0,45 мкм) и пустой сферы [2]. В работе анализировались данные трех арктических экспедиций, выполненных в июле-сентябре 2017-2018 гг. в Северной Атлантике, Баренцевом и Карском морях, а также в море Лаптевых на НИС «Академик Мстислав Келдыш» (68-й, 71-й и 72-й рейсы). Отбор проб проводился с горизонтов 0-90 м, с увеличением числа проб в области максимума интенсивности флуоресценции Хл (над, под и в самом максимуме). Для устранения влияния поглощения терригенных компонент взвеси измеренные спектры поглощения взвешенных частиц аппроксимировались экспонентой в области 470-600 нм и экстраполировались до 700 нм. Затем рассчитывалась площадь длинноволнового пика поглощения Хл (S_chl) и его амплитуда (a_p_max) с учетом подставки, обусловленной влиянием терригенной компоненты. Результаты прямых определений концентрации Хл получены экстракционным методом [3].

68-й и 71-й рейсы проходили в Северной Атлантике и Баренцевом море. Получено уравнение регрессии для данных 68-го рейса между площадью поглощения Хл и его концентрацией: chl=0,5*S_chl, количество пар данных N=*125,* коэффициент корреляции R=0,64, относительная ошибка RE = 59%. Для 71-го рейса: chl = 1,23*S_chl, N =134, R=0,85, RE=55%. Уравнение регрессии для 68-го рейса между a_p_max и Хл.: chl=0,013* a_p_max, количество пар данных N=*125,* коэффициент корреляции R=0,69, относительная ошибка RE=44%. Для 71-го рейса: chl=0,033* a_p_max, N=134, R=0,92, RE=35%. Невысокая корреляционная связь может быть связана с эффектом упаковки, при котором увеличение концентрации пигментов сопровождается уменьшением эффективности поглощения света [5], а также с ошибками прямых определений концентрации Хл, достигающих 30% [3]. Показана сильная связь между S_chl и a_p_max (R = 0,86 и 0,94 для 2017 и 2018 гг., соответственно).

Карское море и море Лаптевых характеризуются значительным влиянием речного стока, несущим большое количество окрашенного растворенного органического вещества и терригенных частиц. Было замечено, что в данных морях по результатам измерений, выполненных летом 2018 г., связь характеристик поглощения с концентрацией Хл получилась существенно ниже как для поверхностных (R = 0,38), так и для расположенных глубже вод (R = 0,46).

По результатам биологических исследований известно, что фитопланктонное сообщество в Баренцевом море в августе 2017 г. было представлено в основном холодноводными диатомеями,

мелкими флагеллятами и пикопланктоном, относительный вклад которых менялся в зависимости от региона и горизонта [4]. Также присутствовала незначительная биомасса кокколитофорид, которые сильным образом влияют на светорассеяние. В дальнейшем планируется исследование влияния видового состава фитопланктона, а также ОРОВ и концентрации взвешенного вещества на параметры связи характеристик спектров поглощения с концентрацией хлорофилла.

Авторы выражают благодарность д.ф-м.н С.И. Погосяну (биофак МГУ) за возможность использования ICAM; А.Б. Демидову и А.В. Лифанчук за предоставленные данные прямых определений концентрации хлорофилла; П.Г. Каралли и В.О. Муравья за помощь в проведении измерений показателя поглощения света морской воды.

Результаты исследований выполнены в рамках государственного задания по темам № 0128-2021-0001, проекта РФФИ № 19-55-45024.

Список литературы

1) Погосян С.И., Дургарян А.М., Конюхов И.В., Чикунова О.Б., Мерзляк М.Н. Абсорбционная спектроскопия микроводорослей цианобактерий и растворенного органического вещества: измерения во внутренней полости интегрирующей сферы // Океанология. 2009. Т. 49. С. 934–939. 4)

2) Глуховец Д.И., Шеберстов С.В., Копелевич О.В., Зайцева А.Ф., Погосян С.И. Измерения показателя поглощения морской воды с помощью интегрирующей сферы // Светотехника. 2017. № 5. С. 39-43.

3) Arar E. J., Collins G. B. Method 445.0: In vitro determination of chlorophyll a and pheophytin a in marine and freshwater algae by fluorescence. – Washington, DC, USA: United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Exposure Research Laboratory, 1997.

4) Паутова Л. А., Силкин В.А., Кравчишина М.Д., Якубенко В.Г., Чульцова А.Л. Летний фитопланктон северной части Баренцева моря (75-80° N) //Экология гидросферы. 2019. №. 2. С. 8-19.

5) Bricaud A., Babin M., Morel A., Claustre H. Variability in the chlorophyll-specific absorption coefficients of natural phytoplankton: Analysis and parameterization //Journal of Geophysical Research: Oceans. 1995. V. 100. №. S7. P. 13321-13332.

ПОСТРОЕНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ЗАТОПЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ДАННЫМ ПОДВОДНОЙ ФОТО И ВИДЕО СЪЕМКИ

Анисимов И.М., Лесин А.В., Муравья В.О., Тронза С.Н.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

oceanbreak@gmail.com

Ключевые слова: подводные объекты, фотограмметрия, 3D модели объектов, телеуправляемые аппараты, буксируемые аппараты

Одним из методов изучения состояния подводных объектов является построение их 3D моделей на основе изображений, полученных с помощью фото или видео съемки [1]. В основе построения модели по изображениям лежит метод фотограмметрии, получивший широкое применение в области компьютерного зрения и робототехники. В ходе экспедиций 2015-2020 гг. в Карское море с помощью подводных аппаратов, оснащенных фото и видео системами, были получены многочисленные изображения подводных потенциально опасных объектов, затопленных в Новоземельской впадине и в заливах Новой Земли [2]. Целью данной работы является рассмотрение возможности построения 3D моделей затопленных объектов по изображениям, полученным в результате визуальных наблюдений с применением подводных аппаратов различного класса, без специальной подготовки к дальнейшему применению метода фотограмметрии.

Для получения фото и видеоматериалов использовались два подводных аппарата: телеуправляемый необитаемый подводный аппарат (ТНПА) «ГНОМ» и буксируемый необитаемый подводный аппарат (БНПА) «Видеомодуль». ТНПА «ГНОМ» применялся для обследования объектов на глубине до 80 м в заливах Новой Земли. Изображения высокого разрешения были получены с помощью экшн-камеры в герметичном подводном корпусе, установленной рядом с аналоговой камерой, передающей сигнал в реальном времени на операторский пульт, и ориентированной вперед по ходу движения аппарата. При погружениях камера работала в видео режиме и в режиме непрерывной фотосъемки с интервалом 5 с. Методика работы с помощью ТНПА позволяет подробно исследовать объект со всех сторон и получить большое количество изображений с разных ракурсов, что является необходимым условием для построения точной трехмерной модели исследуемого объекта. Съемка с помощью БНПА «Видеомодуль» проводилась при исследовании объектов на глубинах более 100 м, а также для уточнения координат затопления объектов в заливах Новой земли и в Новоземельской впадине. Фото и видео камеры, установленные на БНПА «Видеомодуль», направлены в надир, поэтому изображения, полученные с помощью аппарата, представляют собой подводный аналог данных аэрофотосъемки местности. Такой тип изображений также позволяет строить 3D модели исследуемых объектов, однако с существенными ограничениями, т.к. поверхности объекта, параллельные оптической оси камеры, отображаются в кадре с искажениями и потерями деталей. Поэтому, вместо полных 3D моделей, при таком типе съемки проводится построение псевдотрехмерных (2.5D) моделей, представляющих собой карту высот отснятого объекта. При наложении на такую карту текстуры из сшитых изображений можно получить псевдотрехмерную модель отснятого участка дна с находящимся на нем исследуемым объектом.

Результаты фото и видео съемки сильно зависят от заглубления камеры, наличия в воде взвешенных частиц, направленности источников искусственного освещения и расстоянию между ними и камерой, поэтому не каждый набор изображений пригоден для дальнейшей обработки. Из материалов, полученных за несколько лет, были выбраны несколько контрольных наборов данных по следующим критериям: достаточная освещенность в кадре, высокий уровень видимости деталей объекта, низкий уровень шума (аналогового и цифрового), низкий уровень помехи обратного рассеяния, высокая четкость изображения. Каждый набор данных должен содержать в себе не

менее 50 изображений одного и того же объекта, либо его части. Любая видимая область объекта должна присутствовать по крайней мере на двух (желательно более) изображениях. Построение 3D моделей проводилось с помощью специализированного программного обеспечения Agisoft Metashape [3]. Для каждого набора изображений была выполнена предварительная обработка: нормализация по яркости и контрасту, маскирование областей, не относящихся к объекту съемки, таких как водная толща или данные телеметрии в кадре. Критическим этапом, на котором становится очевидно, насколько успешно пройдет построение трехмерной модели, является поиск точек соответствия между парами изображений и приведение их в общую систему координат. На этом этапе некоторые наборы данных были отбракованы. Основной причиной этого стало недостаточное перекрытие между кадрами, а также недостаточное количество ракурсов, с которых был снят объект. Такая ситуация характерна для данных, полученных с помощью ТНПА с экшн-камерой, работающей в режиме дискретной фотосъемки с интервалом между кадрами более 2-х секунд. В этом случае набор изображений был разделен на подгруппы, в рамках которых выполнялись условия достаточного перекрытия между кадрами и разнообразия ракурсов. В результате обработки каждой подгруппы были получены 3D модели отдельных частей исследуемого объекта, которые затем были объединены в общую трехмерную модель. Более пригодными для восстановления 3D и 2.5D моделей оказались видео изображения, ввиду высокой частоты съемки (25-50 кадров в секунду). Основным недостатком видео изображений является их более низкое разрешение, чем у фотоизображений, а также более высокий уровень цифрового шума, связанного с кодированием видеопотока. Помимо цифрового, на некоторых наборах изображений, полученных с помощью БНПА «Видеомодуль», присутствует аналоговый шум, связанный с режимом работы камеры. Тем не менее, предварительная подготовка набора данных (нормализация по яркости и контрасту, фильтрация шума), в большинстве случаев позволила произвести восстановление 3D или 2.5D моделей хотя бы части исследуемого объекта.

Анализ полученных данных выявил основные факторы, затрудняющие обработку изображений методами фотограмметрии: недостаточное разнообразие ракурсов съемки, низкая частота съемки с интервалом, а также большое количество изображений, «смазанных» из-за движения камеры. Несмотря на наличие одного или нескольких ограничивающих факторов в каждом наборе данных, тщательная отбраковка и предварительная обработка изображений позволяет осуществить построение 3D или 2.5D моделей подводных объектов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0149-2019-0011) при поддержке РФФИ (проект № 18-05-60070 «Арктика»).

Список литературы

1) McCarthy, John K., Jonathan Benjamin, Trevor Winton, and Wendy van Duivenvoorde. 3D Recording and Interpretation for Maritime Archaeology. Springer Nature, 2019. 237 p.

2) Римский-Корсаков Н.А., Флинт М.В., Поярков С.Г., Анисимов И.М., Белевитнев Я.И., Пронин А.А., Тронза С.Н. Развитие технологии комплексных инструментальных подводных наблюдений применительно к экосистемам Российской Арктики // Океанология, 2019, Т. 59, № 4, С. 679-683.

3) Agisoft Metashape [Электронный ресурс] // URL: https://www.agisoft.com/ (дата обращения: 18.01.2021).

ГРУППОВОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ И ГЛАЙДЕРОВ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОГРАФИИ

Маевский А.М.[1,2], **Горелый А.Е.**[3]

[1] *АО НПП ПТ "Океанос", Санкт-Петербург*

[2] *ФГАОУ ВО "Южный федеральный университет", Ростов-на-Дону*

[3] *БГТУ «Военмех» им. Д. Ф. Устинова, Санкт-Петербург*

gorelyj1409@gmail.com

Ключевые слова: морская робототехника, оперативная океанография, автономные необитаемые подводные аппараты, групповое управление

Оперативная океанография является одним из прикладных разделов общей океанографии. Ее развитие тесно связано с внедрением новых методов измерений в море, совершенствованием численных моделей, разработкой современных технологий передачи и усвоения данных, применением телекоммуникационных средств. Использование различных моделей и анализ спутниковых измерений позволяет получать более точные данные о температуре поверхности Мирового океана, его глубинах, биооптических характеристиках морской среды, экосистемах и другие сведения. Океанологи также используют в своей деятельности данные, собранные робототехническими комплексами, донными, свободно дрейфующими, заякоренными буями и станциями с оперативной передачей наблюдений [1].

Особую роль в океанографии занимает и будет занимать подводная робототехника для обеспечения и мониторинга экологической безопасности морских акваторий, а также учета и мониторинга морских биологических ресурсов. Использование автономных и телеуправляемых аппаратов позволяет получать в режиме реального времени и оперативно обрабатывать массивы гидрологических, гидрохимических и гидробиологических данных о состоянии водной толщи и донных осадков, локализовать различные типы загрязнений морской среды [2].

На сегодняшний день автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА) используются в следующих направлениях [3]:

- Съёмка рельефа дна, гидрофизические измерения;
- Строительство и обследование донных сооружений, магистральных трубопроводов, кабелей, портовых сооружений;
- Мониторинг полезных ископаемых, экологические исследования, в том числе подо льдом;
- Участие в подводных поисково-спасательных операциях.

Для повышения качества выполнения исследований и задач применяются и разрабатываются методы группового управления АНПА. Объединение в группу АНПА, в том числе глайдеров, имеет множество вариантов использования. Глайдер - АНПА, приводимый в движение гидродинамическими силами за счет изменения плавучести. Глайдеры перемещаются по специфической «пилообразной» траектории в заданном диапазоне глубин.

Один из разрабатываемых вариантов группового применения представляет собой группу из нескольких глайдеров, которую запускают в акваторию для ее исследования. За счет большого количества аппаратов, а также их связи между собой, мы получаем за малое количество времени большой объем океанологических данных. Также для повышения скорости работы глайдеры обмениваются между собой информацией, имеют свою систему координат, в которой работают. Для удобства связи с оператором или пунктом сбора данных может применяться надводный морской аппарат, который будет выступать в роли ретранслятора. Данный морской робототехнический комплекс может поставлять и обрабатывать полученные данные в режиме реального времени.

Большим преимуществом также является высокая энергонезависимость глайдеров, за счет способа их движения.

На данный момент в РФ практически отсутствуют предприятия, занимающиеся комплексной разработкой морской робототехники применительной к кооперативной океанографии, в том числе глайдеров. В частности, на момент 2021 года в России имеется единственный действующий полнофункциональный образец подводного глайдера (не стоит путать глайдеры с другими АНПА, у глайдера отсутствуют двигатели, взаимодействующие с водой, он движется за счет изменения плавучести), совместно разработанный ФГБОУ ВО СПбГМТУ и АО«НПП ПТ «Океанос» [4].

Список литературы

1) Г.К. Коротаев, Оперативная океанография – новая ветвь современной океанологической науки // Вестник Российской академии наук, 2018, том 88, № 7, с. 579–588
2) А.В. Адрианов, В.В. Ивин, А.Ф. Щербатюк, Использование подводной робототехники в биологических исследованиях на дальнем востоке России // Биологическая безопасность дальневосточных морей Российской Федерации: материалы Целевой комплексной программы ориентированных фундаментальных научных исследований Дальневосточного отделения РАН на 2007–2012 гг. / Отв. Ред. А.В. Адрианов. Владивосток: Дальнаука, 2014. С. 89-131.
3) Сергей Лебедев, АНПА: Перспективные направления использования // Новый Оборонный Заказ. Стратегии, 2011, №5 (17), С. 42.
4) В.Ю. Занин, А.М. Маевский, И.В. Кожемякин, Использование морской робототехники в задачах оперативной океанографии: отечественный и зарубежный опыт // Морские информационно-управляющие системы, 2020 / No. 1 (17), С. 84-92.

ПОРТАТИВНЫЙ ФЛУОРИМЕТР «TUBBY_FRR-430» ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ХЛОРОФИЛЛА «А» И ФЕОФИТИНА «А» В ЭКСТРАКТАХ И ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ КУЛЬТУР ОДНОКЛЕТОЧНЫХ ВОДОРОСЛЕЙ

Конюхов И.В.[1], **Воробьева О.В.**[1,2]

[1]*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, г. Москва*

[2]*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, г. Москва*

vanka.kon@gmail.com

Ключевые слова: флуоресценция хлорофилла, феофитин, кривая индукции флуоресценции, световая кривая.

Одной из важнейших задач комплексных судовых экспедиций является определение содержания хлорофилла «а» в пробах воды. По методике ГОСТ [1] такое определение выполняется спектрофотометрическим методом в ацетоновом экстракте пигментов микроводорослей. Спектрофотометрическая методика не отличается высокой чувствительностью, поэтому клетки фитопланктона предварительно концентрируют на плоском стекловолоконном фильтре. В зависимости от исходного содержания хлорофилла необходимый для фильтрации объем морской воды может доходить до 5 л (и более). Данный объем может превышать объем используемого батометра, в результате чего его придется спускать на нужную точку (заданная глубина и координаты судна) повторно, что не всегда возможно в принципе или нерационально с точки зрения использования судового времени.

Известны и другие неудобства спектрофотометрической методики, которые в совокупности часто заставляют отказаться от проведения таких измерений непосредственно на борту научно-исследовательского судна. К ним можно отнести громоздкость серийно выпускаемых спектрофотометров, необходимость центрифугирования и необходимость периодического обновления нулевой линии спектрофотометра при работе с большим количеством (потоком) проб.

Хотя методика ГОСТ допускает заморозку фильтров с осажденными клетками планктонных водорослей до -20°C и их последующее длительное хранение до того, как они попадут в стационарную лабораторию, в реальности обеспечить хорошую сохранность проб на всем логистическом пути проблематично. Поэтому крайне желательно проводить определение содержания хлорофилла непосредственно на борту судна.

Для этого хорошо подходит альтернативная, более экспрессная методика, которая в качестве аналитического сигнала использует интенсивность флуоресценции хлорофилла при ее возбуждении на длине волны 430 нм (до и после подкисления экстракта). Под данную методику пока что существует единственный серийно производимый прибор фирмы Turner.

На кафедре биофизики биологического факультета МГУ разработан гораздо более компактный и дешевый флуориметр TubbyFRR-430, в котором были в точности воспроизведены необходимые спектральные характеристики источника возбуждающего излучения (430 нм) и детектора флуоресценции (длины волн более 660 нм) прибора Turner. Основное назначение прибора - определение хлорофилла и феофитина «а» в экстрактах с точностью не ниже, чем у прибора Turner. Помимо этого, наша разработка также является полноценным FRR-флуориметром (Fast Repetition Rate) с высокой интенсивностью возбуждающего света, способным за доли секунды насытить процессы фотосинтеза в живых клетках водорослей [2]. На таком приборе можно проводить экспериментальную работу по определению функциональной активности клеток водорослей [3]. Это могут быть как лабораторные культуры с высоким содержанием хлорофилла (не менее 5 мкг/л), так и пробы природного фитопланктона, предварительно сконцентрированные в 5-10

раз при помощи обратной фильтрации. Для измерений на пробах неподготовленной морской воды данный прибор все-таки имеет недостаточно высокое отношение сигнал/шум в силу своих малых габаритов. Размеры устройства с отключенным USB-кабелем - 58x68x60 мм.

Исследовательские возможности FRR-флуориметра [4]:

· Измерение кривой индукции флуоресценции в ответ на короткую (1 секунда) последовательность мощных насыщающих световых импульсов. Определение по кривой фотохимического квантового выхода фотосистемы 2 [4].

· Адаптация клеток к продолжительному облучению светом произвольной интенсивности.

· Измерение световой кривой скорости линейного электронного транспорта (rETR). Определение полунасыщающей интенсивности света, размера антенного комплекса фотосистемы 2 и максимальной скорости электронного транспорта на один реакционный центр фотосистемы 2. Перечисленные параметры - это функциональная характеристика клеток микроводорослей как преобразователей световой энергии в химическую. Данные показатели определяются видовой спецификой проб, и заметно изменяются в процессе адаптации одних и тех же клеток микроводорослей к температуре, освещенности и возможному недостатку минерального питания [3, 5].

· Измерение т.н. NIFT-сигналов, которые являются возможным индикатором дефицита элементов минерального питания (азот, фосфор, кремний [3, 6]).

Список литературы

1) ГОСТ 17.1.04.02.90. Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла «а». Государственный контроль качества воды. // М. Изд-во стандартов, 2001. 688 с.

2) Strasser, R.J. & Govindjee. The Fo and the OJIP fluorescence rise in higher plants and algae // in: J.H. Argyroudi-Akoyunoglou (Ed.), Regulation of Chloroplast Biogenesis, Plenum Press, New York, 1991, pp. 423–426.

3) Suggett D.J., Borowitzka M.A., Pr´aˇsil O. (Eds). Chlorophyll a Fluorescence in Aquatic Sciences: Methods and Applications // Springer. 2010. 344 p. ISBN 978-90-481-9268-7.

4) K. RoháčekM. Barták. Technique of the Modulated Chlorophyll Fluorescence: Basic Concepts, Useful Parameters, and Some Applications // Photosynthetica 1999; 37:339-363.

5) Félix L. Figueroa. Use of in vivo chlorophyll fluorescence to estimate photosynthetic activity and biomass productivity in microalgae grown in different culture systems / Félix L. Figueroa, Celia G. Jerez & Nathalie Korbee. // Lat. Am. J. Aquat. Res., 2013. 41(5): 801-819.

6) S. Lippemeier, R. Hintze, K. Vanselow, P. Hartig & F. Colijn. In-line recording of PAM fluorescence of phytoplankton cultures as a new tool for studying effects of fluctuating nutrient supply on photosynthesis // European Journal of Phycology, 2001. Vol. 36, Issue 1, pp. 89-100.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕР-ТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗООПЛАНКТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПО-ГРУЖНОЙ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ КАМЕРЫ

Ржепка Т.П.[1], Троицкая Е.С.[2], Макаров М.М.[2], Ольшуков А.С.[3], Кучер К.М. [2], Наумова Е.Ю.[2]

[1]Иркутский Государственный университет, г.Иркутск;

[2]ФГБУ ЛИН СО РАН, г.Иркутск,

[3]Национальный исследовательский Томский Государственный университет, г.Томск

tasyarjpk@gmail.com

Ключевые слова: погружная голографическая камера, Байкал, мониторинг зоопланктона.

Для задач установления непрерывного автоматизированного мониторинга озера Байкал были проведены суточные наблюдения за поведением планктона. В рамках конференции мы приводим краткое описание и первые результаты комплексной работы по оценке эффективности использования погружной голографической камеры и гидроакустических приборов для мониторинга количества зоопланктона в озере Байкал.

Работы проводились 14 и 15 марта 2019 года в Южной котловине озера Байкал в 3.5 км от мыса Ивановский. Наблюдения проводились каждые 4 часа на протяжении суток. Пробы мезозоопланктона отбирали закрывающейся сетью Джеди с размером ячеек 88 мкм (открытый диаметр 35.7 см) по горизонтам 0-10, 10-25, 25-50, 50-100 м, фиксировали в 4% формалине, концентрирование седиментацией и затем подсчитывали под световым микроскопом [1]. Гидроакустическая съемка проводилась модернизированным эхолотом FCV-1100. Конфигурация эхолота была следующей: частота сигнала - 28 кГц, частота следования импульсов -5 Гц, длительность импульса -0,3 мс. Ширина луча однолучевого гидроакустического преобразователя 3 дБ составляла 12°. Температуру воды, хлорофилл, фотосинтетически активную радиацию и другие параметры измеряли зондом AAQ-Rinko [4]. Для измерения температуры воды использовались логгеры RBR-Company RBR TR-1000 (разрешение 0.002°C, точность 0.05°C) и TR-1060 (разрешение 0,0001°C, точность 0.002°C). Одновременно использовалась погружная голографическая камера [2]. Мы приводим данные одной вертикали 12.00 14 марта 2019.

Профиль температуры во время проведения работ был обычен для подледного периода. До глубины 25 м она составляла 0.5°C, глубже температура плавно поднималась до 2.8°C на 100 м.

Количество хлорофилла «а» плавно возрастает от 0.37 г/л в подледном слое до максимального 0.98 г/л на глубине 23 м. Еще один пик наблюдался на глубине 34 м (0.81 г/л). Глубже 50 м количество хлорофилла было 0.29-0.32 г/л.

По изображениям, полученным с помощью эхолота хорошо видно, как и на какой глубине работала планктонная сеть и погружаемая аппаратура, и также что регистрируемые скопления зоопланктона находились в поверхностном 5-метровом слое.

Основными компонентами мезозоопланктона в подледный период являются разные возрастные стадии эндемичного рачка *Epischura baikalensis* Sars 1900 и несколько видов коловраток. В наблюдаемый период в поверхностном слое 0-10 м численность науплиусов *E. baikalensis* составляла 413 экз./м^3, а всего зоопланктона 459 экз./м^3. Благодаря акустическим данным мы знаем, что хоть и облавливался 10-метровый слой основная масса зоопланктона была сосредоточена выше. Глубже на горизонте 10-25 метров количество зоопланктона снижается до 218 экз./м^3, на горизонте 25-50 метров 98 экз./м^3 и 169 экз./м^3 глубже 50 м.

Данные, полученные голографической камерой при погружении отличались от данных при подъеме. Максимальные значения количества частиц и при погружении, и при подъеме получены на глубине 23 м и достигали 20 тыс. частиц/ м^3. При этом при погружении камеры и в

поверхностном 5-метровом слое отмечался пик до 15 тыс. частиц/ м^3, который при подъеме не обнаруживался. Глубже 40 м показатели камеры при погружении и подъеме практически не отличаются. При этом количество частиц плавно уменьшается к глубине 50 м до 7 тыс. частиц/ м^3 и опять повышается до 15 тыс. частиц/ м^3 к 70 метрам.

По результатам видно, что максимум фотосинтезирующих организмов наблюдался над термоклином и отражен в данных голографической камеры на глубине 23 м. При этом максимум мезозоопланктона также был зарегистрирован и в акустических, и в голографических данных на глубине около трех метров.

Полученные полевые данные позволят в дальнейшем усовершенствовать алгоритм распознавания образов в программном обеспечении голографической установки именно для условий Байкала. Результаты вертикального распределения и миграций зоопланктона в связи с параметрами среды предполагается обрабатывать с использованием методов математического моделирования.

Работа выполнена при поддержке Проекта РФФИ 2019-2021 19-07-00322 А «Исследова-ния методов оценки параметров математических моделей с помощью аксиоматического подхода и вычислительных экспериментов».

Список литературы

1) Атлас и определитель пелагобионтов Байкала (с краткими очерками по их экологии) / О.А. Тимошкин, Г.Ф. Мазепова, Н.Г. Мельник и др. – Новосибирск: Наука. Сибир-ская издательская фирма РАН, 1995.

2) Dyomin V.V., Davydova A.Yu., Morgalev S. Yu., Kirillov N.S., Olshukov A.S., Polovtsev I. G., Davydov S.A. Monitoring of Plankton Spatial and Temporal Characteristics with the Use of a Submersible Digital Holographic Camera //Front. Mar. Sci. 2020. Vol. 7. P. 1-9. URL: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2020.00653/full

3) Izmest'eva L.R., Moore M.V., Hampton S.E. et al. Lake-wide physical and biological trends associated with warming in Lake Baikal // Journal of Great Lakes Research №42. 2016. P. 6-17. DOI: 10.1016/j.jglr.2015.11.006

4) Makarov M.M., Kucher K.M., Naumova E.Yu. Vertical distribution of zooplankton after rapid change in temperature and chlorophyll concentration // Limnology and Freshwater Bi-ology № 1. 2019. P. 177-180. DOI: 10.31951/2658-3518-2019-A-1-177

5) Naumova E.Yu., Zaidykov I.Yu. Spring zooplankton of pelagial of the Baikal Lake // Hydrobiological Journal №54. 2018. P. 33-39. DOI: 10.1615/HydrobJ.v54.i1.30

ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВОЛНЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ АКУСТИЧЕСКОГО ВОЛНОГРАФА В ЧЕРНОМ МОРЕ И СРАВНЕНИЕ С БУЕМ SPOTTER

Рябкова М.С.[1], Титченко Ю.А.[1], Мешков Е.М.[1], Караев В.Ю.[1], Беляев Р.В.[1], Яблоков А.А.[1], Баранов В.И.[2], Очередник В.В.[2], Куклев С.Б.[2], Епанова К.С.[3], Блинов Е.С.[3], Парамонов Г.С.[3], Индисов А.И.[3], Литвинова Ю.Н.[3], Зайчикова И.А.[3]

[1]*Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород*

[2]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

[3]*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород*

m.rjabkova@gmail.com

Ключевые слова: морская поверхность, ADCP, акустический волнограф, значительная высота волнения, период волнения, спектр волн, ветровые волны, дисперсия вертикальной составляющей орбитальной скорости, значительный период волнения, средний период волнения.

В настоящее время космическая радиолокация предоставляет основной объем информации о приповерхностном слое Мирового океана. Однако использование радиолокационных данных невозможно без проведения постоянной валидации и верификации восстанавливаемой "тематической" информации. Для этого используют данные контактных измерений, получаемые, в частности, с помощью волнографов (см., например, [1]) и морских буев, расположенных в разных акваториях Мирового океана [2]. Сведения, поступающие от буев, активно используются для валидации и верификации алгоритмов обработки радиолокационных данных. Однако использование буев затруднено в замерзающих водоемах и во время штормов.

Для всепогодного мониторинга ветрового волнения предлагается использовать подводный акустический волнограф. Акустический волнограф устанавливается вблизи дна, ориентирован вертикально вверх, на водную поверхность. Волнограф оснащен импульсным и доплеровским гидролокаторами, оба гидролокатора работают на частоте 200 кГц. Приемо-передающая антенна импульсного гидролокатора ориентирована вертикально вверх, на морскую поверхность, антенна доплеровского гидролокатора отклонена на 5 градусов от направления в зенит. Импульсный гидролокатор излучает акустические импульсы длиной от 5 до 40 мкс с частотой повторений от 15 до 100 Гц. Версия прибора, используемая в южных морях, может работать на глубинах до 100 м, версия прибора для арктических морей может выдержать погружение на глубину 300 м. По времени прихода максимального отражения можно определить расстояние от волнографа до поверхности воды, по зависимости расстояния от прибора до водной поверхности от времени можно определить энергетический спектр волнения. Спектр волнения позволяет определить различные характеристики волнения. Доплеровский гидролокатор измеряет доплеровский спектр (ДС) сигнала, отраженного водной поверхностью. Раскрыв диаграммы направленности приемо-передающей антенны составляет 15x15 градусов. Небольшой наклон от надира позволяет обеспечить ненулевое смещение допплеровского спектра, оставаясь в рамках действия приближения Кирхгофа, что позволяет увеличить число восстанавливаемых параметров поверхности. Ранее был разработан алгоритм, позволяющий по ширине и смещению ДС восстанавливать все статистические характеристики поверхностного волнения при условии, что азимутальный угол между направлением зондирования и направлением волнения известен, [3].

Акустический волнограф был установлен на полигоне «Геленджик» ЮО ИО РАН на Черном море в 2019 году на подводной платформе, расположенной на глубине 28 м в 1 км от берега, прибор управлялся дистанционно из Института прикладной физики в Нижнем Новгороде. Прибор производил запись длиной 15 минут каждый час.

Измерения акустического волнографа сравнивались с измерениями волномерного буя Spotter компании Sofar Ocean. Волновой буй установлен в Черноморском регионе близ города Геленджик

в 7 км от берега на глубине 80 м с июля 2020 года. Прибор производил усреднение данных каждые 30 минут, результаты измерений доступны в сети Интернет [4]. Измерений буя включали в себя данные о местоположении буя, высоте, периоде и направлении волнения, скорости и направлении ветра.

В данной работе было произведено сравнение измерений высоты значительного волнения (SWH) с помощью акустического волнографа ИПФ РАН и волномерного буя Spotter за 1-21 августа 2020 года. Акустический волнограф позволяет измерять высоту значительного волнения двумя способами: интегрированием энергетического спектра и по анализу формы отраженного импульса [5]. Высоты волн, измеренные разными способами, коррелируют между собой. Высоты волн, измеренные разными приборами коррелируют между собой в случае, если волнение приходит со стороны моря. Для волнения, распространяющегося от берега, высоты волн существенно отличаются, поскольку приборы разнесены на значительное расстояние (боле 5 км) и развивающееся волнение существенно изменяется на таких разгонах.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 20-77-10089).

Список литературы

1) Коровин В.П. Океанологические наблюдения в прибрежной зоне моря. Учебное пособие. СПб., изд. РГГМУ, 2007. 434 с.

2) Handbook of Automated Data Quality Control Checks and Procedures. NDBC Technical Document 09-02 /NDBC, 2009. 78 p.

3) Panfilova M., Ryabkova M., Titchenko Yu., Karaev V. Retrieving of significant wave height and period from the Doppler spectrum of backscattered microwave signal // 12th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2018), London. 2018. P.1-3. doi: 10.1049/cp.2018.1084

4) Saprykina Y., Kuznetsov S., Divinskiy B. Real time history of wave parameters in Black Sea based on wave buoy measurements. 2020. doi:10.6084/m9.figshare.12765407.v1

5) Караев В. Ю., Мешков Е. М., Титченко Ю. А. Подводный акустический высотомер // Известия ВУЗов, сер. Радиофизика. Т. 57. 2014. С. 543-554.

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ФЛУКТУАЦИИ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО КАНАЛА В МЕЛКОМ МОРЕ

Шатравин А.В.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

ashatravin@ocean.ru

Ключевые слова: акустика мелкого моря, импульсный отклик, подводная акустическая связь, флуктуации лучевых приходов

Для мелкого моря, когда глубина волновода много меньше расстояния между источником и приемником звука, характерна многолучевая картина распространения акустических сигналов с многократными отражениями волн от поверхности и дна [1]. Функции импульсного отклика в таких условиях имеют широкий носитель. Например, при длине акустической трассы несколько км и глубине моря 10-100 м ширина отклика канала составляет порядка нескольких сотых секунды. При передаче цифровой информации по подводному акустическому каналу со скоростью 1 кбит/с это означает наличие существенной межсимвольной интерференции в диапазоне до сотен бит. Как правило, декодирование информации с приемлемым количеством ошибок без применения методов эквализации для таких каналов невозможно. Большинство применяемых для подводной акустической связи методов эквализации основаны на подходах, унаследованных из области передачи информации по радиоканалу, и сводятся к обработке принятого сигнала и оценок переданных символов набором фильтров, коэффициенты которых рассчитываются исходя из заданной модели импульсного отклика канала и характеристик фонового шума [2,3]. Первоначальная оценка импульсного отклика обычно вычисляется для каждого информационного пакета по специальному сигналу-преамбуле и, в зависимости от конкретного алгоритма эквализации, может либо считаться постоянной для всех символов пакета, либо корректироваться с шагом в определенное количество символов [4]. В последнем случае оценка отклика, используемая для декодирования текущего символа, строится с учетом предыдущих оценок и уже декодированной к текущему моменту части информационной последовательности. Важное отличие акустической подводной связи от радио состоит в том, что импульсный отклик подводного акустического канала подвержен существенным флуктуациям на протяжении передачи одного пакета информации (порядка нескольких секунд), из-за которых даже применение методов компенсации канала с обновляемыми эквалайзерами зачастую не позволяет добиться приемлемого уровня ошибок декодирования.

На сегодняшний день исчерпывающей модели статистических характеристик мелкомасштабных флуктуаций подводных акустических каналов, которая позволяла бы достаточно точно прогнозировать зависимость эффективности различных методов звукоподводной связи от физических параметров среды (профиль скорости звука, характеристики дна, интенсивность волнения и т.п.), не существует. В связи с этим представляют интерес экспериментальные исследования, посвященные изучению данного явления.

В докладе представлены результаты нескольких экспериментов по когерентной звукоподводной связи в мелком море между донными станциями. Расстояние между передатчиком и приемником составляло от 1 до 3.5 км при глубине моря 30-35 м, рабочий диапазон частот 8-12 кГц, скорость передачи информации до 2 кбит/с. Без применения эквализации коэффициент битовых ошибок декодирования (доля ошибочно декодированных бит) для различных пакетов данных варьировался в очень широких пределах: от 0 до 0.43. Диапазон допустимых значений этого показателя физического уровня связи зависит от специфики конкретной задачи, но условно значения ниже 0.1 можно считать приемлемыми. В таком случае остается оправданным применение кодов, исправляющих ошибки [2]. Использование алгоритмов эквализации как с «замороженной» оценкой импульсного отклика, так и с адаптацией под временную изменчивость канала для многих переданных пакетов данных позволило на порядок уменьшить количество битовых ошибок.

В докладе анализируется зависимость качества связи от медленно меняющихся характеристик среды и определяемых ими статистических свойств флуктуаций амплитуд лучевых приходов. Экспериментальные оценки флуктуаций канала сравниваются с результатами моделирования с использованием лучевой программы Bellhop [5] и теоретических оценок характеристик колебаний амплитуд лучевых приходов [6].

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема 0128-2021-0010)

Список литературы

1) Brekhovskikh L.M., Lysanov Y.P. Fundamentals of Ocean Acoustics, 3rd ed., New York, NY, USA: Springer-Verlag, 2003.

2) Proakis J. Digital Communications, NY USA: McGraw-Hill, 2001.

3) Kilfoyle, D.B., Baggeroer, A.B., 2000. The state of the art in underwater acoustic telemetry. IEEE Journal of oceanic engineering, 25(1), pp.4-27.

4) Preisig, J.C., 2005. Performance analysis of adaptive equalization for coherent acoustic communications in the time-varying ocean environment. The Journal of the Acoustical Society of America, 118(1), pp.263-278.

5) Porter, M.B., 2011. The bellhop manual and user's guide: Preliminary draft. Heat, Light, and Sound Research, Inc., La Jolla, CA, USA, Tech. Rep.

6) Qarabaqi, P. and Stojanovic, M., 2013. Statistical characterization and computationally efficient modeling of a class of underwater acoustic communication channels. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 38(4), pp.701-717.