

Атлантическое отделение
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук



МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

#КИМО2020

18 - 22 МАЯ
2020 г.

УДК 551.46
ББК 26.221
К 63

Комплексные исследования Мирового океана. Материалы V Всероссийской научной конференции молодых ученых, г. Калининград, 18–22 мая 2020 г. [Электронный ресурс]. — Калининград: АО ИО РАН. — Режим доступа: <http://atlantic-new.ocean.ru/index.php/raznoe/item/425-v-vserossijskaya-nauchnaya-konferentsiya-molodykh-uchenykh-kompleksnye-issledovaniya-mirovogo-okeana>, свободный.
ISBN 978-5-9906839-1-4

В сборнике представлены материалы V Всероссийской научной конференции молодых ученых «Комплексные исследования Мирового океана» (КИМО-2020), 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 и морская геология, а также были представлены междисциплинарные физико-биологические исследования океана и работы в области морского природопользования. 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. Медведев И.П. – ответственный редактор, к.ф.-м.н. Кубрякова Е.А. – электронная верстка, к.б.н. Андреева А.Ю., к.г.н. Лобанова П.В., к.г.н. Кивва К.К., Кулешова Л.А., к.г.н. Полухин А.А., к.г.н. Ульянова М.О., Хатмуллина Л.И., к.г.-м.н. Шульга Н.А.

Рецензенты:

Багаев А.В., к.ф.-м.н.
Борисов Д.Г., к.г.-м.н.
Весман А.В.
Глуховец Д.И., к.ф.-м.н.
Кладченко Е.С.
Козина Н.В., к.г.-м.н.
Кондрик Д.М.
Кубряков А.А., к.ф.-м.н.
Кухарева Т.А.
Лишаев П.Н.

Медведева А.Ю.
Мизюк А.И., к.ф.-м.н.
Мысленков С.А., к.ф.-м.н.
Овсепян Е.А., к.г.-м.н.
Овсепян Я.С., к.г.-м.н.
Пономаренко Е.П.
Сильвестрова К.П., к.г.н.
Степанова Н.Б., к.ф.-м.н.
Тилинина Н.Д., к.ф.-м.н.
Толстикова А.В., к.г.н.
Юровская М.В., к.ф.-м.н.

Материалы опубликованы с сохранением авторской редакции.
Разработка оригинального макета обложки – Михайлов К.А. (Санкт-Петербургский государственный университет).

АО ИО РАН, 2020

Информация о спонсорах

Конференция проводится при финансовой поддержке следующих организаций:

Общество с ограниченной ответственностью
«Фертоинг»



Общество с ограниченной ответственностью
«Центр морских исследований
МГУ имени М.В. Ломоносова»



Содержание

СЕКЦИЯ «ФИЗИКА ОКЕАНА»	22
Алескерова А.А., Кубряков А.А., Станичный С.В., Лишаев П.Н. ЦВЕТЕНИЕ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В ЧЕРНОМ МОРЕ ПО ДАННЫМ СЕНСОРОВ СПУТНИКОВ LANDSAT И MODIS И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ИХ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫДЕЛЕНИЯ	22
Артамонова А.В., Козлов И.Е. ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИХРЕЙ В ВОСТОЧНО-СИБИРСКОМ МОРЕ И МОРЕ ЛАПТЕВЫХ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ	24
Атаджанова О.А., Козлов И.Е., Петренко Л.А. ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИХРЕЙ В ПРОЛИВЕ ФРАМА И ВБЛИЗИ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН В ЗИМНИЙ ПЕРИОД ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ	25
Базыкина А.Ю., Фомин В.В. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛН ЦУНАМИ В КЕРЧЕНСКОМ ПРОЛИВЕ	27
Байдаков Г.А., Ермакова О.С., Кандауров А.А., Вдовин М.И., Сергеев Д.А., Троицкая Ю.И. ЛАБОРАТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОРСКОЙ ПЕНЫ НА СПЕКТР ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ И РАССЕЯНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННОГО СИГНАЛА	29
Белова П.М. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ВДОЛЬБЕРЕГОВОГО ПОТОКА НАНОСОВ НА СЕВЕРНОМ ПОБЕРЕЖЬЕ САМБИЙСКОГО П-ВА	31
Березина А.В., Романенков Д.А., Андросов А.А. ВНУТРЕННИЙ ПРИЛИВ В БЕЛОМ МОРЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА МОДЕЛИ FESOM-C	33
Бородин Е.В. О НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ЭФФЕКТА ОБРАСТАНИЯ ТРОСОВ ВНУТРИВОДНЫМ ЛЬДОМ В ПЕРЕОХЛАЖДЕННОЙ ВОДЕ ПРИ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЯХ	35
Буканова Т.В., Лобчук О.И., Чубаренко И.П. ДИНАМИКА ГРАДИЕНТНЫХ ПОЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В ЦЕЛЯХ ВЫЯВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ ВОД ХОЛОДНОГО ПРОМЕЖУТОЧНОГО СЛОЯ	37
Буканова Т.В., Стонт Ж.И., Крек Е.В., Багаев А.В. МНОГОЛЕТНИЕ ТРЕНДЫ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАК ИНДИКАТОРЫ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА ЮГО-ВОСТОКА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ . . .	38

Булавина А.С. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ПРИКРОМОЧНОЙ ЛЕДОВОЙ ЗОНЕ БАРЕНЦЕВА МОРЯ В АПРЕЛЕ 2019 ГОДА	40
Булгаков К.Ю., Фокина К.В. ВЛИЯНИЕ ВОЛН НА ТУРБУЛЕНТНЫЙ ОБМЕН В ПРИВОДНОМ СЛОЕ	42
Вязигина Н.А., Тимохов Л.А. ФИЗИКО-СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ АНОМАЛИЙ ЛЕДОВИТОСТИ И ПОВЕРХНОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ СЕВЕРО-ЕВРОПЕЙСКОГО БАССЕЙНА	44
Гиппиус Ф.Н., Мысленков С.А. ОСОБЕННОСТИ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ В ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЯХ ЧЁРНОГО МОРЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	46
Глухов В.А., Гольдин Ю.А., Родионов М.А., Гуреев Б.А., Глитко О.В. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ АВИАЦИОННОЙ ЛИДАРНОЙ БАТИМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ С БОЛЬШОЙ ВЫСОТЫ	48
Григоренко К.С., Олейников Е.П., Московец А.Ю., Шевченко М.С. ВЛИЯНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СТРУКТУРУ СОЛЕННОСТИ АЗОВСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ СУДОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ	50
Губарев А.В., Аверьянова Е.А., Полонский А.Б. ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЗАВИХРЕННОСТИ КАСАТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ТРЕНИЯ ВЕТРА НАД ЧЕРНЫМ МОРЕМ	52
Диденкулов О.И., Диденкулова Е.Г. СОЛИТОННО-БРИЗЕРНАЯ ТУРБУЛЕНТНОСТЬ В РАМКАХ УРАВНЕНИЙ ДЛИННЫХ ВОЛН	54
Диденкулова Е.Г. ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОСЦИЛЛИРУЮЩИХ ПАКЕТОВ ВНУТРЕННИХ ВОЛН (БРИЗЕРОВ) И УЕДИНЕННЫХ ВОЛН (СОЛИТОНОВ)	56
Евстигнеева Н.А., Демьшев С.Г. ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОД У БЕРЕГОВ ЗАПАДНОГО КРЫМА И В РАЙОНЕ СЕВАСТОПОЛЯ НА ОСНОВЕ АССИМИЛЯЦИИ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ЧЕРНОГО МОРЯ	58
Егорова Е.С., Виноградная Е.С. ОЦЕНКА ДРЕЙФА ЛЬДА ЧЕРЕЗ ПРОЛИВ ФРАМА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ	60
Елкин Д.Н., Зацепин А.Г. ЛАБОРАТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ И РЕЛЬЕФА ДНА НА ВДОЛЬБЕРЕГОВОЕ ДАУНВЕЛЛИНГОВОЕ ТЕЧЕНИЕ	62
Железова Е.В. ПОЛЫНЬИ В ПРИБРЕЖНЫХ ЛАГУНАХ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ	64

Животовская М.А., Заболотских Е.В., Шапрон Б. ЛОЖНАЯ ДИАГНОСТИКА МОРСКОГО ЛЬДА В АРКТИКЕ СПУТНИКОВЫМИ МИКРОВОЛНОВЫМИ РАДИОМЕТРАМИ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЯХ	66
Захарова Е.В., Фомин В.В., Дианский Н.А., Ладохина Е.М., Тихонова Н.А., Захарчук Е.А. ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ШТОРМОВЫХ НАГОНОВ В ФИНСКОМ ЗАЛИВЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛЕЙ INMOM И WRF	68
Зотов Л.В., Устинов А.А. СЕВЕРНАЯ АТЛАНТИКА И ОСОБЕННОСТИ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ	70
Зотова Е.В., Рюмина Т.Н., Иванов Б.В. ОЦЕНКА ПОВТОРЯЕМОСТИ КОЛИЧЕСТВА ОБЩЕЙ ОБЛАЧНОСТИ В БЕЛОМ И БАРЕНЦЕВОМ МОРЯХ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД	71
Зубкова Е.В., Козлов И.Е. НАБЛЮДЕНИЕ ПОЛЯ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В ЧУКОТСКОМ МОРЕ ПО ДАННЫМ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ	73
Ижицкий А.С., Воробьева О.В., Романова Н.Д., Фрей Д.И. ВЛИЯНИЕ ТАЯНИЯ ЛЬДА НА СТРУКТУРУ ВОД ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ В БАССЕЙНЕ ПАУЭЛЛА, МОРЕ УЭДДЕЛЛА, В ЛЕТНИЙ СЕЗОН 2020 Г.	75
Исаченко И.А., Чубаренко И.П. ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ВЗМУЧИВАНИЮ ЧАСТИЦ МИКРОПЛАСТИКА ОДНОНАПРАВЛЕННЫМ ПОТОКОМ ВОДЫ В ОТКРЫТОМ КАНАЛЕ	77
Калинская Д.В., Папкина А.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЖАРОВ ПРИЧЕРНОМОРСКИХ ТЕРРИТОРИЙ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРЫ НАД ЧЕРНЫМ МОРЕМ ЗА ПЕРИОД 2018-2019 Г. ОПТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ	79
Калюжная А.В., Никитин Н.О., Вычужанин П.В., Хватов А.А. ТЕХНОЛОГИИ ПРИКЛАДНОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЗАДАЧАХ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ В ОКЕАНЕ	81
Кивва К.К., Селиванова Ю.В., Сумкина А.А., Писарева М.Н. ИЗМЕНЧИВОСТЬ СРОКОВ СХОДА ЛЬДА В БЕРИНГОВОМ И ЧУКОТСКОМ МОРЯХ	83
Кондрашов А.А., Рыков Н.А. ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД БАЛТИЙСКОГО МОРЯ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ADCP И ИНКЛИНОМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ПРИДОННЫХ ТЕЧЕНИЙ	85
Коник А.А., Атаджанова О.А., Зимин А.В. ОЦЕНКИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ И УРОВНЯ ПОВЕРХНОСТИ В РАЙОНЕ ФРОНТАЛЬНЫХ ЗОН БАРЕНЦЕВА МОРЯ В ГОД С МИНИМАЛЬНЫМ И МАКСИМАЛЬНЫМ ЛЕДОВЫМ ПОКРОВОМ	86

Коник А.А., Козлов Е.И. ПРОЯВЛЕНИЯ ВИХРЕВЫХ СТРУКТУР В РАЙОНАХ ФРОНТАЛЬНЫХ ЗОН В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД	88
Коршенко Е.А., Журбас В.М., Осадчиев А.А., Белякова П.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЫНОСИМОГО РЕКАМИ ПЛАВАЮЩЕГО ВЕЩЕСТВА В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ МОРЯ: СЛУЧАЙ НАВОДНЕНИЯ В СОЧИ В ОКТЯБРЕ 2018 Г.	90
Крайнева М.В. РАЗРАБОТКА ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ШЕЛЬФОВЫХ МОРЕЙ И ГЛУБОКОГО ОКЕАНА НА ПРИМЕРЕ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА	92
Крылов А.А. НОВЫЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ В СЕВЕРНЫХ МОРЯХ РОССИИ	94
Кузнецова А.М., Локтев Ф.М., Байдаков Г.А., Сергеев Д.А., Троицкая Ю.И. РАСЧЕТ СКОРОСТИ ВЕТРА И ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТНОГО ВОЛНЕНИЯ ДЛЯ УСЛОВИЙ ВНУТРЕННИХ ВОДОЕМОВ НА ОСНОВЕ СОПРЯЖЕННЫХ ВОЛНОВОЙ И АТМОСФЕРНОЙ МОДЕЛЕЙ	96
Кукушкин В.М., Маркина М.Ю., Гулев С.К. МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТРАНСФОРМАЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД МИРОВОГО ОКЕАНА В ПЕРИОД С 1979 ПО 2018 ГОД	98
Куликов М.Е., Крылов А.А., Куликов Е.А., Медведев И.П., Ковалев П.Д. СПЕКТР ИЗМЕНЧИВОСТИ УРОВНЯ В ОТКРЫТОЙ ЧАСТИ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ С ПЕРИОДАМИ ОТ СЕКУНД ДО ГОДА ПО ДАННЫМ АВТОНОМНОГО РЕГИСТРАТОРА ВОЛНЕНИЯ (АРВ)	99
Куликов М.Е., Медведев И.П. ОСОБЕННОСТИ ПРИЛИВОВ В МОРЯХ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ ПО ДАННЫМ МОДЕЛИ АОТМ-5	100
Куликов М.Е., Медведев И.П., Архипкин В.С. МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ И ПРИЛИВНЫХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ	102
Куприянова А.Е., Гриценко В.А. ЛАБОРАТОРНОЕ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИСКЛОНОВЫХ КОНВЕКТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ	104
Лактионов П.П., Малинин В.Н. ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ УРОВНЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ	106
Латонин М.М., Бобылев Л.П., Башмачников И.Л., Дэви Р. АРКТИЧЕСКОЕ УСИЛЕНИЕ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ, РЕАНАЛИЗОВ И КЛИМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ	108
Левашов С.Д. ПОЛУЧЕНИЕ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСПРОСТРАНЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ ДРОНОВ	110

Лишаев П.Н. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ЧЕРНОГО МОРЯ С АССИМИЛЯЦИЕЙ В МОДЕЛИ ПОВЕРХНОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ПСЕВДОИЗМЕРЕНИЙ СОЛЕННОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ	112
Лобчук О.И., Ефимова И.В., Чубаренко И.П. МЕХАНИЗМЫ ДЕГРАДАЦИИ ВСПЕНЕННОГО ПЛАСТИКА В УСЛОВИЯХ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ	114
Лобчук О.И., Чубаренко И.П. ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ТЕРМОХАЛИННОЙ СТРУКТУРЫ ВОД БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ПОВТОРНЫХ STD ПРОФИЛЕЙ	116
Львова Е.В., Заболотских Е.В. ЛЕДЯНОЙ ПОКРОВ ПЕЧОРСКОГО МОРЯ В РАЙОНЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПРИРАЗЛОМНОЕ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ	118
Мальшева А.А., Кубряков А.А., Колдунов А.В., Белоненко Т.В. CO-LOCATION МЕТОД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АГУЛЬЯСОВА ПЕРЕНОСА	120
Маркина М.Ю., Стадхолм Д.Х.П., Гулев С.К. ВЛИЯНИЕ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ОКЕАНА: ОЦЕНКИ НА ОСНОВЕ ИДЕАЛИЗИРОВАННЫХ МОДЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ	122
Марчукова О.В., Воскресенская Е.Н. МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ДВУХ ВИДОВ ЛА-НИНЬЯ В ЭКВАТОРИАЛЬНОЙ ЗОНЕ ТИХОГО ОКЕАНА	123
Медведев И.П. КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ	125
Медведева А.В., Станичный С.В., Кубряков А.А., Алескерова А.А. ХАРАКТЕРИСТИКА МЕЗОМАСШТАБНЫХ И СУБМЕЗОМАСШТАБНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ	127
Медведева А.Ю., Мысленков С.А. ОСОБЕННОСТИ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ ВОД КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ	129
Мизюк А.И., Лишаев П.Н., Пузина О.С., Холод А.Л., Сендеров М.В. СИСТЕМА ДИАГНОЗА И ПРОГНОЗА ДИНАМИКИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ РОССИИ: СТРУКТУРА И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ	131
Михайличенко С.Ю. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕГИДРОСТАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ SWASH ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭВОЛЮЦИОННОЙ ДИНАМИКИ ПОВЕРХНОСТНОГО ВОЛНЕНИЯ В МОДЕЛЬНОМ БАССЕЙНЕ С ПЕРЕМЕННОЙ ТОПОГРАФИЕЙ ДНА	133
Молчанов М.С., Головин П.Н. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ АНТАРКТИЧЕСКОЙ ДОННОЙ ВОДЫ В РАЙОНЕ МОРЯ СОДРУЖЕСТВА, ВОСТОЧНАЯ АНТАРКТИКА	135

Мысленков С.А., Кречик В.А. ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ВОД В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ТЕРМОКОСЫ С 2015 ПО 2019 ГОД	137
Наумов Л.М., Гордеева С.М. АДВЕКТИВНЫЕ ПОТОКИ ТЕПЛА, МАССЫ И СОЛИ В ЗОНЕ ЛОФОТЕНСКОГО ВИХРЯ ПО ДАННЫМ РАЗЛИЧНЫХ РЕАНАЛИЗОВ	139
Никитин Н.О., Полонская Я.С., Калюжная А.В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ШЕЛЬФЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДЕЛЕЙ МОРСКОЙ СРЕДЫ И МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ	141
Никишин В.В., Багаев А.В. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО НАДВОДНОГО АППАРАТА ДЛЯ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ В ПРИБРЕЖНОЙ ОБЛАСТИ МОРЯ.	143
Новиков М.А., Крылов А.А. КРАТКОВРЕМЕННЫЙ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В ВОСТОЧНО- СИБИРСКОМ МОРЕ	145
Павлова А.В., Архипкин В.С., Мысленков С.А. ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СГОННО-НАГОННЫХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ МОРЯ В СЕВЕРНОМ КАСПИИ	146
Панасенкова И.И., Дианский Н.А., Фомин В.В. ВЛИЯНИЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ИНТЕНСИВНЫХ ПОЛЯРНЫХ ЦИКЛОНОВ НА ГИДРОТЕРМОДИНАМИКУ БАРЕНЦЕВА МОРЯ	148
Панфилова М.А., Шиков А.П., Караев В.Ю. ИЗМЕРЕНИЕ ДИСПЕРСИИ УКЛОНОВ МОРСКОГО ВОЛНЕНИЯ В СВЧ ДИАПАЗОНЕ ПРИ МАЛЫХ УГЛАХ ПАДЕНИЯ	150
Подобед А.Ю., Крылов А.А. СЕЙСМИЧНОСТЬ ЛАПТЕВОМОРСКОГО РЕГИОНА	152
Пузина О.С., Мизюк А.И. БАЛАНС ТУРБУЛЕНТНОЙ ЭНЕРГИИ ЧЁРНОГО МОРЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	154
Рубакина В.А., Кубряков А.А., Станичный С.В., Мизюк А.И. ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ И ДАННЫМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	156
Сафонова К.А. ИЗМЕНЧИВОСТЬ СПЛОЧЕННОСТИ ЛЬДОВ СЕВЕРО-ЕВРОПЕЙСКОГО БАССЕЙНА	158

Свергун Е.И., Козлов И.Е. КОРОТКОПЕРИОДНЫЕ ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ НА ШЕЛЬФЕ БЕРИНГОВА МОРЯ ПО ДАНЫМ СОВРЕМЕННЫХ СПУТНИКОВЫХ РАДИОЛОКАТОРОВ С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ	160
Сендеров М.В., Мизюк А.И. ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ХАЛИННОЙ СТРУКТУРЫ ЧЕРНОГО МОРЯ	162
Сильвестрова К.П., Фрей Д.И., Осадчиев А.А., Мысленков С.А. РЕЗУЛЬТАТЫ ПОСТАНОВКИ ЗАЯКОРЕННЫХ ТЕРМОКОС В ПРОЛИВЕ ВИЛЬКИЦКОГО ОСЕНЬЮ 2019 Г.	164
Собаева Д.А., Степанова Н.Б. ПОИСК КРИТЕРИЯ ВЫДЕЛЕНИЯ СТРУКТУРЫ ХОЛОДНОГО ПРОМЕЖУТОЧНОГО СЛОЯ В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ	166
Соколов А.А., Гордеева С.М. АДВЕКЦИЯ ТЕПЛА В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ	168
Соловьев Д.А. ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ НА КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В АРКТИКЕ	169
Спиряхина А.А., Червяков М.Ю. РЕЗУЛЬТАТЫ СОПОСТАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА И СОСТАВЛЯЮЩИХ РАДИАЦИОННОГО БАЛАНСА ЗЕМЛИ В ТРОПИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА ВО ВРЕМЯ СОБЫТИЙ ЭЛЬ-НИНЬО ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОГО ЗОНДИРОВАНИЯ	171
Сумкина А.А., Богородский П.В. КОНВЕКТИВНЫЙ ТЕПЛОПЕРЕНОС В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ МОРСКОГО ЛЬДА	173
Сухонос П.А., Сухонос О.Ю. СЕВЕРОАТЛАНТИЧЕСКОЕ КОЛЕБАНИЕ И ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ВЕРХНЕГО ПЕРЕМЕЩАННОГО СЛОЯ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ	175
Тарханова М.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ СОСТОЯНИЯ АРКТИЧЕСКОГО ХАЛОКЛИНА НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА	177
Травкин В.С., Белоненко Т.В. МЕЖГОДОВАЯ И СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК МЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЫ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ	179
Тузов Ф.К. КАЧЕСТВЕННАЯ И КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА КАСКАДИНГА ПО МОДЕЛЬНЫМ ДАНЫМ ДЛЯ БАССЕЙНА СЛО	181

Тюлькина Д.С., Хаймина О.В. ВЕЛИЧИНА ИНТЕГРАЛЬНОГО КЛИМАТИЧЕСКОГО ИНДЕКСА ДЛЯ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ: ФАКТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРОГНОЗА	183
Федоров А.М., Белоненко Т.В. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕРМОХАЛИННОЙ СТРУКТУРЫ ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЫ НОРВЕЖСКОГО МОРЯ	185
Фомин В.В., Дианский Н.А., Коршенко Е.А., Выручалкина Т.Ю. СИСТЕМА КРАТКОСРОЧНОГО ДИАГНОЗА И ПРОГНОЗА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАСПИЙСКОГО МОРЯ И ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПРОГНОЗОВ ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ	187
Фролова А.В., Белоненко Т.В. ВОЛНОВОД ДЛЯ ВОЛН РОССБИ И ЕГО ГРАНИЦЫ В АНТАРКТИЧЕСКОМ ЦИРКУМПОЛЯРНОМ ТЕЧЕНИИ	189
Химченко Е.Е., Серебряный А.Н., Попов О.Е., Кенигсбергер Г.В., Медведовский В.В. МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ВОД НА АБХАЗСКОМ ШЕЛЬФЕ ЧЕРНОГО МОРЯ	191
Чистяков И.А. ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВОД ЗАЛИВА ПРЮДС ПО ДАННЫМ СУДОВЫХ И АВТОНОМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ	193
Шапкин Б.С., Рубченя А.В., Иванов Б.В., Смоляницкий В.М., Федорова А.Д. СЕЗОННЫЕ И ДОЛГОПЕРИОДНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ В РАЙОНЕ АРХИПЕЛАГОВ ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА И ШПИЦБЕРГЕН В XX–XXI ВЕКАХ	195
Шпак П.М. , Тараканов Р.Ю. О ШИРИНЕ АНТАРКТИЧЕСКОГО ЦИРКУМПОЛЯРНОГО ТЕЧЕНИЯ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ АЛЬТИМЕТРИИ И ТОПОГРАФИИ ДНА ОКЕАНА	197
Штремель М.Н. ВЕРИФИКАЦИЯ ДАННЫХ РЕАНАЛИЗА ERA5 ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ВОЛНЕНИЕМ С ПОМОЩЬЮ ВОЛНОИЗМЕРИТЕЛЬНОГО БУЯ SPOONDRIFT SPOTTER	199
Юровская М.В., Кудрявцев В.Н., Шапрон Б. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН В УРАГАНЕ	201
Яковлева Д.А., Башмачников И.Л., Голубкин П.А. МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ГЛУБОКОЙ КОНВЕКЦИИ В МОРЕ ИРМИНГЕРА	203

СЕКЦИЯ «ФИЗИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОКЕАНА»	205
Глуховец Д.И., Салюк П.А., Артемьев В.А., Салинг И.В., Штрайхерт Е.А. ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БИООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ВОД НА ТРАНСАТЛАНТИЧЕСКОМ РАЗРЕЗЕ В 2019-2020 ГГ	205
Гущина А.С., Юркин Р.А. ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХЛОРОФИЛА «А», ТЕМПЕРАТУРЫ И СОЛЕННОСТИ ВОДЫ НА РАЗРЕЗАХ В ФИНСКОМ ЗАЛИВЕ В ИЮЛЕ 2019 ГОДА . . .	207
Емельянцева П.С., Жильцова А.А., Воронов Д.А., Краснова Е.Д., Рымарь В.В., Пацаева С.В. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БАКТЕРИОХЛОРОФИЛЛА ЗЕЛЕННЫХ СЕРОБАКТЕРИЙ В ВОДОЕМАХ, ОТДЕЛЯЮЩИХСЯ ОТ БЕЛОГО МОРЯ: МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ	209
Казакова У.А., Куликова Ж.М. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАЗВИТИЕ ПЛАНКТОНА В ГЕЛЕНДЖИКСКОЙ БУХТЕ ЛЕТОМ 2019 Г.	211
Кивва К.К., Писарева М.Н. СВЯЗЬ СРОКОВ ВЕСЕННЕГО «ЦВЕТЕНИЯ» ФИТОПЛАНКТОНА С ФЕНОЛОГИЕЙ ЛЕДОВЫХ ПРОЦЕССОВ В БЕРИНГОВОМ И ЧУКОТСКОМ МОРЯХ	213
Маркина Ж.В., Бегун А.А., Лазарюк А.Ю., Орлова Т.Ю. ПОДЛЕДНОЕ «ЦВЕТЕНИЕ» В АМУРСКОМ ЗАЛИВЕ (ЯПОНСКОЕ МОРЕ)	215
Маховиков А.Д. ДИСТАНЦИОННЫЕ ОЦЕНКИ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ В ЯПОНСКОМ МОРЕ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ	217
Полетаев Д.А., Соколенко Б.В. ИЗМЕРЕНИЕ СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ МОРСКОЙ ВОДЫ С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВОЙ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ МИКРОСКОПИИ	219
Рогинская М.О. ВЛИЯНИЕ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ СЕРЫХ КИТОВ (ESCHRICHTIUS ROBUTUS) У СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ О. САХАЛИН ЗА 2002-2010 ГГ	221
Чепикова С.С., Кондрик Д.В., Игнатъева Е.С. НОВЫЙ АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ «ЦВЕТЕНИЙ» КОККОЛИТОФОР В МИРОВОМ ОКЕАНЕ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ПО ЦВЕТУ ОКЕАНА	223

Швед Я.В., Фролова Н.С.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОГО «ЦВЕТЕНИЯ» ВОД ЖЁЛТОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ СЛУЖБЫ МОНИТОРИНГА МОРСКОЙ СРЕДЫ COPERNICUS	225
Шоларь С.А., Латушкин А.А., Суслин В.В., Рябоконт Д.А., Корчёмкина Е.Н., Стёпочкин И.Е.	
СПЕКТРАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ПОКАЗАТЕЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ОСЛАБЛЕНИЯ СВЕТА В ВЕРХНЕМ СЛОЕ ЧЁРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ВЕСНОЙ 2019 ГОДА В 106 РЕЙСЕ НИС «ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ»	227
Шоларь С.А., Степанова О.А.	
ВЛИЯНИЕ МОРСКИХ ВИРУСОВ И ВИРУСНОГО ЛИЗИСА ФИТОПЛАНКТОНА НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ	229
СЕКЦИЯ «БИОЛОГИЯ ОКЕАНА»	231
Андреева А.Ю.	
ВЛИЯНИЕ ГИПОКСИИ НА АНТИОКСИДАНТНЫЙ СТАТУС КЛЕТОК ГЕМОЛИМФЫ И ЖАБР УСТРИЦЫ, CRASSOSTREA GIGAS	231
Бауэр М.Г., Судник С.А.	
НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ О РАЗМЕРАХ КРАБОВ ХАРРИСА (RHITHROPANORPEUS HARRISII (GOULD, 1841)). (DECAPODA: BRANCHYURA: PANORPEIDAE) С ПРИБРЕЖНЫХ ВОД КАЛИНИНГРАДСКОГО ЗАЛИВА В 2010 Г.	233
Большакова Я.Ю., Большаков Д.В.	
СМЕНА ВИДОВОГО СОСТАВА ИХТИОПЛАНКТОНА НА РАЗРЕЗЕ ЧЕРЕЗ ТРОПИЧЕСКИЕ И ЭКВАТОРИАЛЬНЫЕ ВОДЫ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ	235
Борисанова А.О.	
НОВЫЕ НАХОДКИ ВНУТРИПОРОШИЦЕВЫХ В МОРЯХ РОССИИ	237
Василенко Л.Н.	
НАХОДКИ ИНFUZОРИЙ - ТИНТИНИД В ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКАХ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ ЛАПТЕВЫХ И ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО	239
Вьшкваркова Е.В., Трусевич В.В., Кузьмин К.А., Мищуров В.Ж., Журавский В.Ю.	
ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ ЧЕРНОМОРСКОЙ МИДИИ	241
Евсеева О.Ю.	
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СООБЩЕСТВ МШАНОК (BRYOZOA) СЕВЕРНОГО И ЮЖНОГО РАЙОНОВ БАРЕНЦЕВА МОРЯ	243
Егорова Ю.Е., Судник С.А.	
МОРФОМЕТРИЯ И ПОЛОВОЕ СОЗРЕВАНИЕ САМЦОВ КАМЕННОЙ КРЕВЕТКИ PALAEMON ELEGANS (CRUSTACEA: DECAPODA: PALAEMONIDAE) ИЗ МОРСКИХ ПОСЕЛЕНИЙ У ПОБЕРЕЖЬЯ КУРШСКОЙ КОСЫ	245
Жукова К.А., Головатюк Г.Ю.	
ТЕМП ПОЛОВОГО СОЗРЕВАНИЯ СЕВЕРНОГО ОДНОПЕРОГО ТЕРПУГА В 2019 Г.	247

Захарова Н.Б.	
ТРОФИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И БИОМАССА АРКТИЧЕСКОГО ЗООПЛАНКТОНА В ЕВРОПЕЙСКОМ БАССЕЙНЕ В 2017 ГОДУ	249
Захарова Н.Б., Поважный В.В.	
РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ В 2018 ГОДУ	251
Иванова Н.Ю.	
ПРИСПОСОБЛЕНИЯ АКТИНИЙ ИНФРАОТРЯДА ATHENARIA (ACTINIARIA, ANTHOZOA, CNIDARIA) К ОБИТАНИЮ НА МЯГКИХ ГРУНТАХ	253
Канафина М.М., Голиков А.В., Захаров Д.В., Яковлева А.И., Сальникова М.М., Габидуллина Р.И., Порфирьев А.Г., Сабиров Р.М.	
МОРФОЛОГИЯ ОТДЕЛЬНЫХ СТАДИЙ ОНТОГЕНЕЗА NEREILINUM MURMANICUM IVANOV, 1961 (POGONOPHORA: FRENULATA)	255
Кладченко Е.С., Кухарева Т.А., Рычкова В.Н.	
ВЛИЯНИЕ ГИПОКСИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕМОЦИТОВ ANADARA KAGOSHIMENSIS (TOKUNAGA, 1906)	257
Кудрявцева Е.А., Канапацкий Т.А.	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДУКЦИИ БАКТЕРИЙ В ВОДАХ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ РАЗНЫМИ МЕТОДАМИ	259
Кузьмичева Т.А., Мишин А.В., Большаков Д.В., Щеглова Я.В.	
ВИДОВОЙ СОСТАВ И ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИХТИОПЛАНКТОНА КАРСКОГО МОРЯ В ИЮЛЕ-АВГУСТЕ 2019 ГОДА	261
Лепихина П.П., Портнова Д.А., Мокиевский В.О., Голиков А.В.	
ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СООБЩЕСТВА НЕМАТОД В ОБСКОЙ ГУБЕ (КАРСКОЕ МОРЕ)	263
Лисицына К.Н., Филиппова Н.А., Никишина Д.В., Шунатова Н.Н., Кийко О.А., Герасимова А.В., Максимович Н.В.	
О СТАБИЛЬНОСТИ СТРУКТУРЫ МАКРОБЕНТОСА В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ	265
Любимов И.В., Колючкина Г.А., Семин В.Л., Чикина М.В., Басин А.Б., Островский А.Г.	
ДОННЫЕ СООБЩЕСТВА НИЖНИХ ГРАНИЦ ОКСИФИЛЬНОЙ ЗОНЫ ЧЕРНОГО МОРЯ	267
Мазникова О.А., Емелин П.О., Григоров И.В.	
ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ САЙКИ (BOREOGADUS SAIDA) В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧУКОТСКОГО МОРЯ В АВГУСТЕ-СЕНТЯБРЕ 2017 Г	269
Мельник А.С., Ланге Е.К., Ежова Е.Е.	
ФИТОПЛАНКТОН РОССИЙСКИХ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКЕ В АВГУСТЕ 2018 Г. В ПЕРИОД ЛЕТНЕГО ЦИАНОБАКТЕРИАЛЬНОГО ЦВЕТЕНИЯ	271

Назарова С.А., Овчаренко Е.А., Генельт-Яновский Е.А. МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СЕРДЦЕВДКИ СЪЕДОБНОЙ <i>CERASTODERMA EDULE</i> (LINNAEUS, 1758) В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ АРЕАЛА	273
Овчинникова А.И. ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МОРФОЛОГИИ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ . . .	275
Орлов М.А., Шелудков А.В., Екимова И.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ (SDM) ГОЛОЖАБЕРНЫХ МОЛЛЮСКОВ (<i>NUDIBRANCHIA</i>) БЕЛОГО МОРЯ	277
Панова Н.В., Воякина Е.Ю. РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНО ТОКСИЧНЫХ ВИДОВ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА В РАЙОНЕ ВАЛААМСКОГО АРХИПЕЛАГА	279
Перевозчикова Д.П., Полунина Ю.Ю. ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИИ <i>EUBOSMINA</i> <i>MARITIMA</i> (CLADOCERA, CRUSTACEA) В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ	281
Поддужева Е.А., Судник С.А. МОРФОМЕТРИЯ И РАЗМЕР ПОЛОВОЗРЕЛОСТИ САМЦОВ КРАБОВ <i>SEULOCIA</i> <i>VITTATA</i> (STIMPSON, 1858) (CRUSTACEA: MALACOSTRACA: DECAPODA: BRACHYURA: LEUCOSIIDAE) ЗАЛИВА НЯЧАНГ (ВЬЕТНАМ), ЮЖНО-КИТАЙСКОГО МОРЯ	283
Репкин Е.А., Мальцева А.Л., Варфоломеева М.А., Гранович А.И. ПОДРАЗДЕЛЁННОСТЬ ПОПУЛЯЦИЙ МИКРОФАЛЛИДНЫХ ТРЕМАТОД (TREMATODA, MICROPOLLIDAE) - ПАРАЗИТОВ МОРСКИХ ГАСТРОПОД РОДА <i>LITTORINA</i>	285
Сакович А.Д. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ АЦИДИФИКАЦИИ МОРСКИХ ВОД НА ПРОМЫСЛОВЫЕ ВИДЫ РЫБ (ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР)	287
Салахов Д.О., Рыжик И.В. ВЛИЯНИЕ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЗЕЛЕННОЙ ВОДОРΟΣЛИ <i>ULVA LACTUCA</i> L. БАРЕНЦЕВА МОРЯ	289
Сергеева В.М., Шульга Н.А., Ульяновцев А.С. ОТКЛИК ФИТОПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ЧЕРНОГО МОРЯ НА ВЫНОС МАЛЫХ РЕК КАВКАЗА В ПЕРИОД ИХ МИНИМАЛЬНОГО СТОКА	291
Смирнов В.В., Радченко И.Г., Сухотин А.А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ БИОМАССЫ И ЧИСЛЕННОСТИ ФИТОПЛАНКТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОГРУЖНОГО ФЛУОРИМЕТРА CUSCLOPS-7 В БЕЛОМ МОРЕ	293
Смирнова М.М. ЦИАНОБАКТЕРИАЛЬНЫЕ «ЦВЕТЕНИЯ» В ПРИБРЕЖНОЙ ЧАСТИ КУРШСКОГО ЗАЛИВА В 2015-2017 ГГ.	295

Тимченко А.И., Портнова Д.А., Семин В.Л. КРИОФАУНА МОРСКОГО ЛЬДА В РАЙОНЕ АРХИПЕЛАГА ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА	298
Халматова Э.Р., Гулюгин С.Ю. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИКТОФОВЫХ РЫБ В ЗОНЕ МАРОККО В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ	300
Ходонович В.В., Явид Е.Я. КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ МЕТАБОЛИТОВ РОТАМОGETON PERFOLIATUS L. В РАЗНОТИПНЫХ ВОДОЕМАХ КАК ИНДИКАТОР ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ	302
Чаузова Д.В., Судник С.А. НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ ПО МОРФОМЕТРИИ И СОЗРЕВАНИЮ САМЦОВ КРАБА RHITHROPORANOREUS HARRISII (GOULD, 1841) (DECAPODA: BRACHYURA: RANOREIDAE) С АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО БАССЕЙНА	304
Щербакова П.А., Гавирова Л.А., Попова А.А., Ельченинов А.Г., Шестаков А.И., Кубланов И.В. АНАЛИЗ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ ЧЕРВЕЙ ТИПА ANNELIDA АКВАТОРИИ БЕЛОГО МОРЯ	306
СЕКЦИЯ «МОРСКАЯ ГЕОЛОГИЯ»	308
Буданов Л.М. ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДРЕВНИХ ПОГРЕБЕННЫХ ДОЛИН НЕВСКОЙ ГУБЫ	308
Видищева О.Н., Егошина Е.Д., Кудаев А.А., Соловьева М.А., Ахманов Г.Г., Хлыстов О.М. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗОН ФОКУСИРОВАННОЙ РАЗГРУЗКИ УГЛЕВОДОРОДОВ НА ДНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ	310
Дудков И.Ю. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДВОДНОЙ ДОЛИНЫ НА ЮГОВОСТОЧНОМ СКЛОНЕ ГОТЛАНДСКОЙ ВПАДИНЫ (БАЛТИЙСКОЕ МОРЕ)	312
Егошина Е.Д., Видищева О.Н., Деленгов М.Т., Ахманов Г.Г., Хлыстов О.М. ЛИТОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ФЛЮИДОНАСЫЩЕННОСТИ ОТЛОЖЕНИЙ РАЙОНА СУБАКВАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОЯВЛЕНИЙ «ГОРЕВОЙ УТЁС» (ОЗ. БАЙКАЛ)	314
Карманов В.А., Дриц А.В., Кравчишина М.Д., Кловиткин А.А. РОЛЬ ЗООПЛАНКТОНА В ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПОТОКАХ ОСАДОЧНОГО ВЕЩЕСТВА В ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЕ	316
Киреенко Л.А. БИОСТРАТИГРАФИЯ ПОЗДНЕЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ И ПАЛЕООКЕАНОЛОГИЯ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ АНАЛИЗА БЕНТОСНЫХ ФОРАМИНИФЕР (КОЛОНКА АНС41-14)	318

Козина Н.В., Рейхард Л.Е., Дара О.М., Гордеев В.В., Коченкова А.И. ЛИТОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ И ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОВРЕМЕННЫХ ДОННЫХ ОСАДКОВ В ГЛУБОКОВОДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ В РАЙОНЕ СЕРОВОДОРОДНОГО ЗАРАЖЕНИЯ	320
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 ЛИТОЛОГОМИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ, ГЕОХИМИЧЕСКИХ И МИКРОПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ	322
Колтовская Е.В., Немировская И.А., Булохов А.В. ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА В МОРЯХ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ	324
Кривошлык П.Н., Пугачёва Т.Л., Бочерикова И.Ю., Муратова А.А. НОВЫЕ НАХОДКИ НИЖНЕПАЛЕОЗОЙСКИХ ИСКОПАЕМЫХ В ЛЕДНИКОВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ САМБИЙСКОГО ПОЛУОСТРОВА (КАЛИНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ)	326
Кубова В.В. ВОЛНООБРАЗНЫЕ ФОРМЫ РЕЛЬЕФА ОКЕАНИЧЕСКОГО ДНА В ЮЖНОЙ ЧАСТИ НОВОГВИНЕЙСКОГО МОРЯ.	328
Кулешова Л.А., Баширова Л.Д. УСЛОВИЯ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ К ВОСТОКУ ОТ СРЕДИННО-АТЛАНТИЧЕСКОГО ХРЕБТА В СРЕДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ-ГОЛОЦЕНЕ	330
Мазнев С.В., Вергун А.П., Огородов С.А. МОРСКИЕ ЛЬДЫ КАК ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ РЕЛЬЕФА ДНА КАСПИЙСКОГО МОРЯ	332
Максеев Д.С., Шакиров Р.Б., Аксентов К.И., Федоров С.А. ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮЖНОТАТАРСКОГО БАССЕЙНА	334
Немченко Н.В., Борисов Д.Г. СРЕДНЕ-ПОЗДНЕЧЕТВЕРТИЧНОЕ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЕ НА КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ОКРАИНЕ СЕВЕРА АРГЕНТИНСКОЙ КОТЛОВИНЫ (ЮЖНАЯ АТЛАНТИКА)	336
Никитин Д.С. КАТАГЕНЕТИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА СЕВЕРОВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВОМОРСКОГО ШЕЛЬФА	338
Овсебян Е.А., Иванова Е.В., Тетард М., Макс Л., Тидеманн Р. ЧИСЛЕННЫЕ РЕКОНСТРУКЦИИ СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БЕРИНГОВА МОРЯ В ИНТЕРВАЛЕ ПОСЛЕДНЕЙ ДЕГЛЯЦИАЦИИ ПО КОМПЛЕКСАМ БЕНТОСНЫХ ФОРАМИНИФЕР	340

Овсепян Я.С., Талденкова Е.Е., Шпильхаген Р.Ф., Кассенс Х., Баух Х.А., Штайн Р., Аверкина Н.О., Русаков В.Ю., Руденко О.В.	
ИЗМЕНЕНИЯ УСЛОВИЙ ПАЛЕОСРЕДЫ В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ И ПРОЛИВЕ ВИЛЬКИЦКОГО НА ПРОТЯЖЕНИИ ПОСЛЕДНИХ 12.5 КАЛЕНДАРНЫХ ТЫСЯЧ ЛЕТ	342
Пономаренко Е.П.	
ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ГДАНЬСКОГО БАССЕЙНА В ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ СЕДИМЕНТАЦИОННЫХ КОЛОНОК	344
Попова Е.А., Штайн Р.	
ХАРАКТЕРИСТИКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ДОННЫХ ОСАДКОВ НА ЮГЕ ХРЕБТА ЛОМОНОСОВА (СЕВЕРНЫЙ ЛЕДОВИТЫЙ ОКЕАН)	346
Соловьева М.А., Видищева О.Н., Ахманов Г.Г., Хлыстов О.М.	
ВЛИЯНИЕ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА ФОКУСИРОВАННУЮ РАЗГРУЗКУ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ НА ОЗЕРЕ БАЙКАЛ	348
Соснина И.А., Ананян А.С., Напреенко-Дорохова Т.В., Напреенко М.Г., Королева Ю.В., Орлов А.В., Субетто Д.А.	
ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЛАНДШАФТА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ КУРШСКОЙ КОСЫ В ГОЛОЦЕНЕ ПО ДАННЫМ ИССЛЕДОВАНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕРА ЧАЙКА	350
Сухих Е.А.	
РАДИОГЕННАЯ ТЕПЛОГЕНЕРАЦИЯ В ВЕРХНЕМ СЛОЕ ДОННЫХ ОСАДКОВ В ЮЖНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВО-КАРСКОГО РЕГИОНА	352
Хаустова Н.А., Тихомирова Ю.И., Полудеткина Е.Н., Корост С.Р., Воропаев А.В., Мироненко М.В., Спасенных М.Ю.	
ВЛИЯНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ НА ПОВЕДЕНИЕ УРАНА В МОРСКИХ ОСАДКАХ	354
Хомчановский А.Л.	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕСТРОЙКИ ПРОФИЛЯ РАВНОВЕСИЯ ОКЕАНИЧЕСКОГО ПЛЯЖА В РЕЗУЛЬТАТЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КОСЕЙСМИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ ПОВЕРЕЖЬЯ	356
СЕКЦИЯ «ХИМИЯ ОКЕАНА»	358
Бежин Н.А., Довгий И.И.	
ИЗВЛЕЧЕНИЕ РАДИОИЗОТОПОВ ИЗ МОРСКОЙ СРЕДЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОКЕАНОЛОГИИ	358
Борисенко Г.В.	
ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКОВ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗОНЕ СМЕШЕНИЯ МОРСКИХ И РЕЧНЫХ ВОД	359
Видничук А.В., Коновалов С.К.	
ОЦЕНКА МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК ХОЛОДНОГО ПРОМЕЖУТОЧНОГО СЛОЯ КАК ИСТОЧНИКА КИСЛОРОДА В ВОДАХ ЧЕРНОГО МОРЯ	361

Довгий И.И., Козловская О.Н., Кременчуцкий Д.А., Бежин Н.А., Проскурнин В.Ю.	
ИЗВЛЕЧЕНИЕ КОСМОГЕННЫХ ИЗОТОПОВ ФОСФОРА ^{32}P , ^{33}P ИЗ МОРСКОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ БИОДИНАМИКИ ФОСФОРА	363
Еремейко Т.Н., Двоглазова Н.В.	
ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ ЛЕТОМ 2019 ГОДА	364
Зологина Е.Н., Римская-Корсакова М.Н.	
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАСТВОРЕННЫХ MO , W И V НА ГРАНИЦЕ ОКИСЛЕННЫХ И ВОССТАНОВЛЕННЫХ ВОД В ЧЕРНОМ МОРЕ	366
Ижицкая Е.С., Егоров А.В., Завьялов П.О.	
СОВРЕМЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ РАСТВОРЕННОГО МЕТАНА В ОСТАТОЧНЫХ ВОДОЕМАХ АРАЛЬСКОГО МОРЯ	368
Изосимова О.Н., Горшков А.Г.	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В МОРСКИХ И ПРЕСНЫХ ВОДАХ НА СЛЕДОВОМ УРОВНЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ	370
Киль А.О.	
ЖЕЛЕЗО-ЛИМИТИРУЮЩИЙ ФАКТОР ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ В АНТАРКТИКЕ	372
Коссова С.А., Дубинина Е.О.	
ОПРЕСНЕНИЕ МОРСКИХ ВОД В ЗАЛИВАХ СТЕПОВОГО И АБРОСИМОВА (ЮЖНЫЙ ОСТРОВ, НОВАЯ ЗЕМЛЯ) ПО ИЗОТОПНЫМ ($\delta^{18}\text{O}$, δD) ДАННЫМ	374
Кременчуцкий Д.А.	
СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИИ БЕРИЛЛИЯ-7 (^7Be) В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ	376
Крыленко В.И.	
ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ЭСТУАРНОГО ФРОНТА ОБСКОЙ ГУБЫ	377
Куриная Ю.С., Орехова Н.А.	
ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БАЛАКЛАВСКОЙ БУХТЫ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ	379
Курносова А.С.	
ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЗАЛИВЕ АЛЯСКА В ЗИМНИЙ ПЕРИОД (ФЕВРАЛЬ 2019)	381
Малахова Л.В., Лобко В.В.	
СОДЕРЖАНИЕ ХЛОРООРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ПРИБРЕЖНЫХ МОРСКИХ АКВАТОРИЯХ КРЫМА И КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ В 2019 Г.	383
Мыслина М.А., Орехова Н.А., Вареник А.В.	
ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЧЕРНОМ МОРЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В 2018 Г.	385

Переверзев Р.А., Дубинина Е.О., Коссова С.А. ИЗОТОПНЫЕ ($\delta^{18}\text{O}$, δD) ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЧНОГО СТОКА ОБИ И ЕНИСЕЯ В КАРСКОЕ МОРЕ	387
Полухин А.А., Заговенкова А.Д., Хлебопашев П.В., Осадчиев А.А. ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СТОКА РЕК АБХАЗИИ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПРИБРЕЖНУЮ СТРУКТУРУ ВОД	389
Полухин А.А., Тищенко П.П., Медведев Е.В., Пронина Ю.О., Фрей Д.И. ОСОБЕННОСТИ АСИДИФИКАЦИИ ВОД МОРЕЙ АРКТИКИ И АНТАРКТИКИ	391
Пронина Ю.О., Полухин А.А. МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЧНОГО СТОКА ОБИ И ЕНИСЕЯ	393
Реджепова З.Ю., Немировская И.А. ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ В ЗОНЕ СМЕШЕНИЯ РЕКА-МОРЕ	395
Свищев С.В. РЕЖИМНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСТВОРЕННОГО КИСЛОРОДА В ГЛУБОКОВОДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ЗИМНЕЙ КОНВЕКЦИИ (ПО ДАННЫМ БУЕВ БИО-АРГО) ...	397
Семилова Л.С., Дубинин А.В., Римская-Корсакова М.Н. СУЛЬФАТ – ХЛОРНОЕ ОТНОШЕНИЕ В ВОДЕ ЧЕРНОГО МОРЯ КАК ОТРАЖЕНИЕ ПРОЦЕССА СУЛЬФАТРЕДУКЦИИ	399
Сташко А.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В КУРШСКОМ ЗАЛИВЕ В 2018-2019 ГГ	401
Чайкин Д.Ю., Вертерич А.В., Козловская О.Н., Бежин Н.А., Довгий И.И. СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОЧАГАХ СУБМАРИННОЙ РАЗГРУЗКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД У МЫСА АЙЯ	403
Шибецкая Ю.Г., Товарчий Я.Ю., Кременчуцкий Д.А., Бежин Н.А., Довгий И.И. СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ АКТИВНОСТИ ИЗОТОПОВ РАДИЯ В МЕСТАХ СУБМАРИННОЙ РАЗГРУЗКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД	405
СЕКЦИЯ «МОРСКОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ»	407
Александрова Н.В., Александрова А.Г. УПРАВЛЕНИЕ КОНФЛИКТАМИ ОСНОВНЫХ ВИДОВ МОРЕПОЛЬЗОВАНИЯ В БАРЕНЦЕВОМОРСКОМ РЕГИОНЕ. МОРСКОЙ НЕФТЕГАЗОВЫЙ КОМПЛЕКС	407
Багаев А.В., Ахметова А.Р., Муханов В.С., Венкатачалапати Р. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФИЛЬТРАЦИИ ТРЕХМЕРНЫХ ЧАСТИЦ МИКРОПЛАСТИКА ПРИ ПРОБООТБОРЕ В МОРСКОЙ СРЕДЕ	409

Буканова Т.В., Гоголев Д.Г. МЕЖГОДОВЫЕ И СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА «А» В ПОВЕРХНОСТНОМ ГОРИЗОНТЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАНЫМ	410
Греков А.Н., Никишин В.В., Шишкин Ю.Е. СИСТЕМА ПОИСКА АНОМАЛИЙ В ПОЛЯХ МОНИТОРИНГА ПРИБРЕЖНЫХ ВОД НА БАЗЕ БЕСПИЛОТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ	412
Гузева А.В., Зеленковский П.С., Иванова Е.В., Тихонова Д.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТИЦ МИКРОПЛАСТИКА В ФИНСКОМ ЗАЛИВЕ И ЛАДОЖСКОМ ОЗЕРЕ	414
Зубцова А.С., Сташко Д.А., Лисицкая И.Г., Вах Е.А., Зубцова И.Л. ПРОБЛЕМА ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОРСКИХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО И РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИХ ОЦЕНКИ	415
Клещенков А.В., Ластовина Т.А., Будник А.П., Пляка П.С., Филатова Т.Б. НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОПЛАСТИКА В УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ ДОНА	417
Коробченкова К.Д., Ершова А.А. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ВЫНОСА БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ВОДОСБОРА С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ФИНСКОГО ЗАЛИВА	419
Кузьмина А.С., Миннигазимова Л.И., Ершова А.А. ЗАГРЯЗНЕНИЕ МОРСКИМ МУСОРОМ ПОБЕРЕЖИЙ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА: РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	421
Куприянова А.Е., Лобчук О.И., Есюкова Е.Е., Володина А.А., Чубаренко И.П. МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА СОДЕРЖАНИЯ МИКРОПЛАСТИКА В СООБЩЕСТВАХ МАКРОВОДОРОСЛЕЙ НА ПОДВОДНОМ СКЛОНЕ САМБИЙСКОГО ПОЛУОСТРОВА	423
Лапенков А.Е., Зуев Ю.А. ВОЗДЕЙСТВИЕ ФОРЕЛЕВЫХ ХОЗЯЙСТВ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ	425
Лобчук О.И., Есюкова Е.Е., Килесо А.В. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПЛЯЖЕЙ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ ПЛАСТИКОВЫМ МУСОРОМ НА ОСНОВЕ МОНИТОРИНГА ПО МЕТОДУ OSPAR	427
Макеева И.Н., Ершова А.А., Еремина Т.Р., Татаренко Ю.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МИКРОПЛАСТИКОМ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ	429
Мартын И.А., Царёв В.А., Кузнецова М.Н. МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНОВОЙ ОБСТАНОВКИ НА ЗАЩИЩЁННОЙ АКВАТОРИИ ПОРТА	431

Медведева В.Н. ПОПУЛЯРИЗАЦИЯ НАУКИ – ВОЗМОЖНОСТИ VS СЛОЖНОСТИ	433
Погожева М.П., Якушев Е.В., Терский П.Н., Глазов Д.М., Шпак О.В., Аляутдинов В.А., Коршенко А.Н., Ханке Г. ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ БАРЕНЕЦЕВА И БЕЛОГО МОРЕЙ ПЛАВАЮЩИМ МОРСКИМ МУСОРОМ ПО ДАННЫМ СУДОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В 2019 Г.	435
Поляков А.Д., Ершова А.А. ПРОБЛЕМА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОБЕРЕЖИЙ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА ГРАНУЛЯТОМ ПЛАСТИКА	437
Санин А.Ю. К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА В УПРАВЛЕНИИ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕМ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	439
Свищев С.В. ПРОСТРАНСТВЕННО-РАСПРЕДЕЛЕННАЯ МОДЕЛЬ РЕКРЕАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРИРОДНО-ХОЗЯЙСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ СЕВАСТОПОЛЬСКОГО РЕГИОНА	441
Хатмуллина Л.И., Есюкова Е.Е., Чубаренко И.П., Гирайте Г. МОНИТОРИНГ ПЛАСТИКОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ПОБЕРЕЖЬЯХ ВНУТРЕННИХ ВОДОЕМОВ (КУРШСКИЙ И ВИСЛИНСКИЙ ЗАЛИВЫ)	443

ЦВЕТЕНИЕ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В ЧЕРНОМ МОРЕ ПО ДАННЫМ СЕНСОРОВ СПУТНИКОВ LANDSAT И MODIS И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ИХ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫДЕЛЕНИЯ

Алескерова А.А., Кубряков А.А., Станичный С.В., Лишаев П.Н.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

Annete08@mail.ru

Ключевые слова: цианобактерии, Landsat, MODIS.

В Черное море впадает большое количество рек, приводящих к возникновению обширных опресненных районов с обилием питательных веществ, что способствует цветению цианобактерий. Данный вид водорослей является токсичным, может вызывать заморы рыб и гипоксию, отрицательно влияя на морскую экосистему.

Первые цветения цианобактерий в мелководной и опресненной северо-западной части Черного моря были замечены в 50–60 гг. прошлого столетия [1]. Максимально сильное цветение цианобактерий вида *Nodularia spumigena* до настоящего времени наблюдалось в 2010 г. и описано в работе [2].

В данной работе проведен анализ спутниковых снимков с высоким пространственным разрешением по данным спутника Landsat с 1986 по 2019 гг. для района Каркинитского залива, Днепровского и Днестровского лиманов, у устья реки Дунай. За данный период времени было отобрано 137 безоблачных сцен, на которых наблюдаются цианобактерии. Критерии выделения зон цветения описаны в работе [3].

Сильные цветения цианобактерий были отмечены в 1986–1988 годах у гирла Днестровского лимана и у устья реки Дунай. После, на протяжении длительного времени, такие сильные цветения не возникали. Возможно, это связано с прекращением поступления большого количества пестицидов в море со стоком рек [4]. Обширные по площади цветения также наблюдались в 2009 году в Каркинитском заливе у берегов Тендровской косы. На основе статистического анализа получено пространственное распределение цианобактерий в рассматриваемом районе. При анализе данных со спутника Landsat-8 с 2013 по 2016 гг., отмечено, что максимум цветения приходится на июль и август.

В данной работе представлены два автоматических алгоритма выявления цветений по спутниковым снимкам Landsat-8 и MODIS на основе комбинации спектральных каналов. Отладка алгоритмов была проведена на нескольких сценах, в частности были взяты летние снимки за 2010 год в районе Одесской банки. В данный период времени в этом районе наблюдалось цветение *Nodularia spumigena*, что доказывают экспедиционные данные. Алгоритм выделения цианобактерий по спутниковым снимкам Landsat-8 основывается на расчете спектра в каждой точке изображения, далее, и из него вычитается спектр в «черной точке», т.е. самой чистой воды, относительно окружающих вод. Спектры кластируются на основе разности яркости в соседних каналах и спектрального наклона яркости. Спектр для цианобактерий можно выделить по следующим характеристикам: разница значений в каналах (3-2) больше, чем разница значений (2-1) и он имеет низкие значения отношения $B4/B3$. Алгоритм выделения цианобактерий по спутниковым снимкам MODIS основан на серии флагов. Применение автоматических алгоритмов позволило восстановить межгодовую изменчивость площади цветения цианобактерии на Северо-западном шельфе Черного моря, и исследовать пространственные особенности этих цветений за 2003–2019 гг.

Список литературы

- 1) Иванов А.И. Фитопланктон // Биология северо-западной части Черного моря. Киев: Наук. думка, 1967. С. 59—75
- 2) Александров Б. Г., Теренько Л. М., Нестерова Д. А. Первый случай цветения воды в Черном море водорослью *Nodularia spumigena* Mert. ex Bornet et Flahault (Cyanoprokaryota) // Альгология. 2012. Т 22. № 2. С. 152-165.
- 3) Алескерова А. А. Кубряков, А. А., Станичный, С. В., Лишаев, П. Н., & Мизюк, А. И. Цветение цианобактерий в Азовском море по данным сенсоров спутников серии LANDSAT // Исследование Земли из космоса. 2018. №. 6. С. 52-64.
- 4) Зайцев Ю. П. Чёрное море: состояние экосистемы и пути его улучшения // Одесса: Изд. МЭЦ, 2000. 48 с.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИХРЕЙ В ВОСТОЧНО-СИБИРСКОМ МОРЕ И МОРЕ ЛАПТЕВЫХ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Артамонова А.В., Козлов И.Е.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

artamonova.anastasya2011@yandex.ru

Ключевые слова: океанские вихри, спутниковые радиолокационные изображения, море Лаптевых, Восточно-Сибирское море.

Известно, что вихри моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря имеют потенциально важную роль в механизмах вертикального перемешивания и распределения тепла и биогенных элементов внутри Северного Ледовитого океана [1,2], а также влияние на распределение ледового покрова [3, 4]. Однако оценка характеристик таких вихрей в большинстве своём основана на контактных измерениях (например, [4]) заякоренных буев, которые регистрировали скорость и знак вращения вектора течения.

В данной работе представлены результаты анализа проявлений субмезомасштабных вихревых структур в областях свободных ото льда по данным радара с синтезированной апертурой Envisat ASAR за июнь-октябрь 2007 и 2011 года в море Лаптевых и Восточно-Сибирском. Всего проанализировано 608 радиолокационных изображений (РЛИ), из которых 287 РЛИ за 2007 год и 321 РЛИ за 2011 год.

В ходе исследования было идентифицировано в общей сложности 1127 вихрей, из которых 445 в 2007 году и 682 в 2011 году. Определялись местоположения вихря, тип проявления, знак вращения и глубина, над которой располагался вихрь.

Наиболее часто встречаются циклонические вихри. В 2007 году наблюдалось всего 3% антициклонических вихрей, тогда как в 2011 - 24%. Также можно сказать, что в целом диаметры антициклонических вихрей были больше, чем циклонических. Средний диаметр вихрей в 2007 году составил 4,8 км, а в 2011 году - 6,5 км. В 2007 году вихри наблюдались только в августе и сентябре, предположительно это связано с отсутствием свободных ото льда областей в остальное время.

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

Список литературы

- 1) Pavlov V., Pavlova O., Korsnes R. Sea ice fluxes and drift trajectories from potential pollution sources, computed with a statistical sea ice model of the Arctic Ocean // J. Mar. Syst. 2004. Vol. 48. P. 133–157.
- 2) Dmitrenko I.A., Kirillov S.A., Tremblay L.B. The long-term and interannual variability of summer fresh water storage over the eastern Siberian shelf: Implication for climatic change // J. Geophys. Res: Oceans. 2008. Vol. 113 (C3).
- 3) Pfirman S.L., Colony R., Nürnberg D., Eicken H., Rigor I. Reconstructing the origin and trajectory of drifting Arctic sea ice // J. Geophys. Res. 1997. Vol. 102. P. 12,575–12,586.
- 4) Pnyushkov A., Polyakov I.V., Padman L., Nguyen T. Structure and dynamics of mesoscale eddies over the Laptev Sea continental slope in the Arctic Ocean // Ocean science. 2018. Vol. 14. P. 1329–1347.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИХРЕЙ В ПРОЛИВЕ ФРАМА И ВБЛИЗИ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН В ЗИМНИЙ ПЕРИОД ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Атаджанова О.А.¹, Козлов И.Е.^{2,3}, Петренко Л.А.³

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

²Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург

³Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

oksanam07@list.ru

Ключевые слова: вихри, Арктика, пролив Фрама, Шпицберген, лед.

В последние десятилетия во всем Мировом океане активно исследуются вихревые структуры разных масштабов, ведь именно они в значительной степени определяют наблюдаемые в океане распределения скоростей, температуры, солености и концентрации примесей, а также играют важную роль в интенсификации перемешивания, горизонтальном и вертикальном переносе [1]. Поэтому их исследование важно для понимания механизмов перераспределения тепла и биогеохимических параметров на локальных акваториях.

Арктический регион является одним из активно исследуемых районов, в том числе и в области вихревой динамики [2]. Однако практически все исследования вихревых структур, основанные на анализе спутниковых данных, ограничиваются только теплым периодом года (июнь - октябрь), когда акватория максимально открыта ото льда [3-5]. Существенное сокращение площади ледяного покрова даже в зимние месяцы открывает новые возможности по изучению вихрей в зимний период.

В данной работе исследуются характеристики вихревых структур на основе анализа радиолокационных изображений (РЛИ) Envisat ASAR в зимний период с декабря 2006 г. по март 2007 г. в проливе Фрама и вблизи архипелага Шпицберген за исключением его восточной части. Целью данного исследования является выявление особенностей проявлений вихрей в зимний период, а также сравнение полученных результатов с аналогичными результатами, полученными в теплый период 2007 г. в этом же районе.

В ходе работы было проанализировано свыше 200 РЛИ Envisat ASAR, из них вихревые структуры были обнаружены меньше чем на половине изображений. Максимальное покрытие РЛ-съемкой отмечалось для западной части района - более 70 РЛИ за весь период наблюдений. При этом в анализе не учитывались изображения, которые попадали в области сплошного льда. Стоит также отметить, что из-за сильных ветров над районом исследований в зимний период проявления вихрей открытой воды почти не встречались.

В общей сложности было зарегистрировано 240 проявлений вихревых структур, из которых 94% составили вихри на кромке льда и внутри прикромочной зоны. Наиболее часто они регистрировались вблизи ледовой кромки в западной части пролива Фрама. При этом свыше 70 % имели циклонический тип закрутки. Диаметр вихрей варьировался от 1 км до 70 км. Четкой закономерности по пространственному распределению диаметров вихрей не наблюдалось, при этом чаще всего регистрировались вихри с диаметром от 5 до 10 км (свыше 30%). В летний период 2007 г. с июля по сентябрь было идентифицировано 1109 вихревых структур, из которых 80% составили вихри циклонического типа.

Обработка спутниковых изображений и их анализ с целью выделения вихревых структур производилась в рамках гранта РФФИ № 18-35-20078 мол_а_вед. Заказ и скачивание данных производились в рамках государственного задания по теме № 0149-2019-0015.

Список литературы

- 1) Каменкович В. М., Кошляков М. М., Монин А. С. Синоптические вихри в океане. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 511 с.
- 2) Hattermann T., Isachsen P.E, Von Appen W. -J., Albretsen J., Sundfjord A. Eddy-driven recirculation of Atlantic Water in Fram Strait // *Geophysical Research Letters*. 2016. Vol.43, №7. P. 3406–3414.
- 3) 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, № 3. P. 36–45.
- 4) 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 // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2019. № 124. P. 1-16.
- 5) Kozlov I.E., Petrenko L.A., Plotnikov E.V. Statistical and dynamical properties of ocean eddies in Fram Strait from spaceborne SAR observations // *Proc. Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions*. 2019. Vol. 11150. P. 111500S.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛН ЦУНАМИ В КЕРЧЕНСКОМ ПРОЛИВЕ

Базыкина А.Ю., Фомин В.В.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

aleksa.44.33@gmail.com

Ключевые слова: цунами в Керченском проливе, амплитудные характеристики волн цунами, численное моделирование.

Цунами в акваториях Азовского и Черного моря — редкое, но вполне естественное явление для данного региона. На сегодняшний день каталог цунами насчитывает 50 событий, которые произошли за 3 тыс. лет [1]. Большинство из них имеют сейсмическую природу, некоторые — оползневую или метеорологическую.

Керченский пролив долгое время считался сейсмически малоопасной областью. И лишь в 2015 г. была выделена Керченская сейсмогенерирующая зона. В ней за 2,5 тыс. лет отмечено семь сильных землетрясений [2]. Так, в 63 г. до н. э. в северной части Керченского пролива, у западного берега произошло разрушительное землетрясение [2]. А в 1959 г. и 1969 г. при полном штиле в проливе наблюдались волны, которые затопили берег. Известно также два случая, когда источником цунами в проливе могли послужить грязевые вулканы. В 1799 г. вблизи пос. Темрюк наблюдались колебания уровня моря до 4 м. А в 1994 г. у пос. Тамань в безветренную погоду и абсолютный штиль к берегу стали подходить полуметровые волны [1]. Нельзя исключать появление здесь подобных событий и в будущем.

Как правило, проливы и примыкающие к ним морские акватории являются зонами интенсивных течений и волновых процессов, и Керченский пролив — не исключение. В связи с недостатком информации о цунами в этом районе возникает необходимость подробного исследования динамики вод при помощи численного моделирования.

Настоящее исследование посвящено распространению волн цунами в Керченском проливе, проходящих как из Черного, так и из Азовского моря. Моделирование черноморских и азовоморских цунами в проливе проводилось в работе [3]. В данной работе представлены результаты численного моделирования, выполненные на батиметрической сетке с 70-метровым разрешением для более точного анализа особенностей влияния нерегулярностей рельефа дна на распространение волн цунами в проливе. Задача решалась численно с помощью конечно-разностной аппроксимации модели нелинейных длинных волн [4]. Для определения параметров входящей в пролив волны выполнен ряд численных экспериментов эволюции начального возвышения уровня моря для ближайшего потенциального сейсмического очага генерации цунами как в акватории Черного, так и Азовского моря. Параметры зоны генерации находились в зависимости от магнитуды землетрясения по эмпирическим формулам [5]. Показана трансформация волны в проливе. По рассчитанным мареограммам для нескольких пунктов побережья найдены максимальные амплитуды колебаний уровня моря. Высота повышений уровня моря при распространении цунами в проливе, вызванных землетрясением магнитудой 7, может достигать 1,5 м. Построены карты распределения зон, наиболее подверженных воздействию цунами.

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) 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.
- 2) Никонов А.А. Мощное цунами. В проливе... Керченском // Природа. 2016. № 5. С. 29–38.
- 3) Лобковский Л.И., Мазова Р.Х., Баранова Е.А. и др. Численное моделирование распространения черноморских и азовоморских цунами через Керченский пролив // Морской гидрофизический журнал. 2018. Т. 34. № 2. С. 111–122.
- 4) Базыкина А.Ю., Фомин В.В. Моделирование волн цунами в Азово-Черноморском регионе // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2019. Т. 12, №4. С. 21–31.
- 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. Вып. 1. 1993. С. 99–108.

ЛАБОРАТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОРСКОЙ ПЕНЫ НА СПЕКТР ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ И РАССЕЯНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННОГО СИГНАЛА

Байдаков Г.А.^{1,2}, Ермакова О.С.¹, Кандауров А.А.¹, Вдовин М.И.^{1,2}, Сергеев Д.А.¹,
Троицкая Ю.И.¹

¹ *Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород*

² *Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород*

baydakov@ipfran.ru

Ключевые слова: лабораторное моделирование, ветровые волны, морская пена, скаттерометр, УЭПР, доплеровский спектр.

В работе рассматриваются результаты серии лабораторных экспериментов по исследованию переноса импульса в пограничном воздушном слое в присутствии пены на поверхности воды, а также ее влияния на спектр ветрового волнения и обратное рассеяние радиолокационного сигнала.

Эксперименты проводились на Высокоскоростном ветро-волновом канале ИПФ РАН. Канал имеет поперечное сечение 0.4x0.4 м над поверхностью воды и длину 10 м, диапазон скоростей воздушного потока на оси канала составляет 3-25 м/с. Измеренное значение коэффициента поверхностного натяжения составляет 0,07 Н/м. Для создания устойчивой пены с фиксированной плотностью на поверхности воды использовалось специально разработанное устройство (пеногенератор). Устройство состоит из двух диффузоров (трубок длиной 35 см диаметра 1 см с боковыми отверстиями диаметром 2 мм с шагом 7 мм), соединенных боковыми поверхностями друг с другом, обернутых в поролон. Устройство располагалось горизонтально, перпендикулярно каналу, с заглублением верхней части на 2.5 см. Расстояние от начала канала (входа воздушного потока) - 1.2 м. Через один из диффузоров под давлением высоты уровня 1.5 м поступает раствор пенообразующего вещества (основной компонент лаурилсульфат натрия), через второй диффузор подается сжатый воздух (1.5 атм) для продавливания раствора пенообразующего вещества через слой поролона. В результате на поверхности воды образуется мелкодисперсная пена. В ходе экспериментов уровень раствора вещества и давления сжатого воздуха поддерживались постоянными, что обеспечивало постоянный расход пены. Специальная серия измерений, направленных на оценку влияния пеногенератора на поверхностное волнение в случае, когда в систему подается только сжатый воздух, показала, что изменения параметров поверхностного волнения по сравнению с полностью отключенной системой пеногенерации незначительны.

Характеристики волнения в канале измерялись антенной из трех волнографов резистивного типа, расположенными в углах треугольника равной стороны со стороной 2.5 см, частота дискретизации данных составляла 100 Гц. Такая система позволяет восстанавливать пространственно-временные спектры поверхностных волн: от частоты волны, волнового числа и угла относительно направления ветра. Верхний предел спектра волновых чисел задается расстоянием между волнографами в антенне и равен 1.25 рад/см.

Анализ результатов показал, что наличие пены изменяет спектры поверхностных волн. Самым ярким эффектом является подавление эффекта снижения пиковых частоты и волнового числа с увеличением скорости ветра. Было показано, что присутствие пены вызывает заметное уменьшение энергии поверхностных волн. Этот эффект увеличения диссипации поверхностных волн в присутствии пены подтверждается зависимостями значимой высоты волны от скорости трения ветра. В сочетании со снижением пикового волнового числа это приводит к сильному уменьшению среднеквадратичного уклона. Следовательно, наличие пены на поверхности воды должно приводить к уменьшению нелинейности поля поверхностных волн и уменьшению сопротивления формы. Однако, несмотря на уменьшение сопротивления формы волны, коэффициент сопротивления

поверхности увеличивается, когда пена присутствует на поверхности воды, так как присутствие пены вызывает дополнительную шероховатость, не связанную с волнами.

Микроволновые измерения проводились с помощью когерентного доплеровского скаттерометра X-диапазона с длиной волны 3.2 см с последовательным приемом линейных поляризаций. Антенна скаттерометра представляла собой пирамидальный рупор с квадратным сечением 224×224 мм² и длиной 680 мм, который был оснащен разделителем ортогональных поляризаций (ОМТ) с разделением поляризаций более чем 40 дБ; ширина диаграммы направленности составляла 9°. Абсолютное значение эффективной площади рассеяния (ЭПР) взволнованной поверхности воды определялось путем сравнения рассеянного сигнала с сигналом, отраженным от калибратора с известным значением ЭПР – металлического шарика диаметром 6 см. Окно наблюдения имело размеры 40×40 см², угол падения составлял 30, 40 и 50 градусов в направлении навстречу ветру, расстояние до цели выбиралось равным 3.16 м, крышка рабочей части была изготовлена из радиопрозрачного материала (тефлона) толщиной 8 мм.

Были получены зависимости удельной ЭПР водной поверхности в присутствии пены и для чистой воды. Наличие дополнительно генерируемой пены снижает ЭПР взволнованной водной поверхности. Особенно это заметно в интервале скоростей ветра U_{10} 15-30 м/с. Это можно объяснить тем, что в этих условиях пенные образования концентрируются в основном на гребнях и передних склонах ветровых волн, которые вносят основной вклад в рассеяния радиоволн. При меньших скоростях ветра пена равномерно распределена по поверхности воды, а при более сильных ветрах наблюдается интенсивное обрушение волн, и искусственное добавление пены не оказывает существенного влияния на её количество на поверхности воды. Таким образом, эффект уменьшения ЭПР можно объяснить тем, что пена, обладающая меньшими отражающими свойствами, маскирует основные рассеиватели на взволнованной водной поверхности. Второй предполагаемый механизм, связан с влиянием пены на короткие волны, по аналогии с пленками поверхностно-активных веществ.

Кроме этого, было исследовано влияние пены на форму доплеровского спектра рассеянного водной поверхностью микроволнового сигнала. В случае слабого ветра наличие пены на поверхности приводит к уменьшению коротковолновой части спектра поверхностных волн и, как результат, уменьшению рассеянного р/л сигнала в целом. Кроме этого, в доплеровском спектре проявляется зеркальная составляющая, соответствующая основной частоте волнения. В случае более сильного ветра группирование дополнительных рассеивателей (пены) на гребнях волн приводит смещению доплеровских спектров в высокочастотную область.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 18-35-20068, 19-05-00366, 19-05-00249 и Гранта Президента для молодых учёных МК-144.2019.5.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ВДОЛЬБЕРЕГОВОГО ПОТОКА НАНОСОВ НА СЕВЕРНОМ ПОБЕРЕЖЬЕ САМБИЙСКОГО П-ВА

Белова П.М.

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

pbelova97@mail.ru

Ключевые слова: вдольбереговой поток наносов, вдольбереговые течения, математическое моделирование

В работе рассматривается северное побережье Самбийского п-ва от мыса Таран на западе до мыса Гвардейский на востоке, относящееся к абразионно-бухтовому типу берега. Здесь расположены города-курорты Светлогорск и Пионерский, поэтому ввиду наблюдающегося в настоящее время дефицита наносов в береговой зоне исследуемого берега, необходимо обратить внимание на особенности вдольберегового перемещения материала. На данный вид транспортировки наносов в береговой зоне во многом влияют волновые течения. Вдольбереговое перемещение наносов возникает при отличном от прямого угла подхода волн к берегу. На исследуемом побережье, формируется относительно устойчивое во времени суммарное вдольбереговое перемещение наносов. Существуют различные концепции структуры вдольберегового течения на исследуемом побережье: ряд исследователей считает, что существует так называемый Восточно-Балтийский вдольбереговой поток наносов, который является стабильным и однонаправленным [1], [4]. Позднее было замечено, что данный вдольбереговой поток сильно ослаблен из-за дефицита подвижного материала на дне [2]. Другие же полагают, что в связи с плановой конфигурацией берега и наличием бухт и мысов здесь развита циркуляционно-ячеистая структура потока (Самбийско-Литовская ячейка и ее более мелкие подразделения), в которой ячейки соответствуют бухтам [3].

В данной работе рассматриваются результаты применения модели вдольберегового переноса LONT-2D [5] на северном побережье Самбийского полуострова с использованием данных о подводном рельефе побережья, волновых параметров и данных о крупности прибрежно-морских наносов. Проводится сопоставление полевых натуральных наблюдений автора с результатами моделирования. Модель LONT-2D используется для вычисления градиента потока наносов, соответствующего расходу наносов на 1 погонный метр берега. Увеличение расхода на каком-либо участке свидетельствует об увеличении транспортирующей способности потока, что указывает на захват наносов с берега и их перемещение. Если количества материала на участке берега недостаточно, то формируется локальная зона размыва, и наблюдается отступление берега. В противоположной ситуации при уменьшении расхода снижается энергия потока и его транспортирующая и размывающая способность, вследствие чего происходит его разгрузка, аккумуляция материала и нарастание берега [5].

Для исследуемого участка акватории была создана регулярная прямоугольная сетка, в узлах которой содержится информация о глубинах. За основу была взята батиметрическая карта, составленная на основе компиляции навигационных карт Атлантическим отделением Института Океанологии им. П.П. Ширшова РАН, масштаба 1:90000 с сечением изобат через 1 м. Размер шага сетки по нормали к берегу составил 500 м, а вдоль берега - 600 м. Внешняя граница сетки располагается в 6,5 км от берега на глубинах 24-28 м.

Медианный диаметр слагающих наносов на исследуемом побережье относится к среднезернистой фракции песка, и в модели принимается за 0,25 мм [3].

Для применения модели LONT-2D была проведена подготовка данных о волнении. Использовались данные реанализа волнения проекта ERA Interim (<https://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily>) для точки в Балтийском море с координатами 55,060449 с.ш., 20,103386 в.д., расположенной в 10 км к северу от исследуемого побережья. По этим данным были составлены таблицы совместной повторяемости высот волн и периодов за год по градациям высот и по направлениям.

В результате применения модели LONT-2D были получены кривые градиента емкости потока наносов вдоль берега для каждого волноопасного направления и суммарно для всех направлений. Максимумы расхода потока, направленного в сторону восточных румбов, соответствуют вершинам выступов берега: мысу Таран, Отрадненскому выступу, мысу Купальному и мысу Гвардейскому. Суммарный перенос наносов в западном направлении наблюдается на восточных бортах бухт Светлогорской и Пионерской. Таким образом, формируются так называемые циркуляционные ячейки в пределах бухт. В центральных частях наиболее крупных бухт Светлогорской и Пионерской при конвергенции разнонаправленных потоков происходит их ослабление и последующая разгрузка потока и аккумуляция наносов в береговой зоне. Это подтверждается натурными данными о наличии там песчаных пляжей шириной до 80 м.

В то же время на мысах Купальном, Гвардейском и на Отрадненском выступе наблюдаются устойчивые зоны транзита наносов к востоку, что выражается в усиленном размыве берега и выносе материала из верхней части береговой зоны. По натурным данным на этих участках песчаный материал практически полностью отсутствует, и берег представляет собой валунную отмостку до 20 м шириной.

В результате исследования, расчетными методами было получено подтверждение концепции наличия циркуляционных ячеек вдоль северного побережья Самбийского п-ва: при преобладающем восточном направлении переноса материала существуют области, приуроченные к восточным бортам бухт, где итоговый суммарный поток направлен на запад.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-00741

Список литературы

- 1) Айбулатов Н.А., Болдырев В.Л., Зенкович В.П. Некоторые новые данные о вдольбереговых потоках наносов. // XXI Международный геологический конгресс: Доклады советских геологов. М.: Изд-во АН СССР, 1960. – с.164-174.
- 2) Болдырев В.Л., Гуделис В.К., Кнапс Р.Я. Потоки песчаных наносов юго-восточной Балтики. // Исследования динамики морских побережий. М.: Наука, 1979. – с.14-18.
- 3) Жиндарев Л.А., Хабилов А.Ш., Тризно А.К. Динамика песчаных берегов морей и внутренних водоёмов. – Новосибирск: Наука, 1998.
- 4) Кнапс Р.Я. Оградительные сооружения типа молов и движение наносов на песчаных побережьях. // Изв. АН Латв.ССР, 1952. №6(59). – с.87-130.
- 5) Леонтьев И.О. О расчете вдольберегового транспорта наносов. // Океанология. Т.54. №2. 2014б. – с.226-232.

ВНУТРЕННИЙ ПРИЛИВ В БЕЛОМ МОРЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА МОДЕЛИ FESOM-C

Березина А.В.^{1,2}, Романенков Д.А.², Андросов А.А.^{2,3}

¹Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

³Институт полярных и морских исследований им. А.Вегенера, г. Бремерхафен, Германия

fisa4247@gmail.com

Ключевые слова: физика океана, внутренняя приливная волна, Белое море, неструктурированная сетка.

В докладе представлены результаты исследования внутренних волн в Белом море. Решается задача численного моделирования внутреннего прилива при помощи модели FESOM-c в условиях идеализированной горизонтально-однородной стратификации и отсутствии атмосферного влияния. На основе результатов численных экспериментов выполняется оценка амплитуд внутреннего полусуточного прилива в соответствии с различными методиками. Выявлены зоны повышенной генерации внутренних волн. Модель FESOM-c использует метод конечных объемов с возможностью использования смешанной неструктурированной сетки [1]. Для детального воспроизведения внутреннего прилива требуется хорошее сеточное разрешение ввиду малых горизонтальных масштабов внутренних волн в Белом море. Зона на выходе из Горла в Бассейн и центральная часть Бассейна Белого моря представляли особый интерес, так как в этих районах в 2010 году были зарегистрированы крупномасштабные пакеты нелинейных внутренних волн. В связи с этим была выполнена генерация расчетной смешанной неструктурированной сетки со значительным сгущением в проливе Горло и в центральной части моря. При этом минимальная площадь элементов составила 0,5 км², что соответствует горизонтальному сеточному шагу порядка 0.1 величины локального бароклинного радиуса деформации. В качестве начальных условий задавалось стратифицированное горизонтально однородное распределение температуры и солености с выраженным ядром пикноклина на горизонте 15 м, что в первом приближении соответствует наблюдаемой вертикальной структуре в июле 2010 г. На открытой границе задавалось периодическое возмущение уровня в виде главной лунной полусуточной приливной гармоникой М2. Для верификации модели выполнен расчет прилива в однородном море, а результаты этого этапа использованы для моделирования бароклинного прилива. Оценка амплитуд внутреннего прилива производилась двумя методами. В первом методе используется профиль плотности в расчетных узлах для вычисления вертикальных смещения изопикн по формуле:

$$\eta(z, t) = \frac{\sigma(z, t) - \bar{\sigma}(z)}{\frac{\partial \sigma}{\partial z}}$$

где $\eta(z, t)$ - величина смещения изопикн; $\sigma(z, t)$ - условная плотность воды в расчетной точке в текущий момент времени; $\bar{\sigma}(z)$ - фоновое (среднее за период) распределение плотности по глубине; $\frac{\partial \sigma}{\partial z}$ - вертикальный градиент плотности.

Амплитуда колебаний изопикн оценивалась для верхнего слоя до глубины 35 м, т.е. в слое, где значимы вертикальные градиенты плотности. Для каждого расчетного узла на горизонтах в этом слое проводился Фурье-анализ, выделялась основная гармоника с периодом 12,42 ч и затем определялась ее амплитуда. Максимальное значение амплитуды смещения изопикн в выбранном слое принималось как верхняя оценка амплитуды внутренней волны. Второй метод основан на применении модового анализа профиля плотности в расчетных узлах. Решается краевая задача нахождения собственных значений m функции:

$$\frac{d^2\Phi_n}{dz^2} + N^2(z)m^2\Phi_n = 0$$

$$\Phi(0) = \Phi(-D) = 0$$

где Φ_n - функция вертикальной структуры внутренней волны; $N(z)$ - функция частоты Вайселя-Брента (частоты плавучести), определяемая формулой $N^2(z) = -\frac{g}{\rho(z)} \frac{d\rho(z)}{dz}$; g - ускорение свободного падения; $\rho(z)$ - плотность морской воды.

Определение формы вертикальной моды в каждой точке дает возможность найти горизонт максимального смещения изопикн, который соответствует экстремуму моды. Для данного горизонта рассчитывается вертикальное смещение изопикн в течение приливного периода, а затем выполняется анализ Фурье, выделение основной гармоник и оценка ее амплитуды. Первый подход демонстрирует высокие амплитуды даже фонового прилива (до 2 м), а в отдельных районах, в частности Горле Белого моря и на выходе в Бассейн их значения достигали 10 м. В рассматриваемой задаче глубже пикноклина градиенты плотности сильно снижаются, и здесь под действием интенсивного прилива действительно наблюдалось значительное вертикальное смещение изопикн, которому не препятствовали силы стратификации. Пространственное распределение значений амплитуд, полученных двумя методами схоже, однако, второй метод дает значительно меньшие величины амплитуды, так как горизонты экстремума первой вертикальной моды соответствовали горизонту пикноклина или несколько ниже этой величины. Выделяется район на границе Горла и Бассейна Белого моря с повышенными амплитудами до 1,75 м, который в более ранней работе рассматривался как очаг генерации внутренних волн с приливной периодичностью [2]. Другие локальные очаги генерации внутреннего прилива располагаются на входе в Кандалакшский залив и вокруг Соловецких островов. В самом Горле, в его юго-западной части, отмечаются хорошо выраженные зоны с высокими значениями амплитуд внутреннего прилива, расположенные над небольшими подводными желобами. Выявление этой зоны в модельном расчете стало возможным благодаря тонкому сеточному разрешению и улучшенному представлению рельефа дна. Интересно, что в этой же части Горла ранее наблюдалась регулярная (по отношению к фазе приливного потока) встречаемость короткопериодных внутренних волн как в контактных, так и в спутниковых данных.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 18-05-00965_а).

Список литературы

- 1) Androsov A., Fofonova V., Kuznetsov I. et al. FESOM-C v.2: coastal dynamics on hybrid unstructured meshes // *Geoscientific Model Development*. 2019. V. 12. No 3. P. 1009–1028, <http://doi.org/10.5194/gmd-12-1009-2019>.
- 2) Каган Б.А., Тимофеев А.А. Динамика и энергетика поверхностных и внутренних полусуточных приливов в Белом море // *Известия РАН. ФАО*. 2005. Т. 41. № 4. С. 844–850.

О НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ЭФФЕКТА ОБРАСТАНИЯ ТРОСОВ ВНУТРИВОДНЫМ ЛЬДОМ В ПЕРЕОХЛАЖДЕННОЙ ВОДЕ ПРИ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЯХ

Бородин Е.В.

Российская Антарктическая Экспедиция

kobzon89@mail.ru

Ключевые слова: Антарктида, лед, трос, ПВХ, приборы, физика океана.

Ледообразование — интересный физический процесс, происходящий при следующих условиях: наличие ядер кристаллизации как основы роста кристаллов льда; температура воды должна быть ниже температуры ее замерзания (переохлаждение); обеспечение потери тепла, иначе скрытая теплота кристаллизации будет тратиться на таяние только что образовавшегося льда.

Однако, как показывают наблюдения, возможны ситуации, когда при соблюдении всех условий вода продолжает оставаться в жидкой фазе, т.е. быть переохлажденной. Побочным эффектом переохлаждения является наличие в толще воды под припаем слоя внутриводного льда (ВВЛ).

Явление переохлаждения и ВВЛ вот уже многие годы наблюдается в Антарктиде в заливах Мак-Мердо, Трёшникова (рейд Мирного), Атка, Алашеева; в Арктике на арх. Шпицберген. ВВЛ представляет собой ледяные образования в виде шуги и ледяных пластинок диаметром от 1 до 12 см. Образование ВВЛ при переохлаждении — препятствие при длительных океанографических наблюдениях. Находясь в переохлажденной воде, приборы и удерживающие их фалы также обрастают льдом, плавучесть которого заставляет их всплывать на поверхность.

В лучшем случае это приводит к порче данных, в худшем — к потере прибора. Таким образом, наблюдатель должен постоянно проверять автоматический прибор. Данная проблема касается всякого наблюдения в переохлажденной воде. Цель публикации — показать, что измерения в переохлажденной воде возможны и без регулярного присутствия наблюдателя.

В 2017 году на станции Мирный при наблюдении за ростом ВВЛ использовался полипропиленовый фал. Было принято измерять показатели его роста ежедневно. Наблюдения показали, что скорость роста ВВЛ составляет 30 л/сутки. В 2016 году скорость роста ВВЛ составляла 300-500 л/5 суток. В период до 2016 года количество ВВЛ составляло 30 л/5 суток. Причины такого значительного роста ВВЛ пока еще не установлены. Следует сказать, что данные нельзя сравнивать по среднесуточным значениям по следующей причине: когда трос-измеритель опущен, ВВЛ нарастает непосредственно на площади троса. В дальнейшем нарост происходит на площади, занятой ВВЛ, а поскольку нарост ВВЛ имеет больший диаметр, чем трос (а значит, и большую площадь поверхности), то в каждые следующие сутки ВВЛ будет еще больше, чем его бы наростило на тросе за одни сутки.

На фоне существенного роста ВВЛ выполнялось ежечасное наблюдение за уровнем моря. При постановке уровнемера Levelogger поста использовался такой же полипропиленовый фал, что и при наблюдении за ВВЛ, что привело к техническим трудностям. При значительном обрастании льдом фала уровнемера конструкция отрывается от дна и находится в подвешенном состоянии. В итоге была разработана система очистки без извлечения конструкции уровнемера из майны. Но наблюдатель вынужден регулярно посещать место установки уровнемера, что в экстремальных погодных условиях станции Мирный ставит под угрозу здоровье наблюдателя.

При наблюдении за ВВЛ для разметки глубины использовалась изоляционная поливинилхлоридная (ПВХ) лента. Как показали наблюдения, ВВЛ растет на всем протяжении фала, кроме участков, обмотанных ПВХ-лентой.

Были взяты два кабеля: гибкий двухжильный алюминиевый и многожильный медный с жесткой пластиковой оплеткой. Они были опущены в слой переохлаждения. При подъеме на следующие сутки оба кабеля были свободны от нароста ВВЛ, при том, что на тросе-измерителе ВВЛ

имелся — в месте привязки грузов к кабелям, т.е. там, где находились узлы. Также пластинки ВВЛ наблюдались в местах, где оплетка кабелей была нарушена. Для проверки выдерживаемого кабелем веса использовалась масса 80 кг.

Тот факт, что лед растет на полипропиленовой веревке и не растет на ПВХ-ленте и оплетке кабеля, может быть объяснен разницей в свойствах поверхностей, которая, по мнению канд. хим. наук И.Л. Мальфанова, проявляется в следующем: гетерогенное образование зародышей кристаллов на поверхности протекает тем интенсивнее, чем существеннее понижение активационного барьера образования новой фазы при переходе от жидкого, метастабильного состояния к твердому, следовательно, оно тем выше, чем больше смачиваемость поверхности, на которой происходит кристаллизация жидкости и выше кристаллохимическое соответствие сопрягающихся структур. Более развитая, волокнистая и неоднородная поверхность веревки с налипшими на нее неоднородными частицами (пыль, грязь, соль) создает условия для большего смачивания, имеет высокую вероятность возникновения кристаллохимического соответствия на разнородных участках поверхности, а значит, создает гораздо больше центров кристаллизации, чем гладкая поверхность оплетки кабеля, состоящего из Обрастание фала пластинками внутриводного льда Фал, обмотанный ПВХ-лентой мономолекул. Гладкая поверхность кабеля не имеет и не создает центров кристаллизации, кроме поврежденных мест (например, зашкуренных наждачной бумагой). Наросты ВВЛ появляются в местах узлов там, где части кабеля наиболее плотно прижаты друг к другу, а также на металлических грузах. В первом случае угол между частями кабеля, прижатыми друг к другу, сам по себе — ядро кристаллизации.

В результате установлено, что кабель в жесткой пластиковой оплетке не образует наростов ВВЛ, и, таким образом, наблюдатель избавлен от необходимости регулярно посещать место установки оборудования. При использовании такой технологии, проведение длительных измерений целесообразно только в случае, когда приборы находятся вне слоя переохлаждения.

ДИНАМИКА ГРАДИЕНТНЫХ ПОЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В ЦЕЛЯХ ВЫЯВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ ВОД ХОЛОДНОГО ПРОМЕЖУТОЧНОГО СЛОЯ

Буканова Т.В., Лобчук О.И., Чубаренко И.П.

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

tatiana.bukanova@gmail.com

Ключевые слова: холодный промежуточный слой, SST, Балтийское море.

После весеннего прогрева с появлением сезонного термоклина в структуре вод Балтийского моря отчетливо выражен холодный промежуточный слой (ХПС). Ранней весной ХПС ещё не подвергся изменениям под влиянием внешних условий, что позволяет выделить механизмы и процессы, обусловившие его образование [1].

Цель работы - анализ изменчивости свойств вод ХПС вдоль главной оси моря (от Арконского бассейна до Финского залива) в ранее-весенний период и определение вероятных источников формирования этих вод.

На основе натуральных данных вдоль главной оси моря с 23 апреля - 12 мая 2006 г. по данным рейсов НИС «Гаусс» и НИС «Проф. Штокман» [2] и спутниковых данных по температуре поверхности моря (SST) инфракрасного и микроволнового диапазонов проведено сопоставление вертикальных профилей температуры вод ХПС с особенностями поля SST, проанализированы метеорологические условия и определены моменты смены потока плавучести через поверхность. Выявлены районы расположения самых холодных поверхностных вод на поверхности и сделан сравнительный анализ с холодными водами в ХПС на длинном разрезе вдоль всего моря. По данным метеостанций (о. Готланд, о. Борнхольм, г. Клайпеда) установлены периоды вероятного погружения поверхностных вод в промежуточный слой Балтийского моря.

Анализ и интерпретация спутниковой информации выполнены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 19-05-00717), анализ экспедиционных данных в рамках госзадания ИО РАН (тема №0149-2019-0013).

Список литературы

- 1) Степанова Н.Б., Чубаренко И.П., Шука С.А. Структура и эволюция холодного промежуточного слоя в юго-восточной части Балтийского моря по данным натуральных измерений 2004-2008 гг. *Океанология*, 2015, том 55, № 1, С. 32-43.
- 2) Козлова О.И. О возможности вклада адвекции в формирование ХПС Балтийского моря // *Вестник БФУ им. И.Канта*, 2012, №7, С.156-162.

МНОГОЛЕТНИЕ ТРЕНДЫ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАК ИНДИКАТОРЫ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА ЮГО- ВОСТОКА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Буканова Т.В., Стонт Ж.И., Крек Е.В., Багаев А.В.

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

tatiana.bukanova@gmail.com

Ключевые слова: температура воздуха, температура поверхности моря, морской лёд, Балтийское море.

В Балтийском регионе в последние годы наблюдается изменение гидрометеорологических условий, происходящее на фоне глобальных колебаний климата [1]. Значительный сдвиг в климате региона начался в 60-е годы XX века. По разным оценкам скорость роста приповерхностной температуры воздуха над Балтийским морем варьирует от 0,3 до 0,7 °C/10 лет [2, 3]. Следствиями роста температуры воздуха является подъем уровня моря, увеличение повторяемости штормовых нагонов и катастрофических наводнений [1].

Выявление особенностей многолетних изменений гидрометеорологических характеристик и их тенденций необходимо для определения мер адаптации к местным последствиям климатических изменений в прибрежной зоне региона.

Цель исследования - выявить межгодовую динамику гидрометеорологических характеристик (температуры воздуха, температуры поверхности моря и ледовитости) и определить тенденции их изменения в юго-восточной части Балтийского моря.

Работа выполнена на основе изучения 15-летнего ряда (2004-2018 гг.) наблюдений температуры воздуха (T_a), температуры поверхности моря (ТПМ) и площади морского льда. Для анализа изменчивости T_a использованы данные автоматической гидрометеорологической станции, установленной на морской ледостойкой стационарной платформе (D6) в 22 км от берега (исключено влияние суши). Оценка ТПМ и ледовитости юго-восточной части Балтийского моря проведена для акватории, ограниченной с севера 56°с.ш., с запада 18°в.д., с юга и востока береговой линией. Значения ТПМ получены с 1159 спутниковых изображений радиометров MODIS (спутники Terra и Aqua) и VIIRS (спутник Suomi-NPP) за период с 2004 по 2018 гг. путём осреднения в окне 3×3.

Ледовитость акватории юго-востока Балтийского моря оценивалась путём идентификации льда на морской поверхности на 885 радиолокационных изображениях со спутников Envisat, RADARSAT-1/2, TerraSAR-X, Cosmo-SkyMED-1/2/3/4 и Sentinel-1A/B за 2004-2018 гг. С использованием программного пакета ArcGIS 10.0 на РЛИ оконтурены ледовые поля и вычислена их площадь.

Среднегодовая T_a составляет $8,9 \pm 0,6$ °C, что выше среднегодового значения в середине прошлого столетия на 1,5 °C [4]. Максимальная среднегодовая T_a 9,4°С отмечена в 2008, 2015 и 2018 гг. Минимальная среднегодовая температура наблюдалась в 2010 г. (7,2°С).

Среднегодовая ТПМ в акватории исследования равна $10,2 \pm 0,3$ °C. Самые высокие среднегодовые значения ТПМ (10,6-10,8 °C) наблюдались в 2008 г., 2014-2016 гг. Самая низкая среднегодовая ТПМ (9,8-9,9 °C) выявлена в 2009-2012 гг.

Максимальная площадь морского льда приходится на февраль. Рекордный максимум площади льда отмечен в зимний сезон 2010-2011 гг. В отдельные зимы (2007-2008, 2014-2015) льда не наблюдалось.

Положительное приращение средней T_a наблюдается во все месяцы, кроме октября и декабря. Максимальное положительное приращение в соответствии с трендом приходится на май (2,37 °C/период). Максимальное отрицательное приращение наблюдается в октябре -1,35°C/период. Аналогичная тенденция прослеживается и для температуры моря: наибольшее положительное

приращение ТПМ в мае $1,5^{\circ}\text{C}/\text{период}$, а наибольшее отрицательное приращение в октябре $-1,5^{\circ}\text{C}/\text{период}$ (табл. 2).

В целом за 2004-2018 гг. изменение среднегодовой T_a характеризуется линейным трендом $+0,03^{\circ}\text{C}/\text{год}$, соответственно, приращение составило $+0,45^{\circ}\text{C}/\text{период}$ или $0,30^{\circ}\text{C}/10$ лет. Одновременно выявлен рост ТПМ, составляющий $+0,06^{\circ}\text{C}/\text{год}$, т.е. приращение равно $+0,9^{\circ}\text{C}/\text{период}$ и $0,6^{\circ}\text{C}/10$ лет. Для максимальных площадей ледового покрытия выявлен отрицательный тренд $-85 \text{ км}^2/\text{год}$, соответствующее приращение составило $-1190 \text{ км}^2/\text{период}$ ($-850 \text{ км}^2/10$ лет).

В годы, когда индекс САК имеет пониженные значения (в нашем случае 2005-2012 гг., исключая 2011), в регионе наблюдается усиление антициклонической активности. Так, в 2010 г. преобладала отрицательная фаза САК: зимой наблюдались морозы до -15°C , летом T_a повышалась до 31°C . В целом 2010 г. оказался самым холодным за исследуемый период [5].

Начиная с 2013 г., преобладает положительная фаза индекса САК. Это приводит к усилению Исландского минимума и усилению западно-восточного переноса. И, как следствие, - повышение T_a и высокие значения среднегодовой ТПМ [5, 6]. Адвекция более теплого воздуха приводит к более частому появлению мягких зим и сокращению ледового сезона.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 19-45-390012.

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. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- 2) Michalska B. Tendencje zmian temperatury powietrza w Polsce // Prace i Studia Geograficzne. 2011. Vol. 47. P. 67–75.
- 3) Tytkowski, J. Temporal and spatial variability of air temperature and precipitation at the Polish coastal zone of the southern Baltic Sea // Baltica. 2013. Vol. 26. № 1. P. 83–94.
- 4) Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Т. 1. Балтийское море. Вып. 1. Балтийское море без заливов. Л.: Гидрометеиздат, 1983.
- 5) 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. 2019. Vol. 19. № 3. P. 1–9.
- 6) Стонт Ж.И., Демидов А.Н. Современные тенденции изменчивости температуры воздуха над акваторией Юго-Восточной Балтики // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2015. № 2. С. 50–58.

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ПРИКРОМОЧНОЙ ЛЕДОВОЙ ЗОНЕ БАРЕНЦЕВА МОРЯ В АПРЕЛЕ 2019 ГОДА

Булавина А.С.

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

alexela@list.ru

Ключевые слова: Баренцево море, температура, солёность, кромка льда.

По количеству выполненных инструментальных наблюдений Баренцево море занимает лидирующие позиции среди морей арктического шельфа [1]. Однако, пространственное распределение выполненных точек наблюдения на акватории моря характеризуется сильной неравномерностью. Данные наблюдений *in situ* в северных районах моря малочисленны и нерегулярны. Это связано с наличием ледяного покрова, его сезонными и межгодовыми колебаниями. Данные о термохалинных характеристиках вод, полученные максимально близко к ледовой кромке, представляют большой интерес для понимания гидрофизических процессов, происходящих в северных районах моря и в Арктическом бассейне.

В 2019 году вблизи ледовой кромки было выполнено 4 субмеридиональных разреза (24 станции) на долготах 33.5° в.д. (разрез I), 38.0° в.д. (разрез II), 43.0° в.д. (разрез III), 49.7° в.д. (разрез IV) в период с 9 по 15 апреля. Измерения гидрологических характеристик проводились в режиме непрерывного зондирования от поверхности до дна с помощью СТД-зонда SBE 19 plus. По данным СТД-зондирований построены профили вертикального распределения температуры и солёности на прикромочных разрезах. Были рассчитаны горизонтальные и вертикальные градиенты температуры и солёности. Выявлены высокоградиентные участки - границы распространения различных типов вод на акватории моря. В качестве критерия наличия фронтальной зоны принималось значение горизонтальных градиентов температуры и солёности, превышающее минимум в 2 раза климатические градиенты для Баренцева моря (0.01 °C/км и 0.001 PSU/км) [2].

В 2019 году в период исследований отмечались отрицательные аномалии развития ледяного покрова. По данным ААНИИ, представленным в обзорных ледовых картах [3], в 2019 году ледовая кромка пересекала параллель 75° с.ш в нескольких местах, как на западе, так и на востоке моря. Приведенные ААНИИ данные о ледовой обстановке подтверждались данными натурных наблюдений в местах подхода судна к кромке льда.

Фронтальные зоны очень динамичны. Даже в пределах квазистационарных (климатических) фронтальных зон происходят быстрые смещения фронтальных разделов, а сами зоны колеблются в пределах некоторого среднего положения [4]. Фронтальные же разделы, зависящие от текущих метеорологических условий, в том числе Прикромочный фронт, практически не уловимы при проведении исследований на стандартных разрезах, где станции удалены друг от друга на 20-30 миль. Благодаря проведению съемки с высоким пространственным разрешением за относительно короткое время, удалось зафиксировать и описать участок Прикромочной фронтальной зоны в западной части Баренцева моря и участок холодной стороны Полярной фронтальной зоны на контакте атлантических и баренцевоморских вод. По результатам анализа распределения на разрезах характеристик и их градиентов отмечено следующее:

- Выявлены фронтальные зоны, отмеченные высокими градиентами гидрологических характеристик. Прикромочный фронт был обнаружен на разрезе II, расположенном в западной части Баренцева моря у разреженной ледовой кромки. Для Прикромочной фронтальной зоны были характерны средние горизонтальные градиенты температуры 0.03...0.05 °C/км, солёности - 0.005...0.01 PSU/км при ширине зоны в 23 км. Прикромочный фронтальный раздел был более ярко выражен в поле солёностей, чем в поле температур.

На разрезах вблизи ледовой кромки в восточной части моря (III, IV), а также в зоне интенсивного

влияния вод атлантических течений (разрез I) Прикромочный фронт не выражен. Характер метеорологических условий в момент наблюдения (отсутствие интенсивного таяния, динамическое воздействие ветра на область фронта) или особенности положения разрезов относительно ледовой кромки (близость ледовой кромки не только с северной стороны, но и вдоль разреза) могли стать причиной расположения фронтального раздела за пределами разрезов.

Разрез I охватил холодную сторону Полярной фронтальной зоны и Полярный фронт, на поверхности моря отмеченный градиентами $0.06\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{км}$ и $0.003\text{ PSU}/\text{км}$. Средний температурный градиент на разрезе I на поверхности моря составлял $0.039\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{км}$ при длине разреза 58 км.

- В районе исследований идентифицированы арктическая, атлантическая и баренцевоморская водные массы.

- На разрезах наблюдалось выраженные повышением температуры и солёности воздействие течений, несущих атлантическую воду: ветвей Нордкапского течения в районе разрезов I, II; ветвей Новоземельского течения на разрезе IV. Обнаружено, что воды этих течений дольше сохраняют свою идентичность в поле температур, чем в поле солёностей.

Работа выполнена в рамках госзадания № 0228-2019-0029

Список литературы

- 1) Дженюк С.Л. К оценке океанологической изученности Баренцева и Белого морей // Вестник МГТУ. 2012. Т. 15. № 4. С. 739-748
- 2) Родионов В.Б., Костяной А.Г. Океанические фронты морей Северо-Европейского бассейна. М.: ГЕОС, 1998. 293 с.
- 3) ЕСИМО. ААНИИ. Обзорные ледовые карты СЛЮ. Режим доступа: [http://www.aari.ru/data/_d0015.php].
- 4) Воды Баренцева моря: структура, циркуляция, изменчивость / Ожигин В.К., Ившин В.А., Трофимов А.Г. и др. Мурманск: ПИПРО, 2016. 260 с.

ВЛИЯНИЕ ВОЛН НА ТУРБУЛЕНТНЫЙ ОБМЕН В ПРИВОДНОМ СЛОЕ

Булгаков К.Ю.¹, Фокина К.В.²

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

²Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург

fokinakarina@yandex.ru

Ключевые слова: волновой пограничный слой, ветровые волны, теплообмен, влагообмен.

Процессы обмена импульсом, теплом и влагой в волновом пограничном слое атмосферы оказывают значительное влияние на атмосферную и океанскую циркуляцию, а также на генерацию и распространение ветровых волн. Волновой пограничный слой - нижняя часть пограничного слоя атмосферы, в котором перемешивание, создаваемое волновыми пульсациями, сравнимо по интенсивности с турбулентным обменом. Толщина волнового пограничного слоя имеет порядок значительной высоты волны, определяемой как осредненная величина $1/3$ самых больших высот волн и процессы обмена, происходящие в данном слое, могут быть только параметризованы. Наибольшую важность для задач геофизической гидродинамики имеют потоки импульса, тепла и влаги на поверхности раздела между волновым пограничным слоем и водой, так как эти характеристики являются граничными условиями для моделей циркуляции океана и определяющими параметрами стратификации для планетарного пограничного слоя атмосферы.

Расчет потоков импульса, тепла и влаги с учетом вязкого подслоя требует высокого вертикального разрешения. Необходимы значения переменных (скорости ветра, температуры и влажности) на верхней границе вязкого подслоя. В прикладных задачах геофизической гидродинамики использовать такое разрешение невозможно, но для исследовательских целей вполне осуществимы расчеты с помощью математической модели волнового пограничного слоя с вертикальной сеткой, нижний шаг которой имел бы порядок вязкого подслоя.

В [1] и [2] представлена одномерная модель волнового пограничного слоя без учета стратификации. По результатам расчетов была представлена зависимость коэффициента сопротивления (коэффициента обмена для импульса) от скорости ветра. В данной работе предлагается дальнейшее развитие модели волнового пограничного слоя с включенным в неё тепло [U+02D7] и влагообменом.

Рассматривается горизонтально однородный слой атмосферы над волновой поверхностью от некоторого среднего или невозмущенного уровня до высоты H , которая принимается равной 10 м. Волновое поле задается двумерным спектром $S(\omega, \Theta)$, где ω - частота, Θ - угол между направлением ветра и направлением движения соответствующей компоненты спектра. Вывод системы одномерных уравнений движения для нестратифицированного волнового пограничного слоя описан в [1-3], в данной работе система дополнена для стратифицированного случая.

Была проведена серия экспериментов с различными комбинациями входных параметров модели: обратного возраста волны - Ω_n , скорости ветра - $u(H)$, относительной влажности - $rh(H)$, разностью между потенциальной температуры и температурой поверхности воды $\Delta\Theta = \Theta(H) - T_{sea}$. Были проведены эксперименты для широкого спектра условий, в том числе и малореальных. Каждый эксперимент проводился до выхода модели на стационарное решение, которое должно удовлетворять условиям баланса суммы потоков (волнового и турбулентного) для всех субстанций: импульса, тепла и влаги. По результатам каждого эксперимента были рассчитаны коэффициенты сопротивления, тепло- и влагообмена на поверхности.

Для набора входных данных каждого эксперимента были также рассчитаны турбулентные потоки с помощью широко используемой в настоящее время процедуры COARE3.0 [4]. Данная

процедура дополнительно включает в себя учет порывистости ветра и зависимость уровня шероховатости от высоты значительной волны, что позволяет неявным образом учитывать волновой поток импульса как часть турбулентного потока. Для потоков, полученных с помощью процедуры COARE, были рассчитаны коэффициенты импульсом, теплом и влагой обмена - C_{dCOARE} , C_h COARE, C_q COARE, соответственно.

Основной задачей данной работы является качественная оценка зависимости потоков на поверхности океана от вышеуказанных входных данных.

По результатам экспериментов было оценено качественное влияние упомянутых ранее входных параметров на интенсивность турбулентного обмена различных субстанций. Так, например, показано, что значение влажности воздуха не оказывает значимого влияния на турбулентный обмен в волновом пограничном слое. Степень развития волн оказывает существенное влияние на коэффициент сопротивления, но при этом коэффициенты тепло- и влагообмена практически не зависят от возраста волн. Перепад температур над поверхностью моря и на высоте 10 метров оказывает существенное влияние на коэффициенты обмена при скоростях ветра до 20 м/с. При этом турбулентный обмен в устойчивой среде более чувствителен к значению перепада температур чем в неустойчивой.

Коэффициенты тепло- и влагообмена, рассчитанные моделью, оказались меньше, чем те же коэффициенты, рассчитанные с помощью процедуры COARE. При этом, если коэффициенты тепло и влагообмена из COARE имеют одинаковые значения при одинаковых входных параметрах, то модельные коэффициенты обмена тепла и влаги отличаются. Это можно объяснить тем, что в отличие от способа расчета потока влаги, способ расчета потока тепла на границе вязкого подслоя использует более сложную зависимость от скорости ветра. Использование более простой схемы расчета испарения на границе вязкого подслоя связано с тем, что данный процесс изучен в технической гидродинамике хуже, чем теплообмен, вследствие очевидных сложностей по измерению влажности на микромасштабах даже в лабораторных условиях.

Результаты исследований получены за счет средств РФФИ в рамках проекта № 18-05-01122.

Список литературы

- 1) Чаликов Д.В., Булгаков К.Ю. Структура приводного слоя атмосферы // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2019. Т. 12. №2. С. 50–65.
- 2) Chalikov D., Babanin A.V. Parameterization of wave boundary layer // Atmosphere. 2019. Vol 10. Is. 11.
- 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.
- 4) Fairall C.W., Bradley E.F., Hare J.E., Grachev A.A., Edson J.B. Bulk parameterization of air-sea fluxes: updates and verification for COARE Algorithm // Journal of Climate. 2003. Vol. 16. P 571–591.

ФИЗИКО-СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ АНОМАЛИЙ ЛЕДОВИТОСТИ И ПОВЕРХНОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ СЕВЕРО-ЕВРОПЕЙСКОГО БАССЕЙНА

Вязигина Н.А., Тимохов Л.А.

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

naty_vyazik@mail.ru

Ключевые слова: Северо-Европейский бассейн, морской лёд, температура поверхности воды, долгопериодные изменения, аномалии, статистические модели.

Исследована структура межгодовых и сезонных колебаний аномалий площади льда и температуры поверхности океана за период с 1930 по 2018 гг. в морях Северо-Европейского бассейна: Баренцевом, Гренландском и Норвежском [1]. В исследовании были использованы среднемесячные значения ледовитости Баренцева и Гренландского морей, полученные на основе авиационных ледовых разведок (до 1986 г.) и спутниковых данных с 1986 г. по настоящее время, находящиеся на сервере ФГБУ «ААНИИ». Температура поверхности воды Баренцева, Гренландского и Норвежского морей взята из базы данных CDAS-1 Reanalysis Международного Исследовательского Института Климата и Общества Колумбийского университета города Нью-Йорк (США). В качестве астрогеофизических параметров использовались такие показатели как: долготная координата положения полюса Земли Y ; параметры нутации оси Земли; величина скорости вращения Земли, представленная величиной продолжительности дня; величина солнечной активности или среднегодовое число Вольфа (международная служба вращения Земли и системы отсчета IERS); среднее за шесть месяцев расстояние от Солнца до Земли в летнее (апрель-август) и зимнее (октябрь-март) полугодия (программа астропроцессор *zet 9 lite*). Глобальные климатические индексы были использованы такие как АО: индекс Арктического колебания: индекс изменения давления на уровне моря к северу от 20° с.ш.; NAO: индекс Североатлантического колебания: основан на разнице давления на уровне моря между субтропическим (Азорские острова) максимумом и субполярным минимумом (Рейкьявик), PNA: Тихоокеанское-северо-американское колебание, характеризуется четырьмя основными центрами действия, расположенными в районе Гавайских островов, на севере Тихого океана, на территории Канады (провинция Альберто) и другой на крайнем юго-востоке США вблизи Мексиканского залива (по данным из Национального управления океанических и атмосферных исследований *noaa.gov*). Продолжающееся уменьшение площади льда и повышение температуры поверхности воды были подтверждены в ходе исследования. Обнаружена связь между циклическими колебаниями аномалий площади льда, поверхностной температурой воды, глобальными климатическими показателями и астрогеофизическими характеристиками с периодами 22, 9-11 и 5-7 лет с помощью спектрального анализа [1-3]. Было обнаружено, что циклические колебания в высокочастотной части спектра, то есть с периодами менее 3 лет [3,4], вызваны движением воздушных масс и взаимодействием между океаном и атмосферой. Статистические модели были разработаны для площади льда и температуры поверхности воды (надежность модели в среднем составляет 90%, а эффективность - 18%). Астрогеофизические факторы [5] были впервые использованы для построения моделей. Получены численные оценки вклада факторов, формирующих межгодовую изменчивость аномалий площади льда: предыстория атлантических вод (температура поверхности воды в Северной Атлантике с заблаговременностью от 1 года и более) и ледяного покрова (величина ледовитости за прошлый год): около 35% от общей дисперсии; индекс Арктического колебания: около 17%; нутация Земли (15%); расстояние от Земли до Солнца (10%); тепловой баланс поверхности океана, рассчитанный по данным Национального управления океанических и атмосферных исследований *noaa.gov* (около 13%). Для аномалий межгодовой изменчивости температуры поверхности воды получены оценки вкладов в общую дисперсию: водные массы Атлантического океана - 35%, температура атмосферы - 30%, расстояние

от Земли до Солнца - 10% и движение воздушных масс - 25%. Впервые были разработаны статистические уравнения для прогноза аномалий площади льда и поверхностной температуры воды на несколько лет с использованием астрогеофизических предикторов. Полученные результаты исследования служат хорошим основанием для дальнейшей разработки и улучшения уравнений прогноза климатических изменений аномалий ледовитости и поверхностной температуры воды в Северо-Европейском бассейне.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (уникальный идентификатор проекта –RFMEFI61619X0108).

Список литературы

- 1) Тимохов Л.А., Вязигина Н.А., Миронов Е.У., Юлин А.В. Климатические изменения сезонных и долгопериодных колебаний ледовитости Гренландского и Баренцева морей // Проблемы Арктики и Антарктики. 2019. 65 (2). С. 148-168.
- 2) Миронов Е.У. Ледовые условия в Гренландском и Баренцевом морях и их долгосрочный прогноз // СПб. ААНИИ, 2004. 319 с.
- 3) Тимохов Л.А., Вязигина Н.А., Миронов Е.У., Попов А.В. Особенности сезонной и межгодовой изменчивости ледяного покрова Гренландского моря // Лёд и Снег. 2018. Т. 58. №1. С. 127-134.
- 4) Зубакин Г.К. Крупномасштабная изменчивость состояния ледяного покрова морей Северо-Европейского бассейна // Л. Гидрометеоздат, 1987. 160 с.
- 5) Герман, Дж. Р. Голдберг Р. А. Солнце, погода, климат // Л. Гидрометеоздат, 1981. 109 с.

ОСОБЕННОСТИ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ В ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЯХ ЧЁРНОГО МОРЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Гиппиус Ф.Н., Мысленков С.А.

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

fedor.gippius@gmail.com

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

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.

Данная работа посвящена оценке распределения параметров ветровых волн на акватории Чёрного моря, причём особое внимание уделено прибрежным районам. Параметры ветровых волн 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 буйа [5] и спутниковой альтиметрии [6].

Результаты работы представлены в нескольких формах. Во-первых, рассматриваются пространственные распределения максимальных значений параметров ветровых волн (высота значительных волн, длина волн, период волн). Такие распределения составлены как для отдельных сезонов, так и для всего периода моделирования. Установлено, что максимальные высоты значительных волн находятся в диапазоне 8,5-9,0 м и соответствуют юго-западной акватории моря. В свою очередь, максимальные длины и периоды волн соответствуют восточной части моря, их значения здесь превышают 160 м и 10,5 с соответственно.

Для оценки волнового климата прибрежных акваторий были проанализированы серии 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). Максимальные высоты значительных волн (более 6 м) соответствуют северо-восточным и юго-западным берегам моря, а также южному берегу Крымского полуострова. Максимальные значения длин и периодов волн (более 140 м и 10 с соответственно) достигаются вдоль северо-восточного и южного побережий моря.

Расчёт параметров ветровых волн, а также анализ и интерпретация результатов моделирования выполнены Ф. Н. Гиппиусом при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках проекта № 16-35-00488. Валидация результатов моделирования выполнена С. А. Мысленковым при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках проекта № 18-05-80088.

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

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ АВИАЦИОННОЙ ЛИДАРНОЙ БАТИМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ С БОЛЬШОЙ ВЫСОТЫ

Глухов В.А.^{1,2}, Гольдин Ю.А.¹, Родионов М.А.¹, Гуреев Б.А.¹, Глитко О.В.¹

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

²Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

vl.glukhov@inbox.ru

Ключевые слова: лидар, батиметрическая съёмка, энергия зондирующего импульса, высота полёта.

В настоящее время радиометрические лидары активно применяются для съёмки рельефа дна прибрежных морских акваторий и внутренних водоемов [1,2]. Батиметрические лидары могут быть размещены как на судне, так и на авианосителе - самолете, вертолете или беспилотном летательном аппарате. К достоинствам авиационной лидарной батиметрии относятся высокая производительность, оперативность, возможность проведения съёмки на акваториях со сложными условиями судоходства. Максимальные глубины лидарного зондирования дна определяются в основном оптическими характеристиками воды и меняются в диапазоне ~ 70 м [3,4] в прозрачных водах до единиц метров и менее в мутных.

Известен целый ряд зарубежных лидарных батиметрических систем, например, CZMIL-Nova [3], Leica Chiroptera 4X [4] и др. Наряду с регулярной авиационной батиметрической съёмкой, выполняемой для решения практических задач, проводятся исследования, направленные на расширение возможностей лазерной батиметрии. Разрабатываются методы определения по форме отраженного от дна эхо-сигнала типа дна (песчаное, каменистое, покрытое водорослями) [5]. Проводятся исследования по развитию лазерной батиметрии мелководных районов [6]. Интерес представляет исследование возможностей лазерной батиметрии в зависимости от высоты размещения лидара над поверхностью воды. Обычно авиационная лидарная батиметрическая съёмка выполняется при высотах полета авианосителя от 200 до 400 м. На этих высотах обеспечиваются безопасность полета авианосителя, достаточно уверенный приём отраженного от дна эхо-сигнала, незначительное в большинстве случаев влияние атмосферного участка трассы зондирования и достаточно широкая полоса съёмки при сканировании. Иногда, например, при совмещении топографической съёмки прибрежных участков суши и батиметрической съёмки мелководных участков прибрежной акватории, выполняющихся с целью определения точного положения береговой линии, высоту полета авианосителя увеличивают до 500 - 600 м [1,2]. Однако, в ряде случаев проведение авиационной съёмки на указанных высотах не представляется возможным, например, в Бечевинской бухте Авачинского залива полуострова Камчатка. Бухта со всех сторон окружена горами с высотами около одного километра. При этом ширина бухты не превышает двух километров. Поэтому для обеспечения безопасности полеты над всей акваторией бухты должны выполняться на высотах более 2500 м, при этом полеты над входом в бухту могут быть выполнены на меньших высотах.

Исследования в бухте выполнялись с использованием авиационного поляризационного лидара АПЛ-3 (совместная разработка Лаборатории оптики океана и атмосферы Санкт-Петербургского филиала ИО РАН и Лаборатории оптики океана ИО РАН). Лидар предназначен для зондирования толщи морской воды с целью дистанционной регистрации пространственных распределений гидрооптических характеристик. Лидарная съёмка производилась с борта самолета-лаборатории ИЛ-18Д.

В ходе батиметрической съёмки было выполнено 4 галса самолета с высотой полета 500, 700, 900 и 1200 м. Сложность полетов определяется окружающими бухту высокими горами. Условия безопасности полетов позволили выполнить измерения только на входе и в средней части бухты.

При высоте полета 1200 м максимальная зарегистрированная глубина составила 17,5 м, а при высоте полета 500 м - 21,5 м.

Полученные экспериментальные данные позволили выполнить оценки энергии зондирующего импульса, требуемой для локации дна с разных высот. Проведение батиметрической съемки до глубин ~25 м с безопасной для всей акватории бухты высоты полета 2500 м требует более чем двадцатикратного увеличения энергии зондирующего импульса по сравнению с имеющейся у лидара АПЛ-3. Оценки показывают сильную зависимость требуемой для батиметрической съемки энергии зондирующего импульса от высоты полета. Минимальная высота для проведения батиметрической съемки составляет 200 м. При повышении высоты полета с 200 м до 2500 м величина требуемой энергии зондирующего импульса при зондировании до глубин 25 м увеличивается почти в 150 раз. В заключение необходимо отметить, что при продолжении исследований необходимо провести данные оценки для различных оптических характеристик морских прибрежных вод.

Авторы выражают благодарность летному экипажу ЛЛ Ил-18Д НПП «Мир» в составе: Иванишко С.Э., Виноградову В.В., Лыткину Б.В. и Черному В.Ф. за проведение сложных полетов в Бечевинской бухте и Сбитному М.Л. за организацию полетов.

Исследование выполнено в рамках государственного задания по теме №0149-2019-0015.

Список литературы

- 1) KutalmisSaylam, John R. Hupp, Aaron R. Averett, William F. Gutelius, Brent W. Gelhar. Airborne lidar bathymetry: assessing quality assurance and quality control methods with Leica Chiroptera examples // International Journal of Remote Sensing. 2018. 39:8. P. 2518-2542. DOI: 10.1080/01431161.2018.1430916.
- 2) T.S.Moore, et al. Vertical distributions of blooming cyanobacteria populations in a freshwater lake from LIDAR observations // Remote Sensing of Environment. 2019. № 225. P. 347–367. <http://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.025>.
- 3) CZMIL Airborne Bathymetric Lidar Summary Specification Sheet <http://www.gstdubai.com/downloads/CZMIL-Specsheet-140814-WEB.pdf>, (дата обращения 15.01.2020).
- 4) Leica Chiroptera 4X Bathymetric & Topographic LiDAR <https://leica-geosystems.com/en-gb/products/airborne-systems/bathymetric-lidar-sensors/leica-chiroptera>, (дата обращения 15.01.2020)
- 5) FiratErena, Shachak Pe'erib, Yuri Rzhanov, Larry Ward. Bottom characterization by using airborne lidar bathymetry (ALB) waveform features obtained from bottom return residual analysis // Remote Sensing of Environment. 2018. № 206. P. 260–274.
- 6) Dolin L.S. Optical Bathymetry Based on Halo effect // Proceeding of IX All Russia Conference Current problems in optics of natural waters ONW'2017. Saint Petersburg. 2017. P. 102-107.

ВЛИЯНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СТРУКТУРУ СОЛЕННОСТИ АЗОВСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ СУДОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Григоренко К.С. Олейников Е.П. Московец А.Ю. Шевченко М.С.

Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону

klim_grig@mail.ru

Ключевые слова: Азовское море, осолонение, маловодье Дона, половодье, аридизация климата.

Влияние высокого половодья Дона в 2018 г. исследуется на основе результатов экспедиций Южного научного центра РАН в Азовское море в 2018 и 2019 гг. Экспедиции проводились на борту научно-исследовательского судна «Денеб» в мае-июне на этапе спада половодья, а также в августе, ноябре-декабре 2018 г и в апреле 2019 г. Измерения проводились с помощью океанографического зонда SBE-19, термосалинографа SBE-21, и доплеровского измерителя течений Aanderaa RCM 9LW. Во время весенне-летней экспедиции наблюдалось интенсивное фронтообразование в районах взаимодействия морских и речных вод, масштаб которого значительно превышал параметры фронтов в период более ранних наблюдений по градиентам и протяженности. Поле солёности собственно Азовского моря соответствовало характеристикам 2012 - 2017 гг., во время которых наблюдались низкие величины стока Дона. Во время августовской и ноябрьской съёмок 2018 г., а также апрельской 2019 г., изменчивость поля солёности в большей степени зависела от текущей ветровой обстановки, последствий половодья не наблюдалось. Впервые за современный маловодный период бассейнов Дона и Кубани, на основе инструментальных измерений, были получены количественные оценки объёмов черноморских вод, поступающих в Азовское море. Результаты измерений показали преобладание переноса в северном направлении - из Черного моря в Азовское. Размеры обратного потока были минимальными, а скорости течений оказались в 10 раз меньше. Расход вод меридиональной составляющей течений с юга на север в ноябре составил $1920 \text{ м}^3/\text{с}$, в апреле - $17100 \text{ м}^3/\text{с}$.

Наблюдения показывают, что одного высокого половодья недостаточно для вытеснения солёных вод и распреснения Азовского моря. В эстуарном Таганрогском заливе наблюдаются мощные фронты температуры и солёности, которые меняют свое местоположение в значительно более широких пределах, чем в маловодные периоды, когда пресные воды прижаты практически к устью Дона. Во время майской экспедиции 2018 г. зоны смешения пресных речных, более мутных, и морских, более прозрачных вод наблюдались визуально в районе Беглицкой косы, что, по сравнению с предыдущими 15-ю годами исследований достаточно далеко от устья Дона. С точки зрения водного баланса Дона 2018 г. был аномальным, в 2019 г. половодье практически не наблюдалось, и продолжилась тенденция к падению максимальных расходов воды в течение года и росту меженных, также сохраняется низкий годовой сток, поэтому следует говорить о продолжении маловодного периода. В сложившихся климатических условиях логично ожидать продолжения перестроения динамики вод Таганрогского залива, поскольку солёные воды будут оттеснять пресные речные, фронты солёности будут формироваться ближе к речному устью, а мезомасштабные вихри распресненных вод между косами Ейской и Должанской должны неминуемо уменьшаться в размерах и градиентах температуры и солёности. По причине интенсивного судоходства проводить океанографические исследования в Керченском проливе затруднительно. Район возможных исследований ограничен якорными стоянками судов с южной и северной сторон пролива, в пределах которых невозможно выполнить измерение течений в створе пролива, в отличие от исследований, приведенных в работе [1], что затрудняет сравнение результатов. При этом, даже в таких условиях, были проведены инструментальные измерения и получены данные о скоростях и масштабах течения из Черного моря, которые демонстрируют, что в северной части Керченского пролива, на глубинах более 1 - 2 м практически полностью доминирует перенос вод в Азовское море, восполняющий понижение стока Дона в 2007 - 2019 гг. Полученные расходы вод, перемещающиеся

через Керченский пролив в Азовское море, позволяют оценить размеры годового притока Черноморских вод. Средний от измеренного во время двух экспедиций расход составляет $951 \text{ м}^3/\text{с}$, что соответствует годовому затоку в $29,99 \text{ км}^3$, и это значение хорошо соответствует оценке, приведенной в работе [2]. Большой разброс значений расходов из двух экспедиций (почти в десять раз), в первую очередь, связан с первостепенной зависимостью динамики течений Керченского пролива и Азовского моря от поля ветра: в ноябре наблюдалась тихая погода, поле течений перестраивалось после перемены восточного ветра на слабый западный, тогда как через полгода, в апреле, работы проводились во время действия мощного подпора черноморских вод, вызванных сильным южным ветром. Кроме этого, станции наблюдений расположены вне, собственно, Керченского пролива - на южной границе Азовского моря, примыкающей к проливу, и не охватывают потоки, которые могут перемещаться вдоль берегов Керченского и Таманского полуостровов.

Публикация подготовлена в рамках реализации Государственного задания 0256-2019-0028№ гр. АААА-А18-118122790121-5 «Морские биогеосистемы юга России и их водосборы в условиях аридного климата, хозяйственного освоения и современных геополитических вызовов».

Список литературы

- 1) Лемешко Е.М., Морозов А.Н., Федоров С.В. Исследования течений в Керченском проливе по данным акустического доплеровского профилометра течений (ADCP) // Экология. Экономика. Информатика. Азовское море, Керченский пролив и предпроливные зоны в Черном море: проблемы управления прибрежными территориями для обеспечения экологической безопасности и рационального природопользования. Сборник материалов III Всероссийской конференции. 2016. Ростов-на-Дону. Изд-во Южного федерального университета. С. 213–228.
- 2) Матишов Г.Г., Григоренко К.С., Московец А.Ю. Механизмы осолонения Таганрогского залива в условиях экстремально низкого стока Дона // Наука юга России. 2017. Т. 13. № 1. С. 35-43. DOI: 10.23885/2500-0640-2017-13-1-35-4.

ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЗАВИХРЕННОСТИ КАСАТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ТРЕНИЯ ВЕТРА НАД ЧЕРНЫМ МОРЕМ

Губарев А.В., Аверьянова Е.А., Полонский А.Б.

Институт природно-технических систем, г. Севастополь

alexgub@inbox.ru

Ключевые слова: Чёрное море, атмосферные реанализы, сезонная изменчивость, завихренность касательного напряжения трения ветра.

Завихренность касательного напряжения трения ветра (ЗКНТВ) является ключевым фактором, определяющим ветровую циркуляцию над Черным морем и ее сезонную изменчивость. Значительное влияние на вертикальную циркуляцию в подповерхностном и промежуточном слоях, а также вертикальный теплообмен оказывает интенсивность ЗКНТВ [1-4].

В работе использованы данные о меридиональной и зональной компонентах вектора ветра из глобальных атмосферных ре-анализов NCEP-DOE (National Centers for Environmental Prediction-Department of Energy) Reanalysis 2, ERA-Interim (European Centre for Medium Range Weather Forecasts Re-Analysis), MERRA2 (Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, Version 2), JRA-55 (Japanese 55-year Reanalysis) за каждые 6 ч за период 1980-2018 гг. [1-4]. По этим данным в каждой точке регулярной сетки и в среднем для всей акватории Черного моря рассчитывались климатические среднегодовые и среднемесячные величины ЗКНТВ.

Показано хорошее согласование пространственных структур ЗКНТВ, построенных по данным ре-анализов MERRA2, JRA-55 и ERA Interim. Поля, построенные по ре-анализу NCEP-DOE более сглажены, что связано с более грубым пространственным разрешением этого массива. Средняя по морю величина ЗКНТВ варьирует в интервале от $1,9 \cdot 10^{-8}$ до $2,6 \cdot 10^{-8}$ Па/м. В среднем, за весь рассматриваемый временной период, на большей части акватории моря преобладает циклоническая завихренность.

Сезонный ход средней по морю ЗКНТВ, рассчитанный по всем ре-анализам, показывает, что наименьшие средние по морю величины ЗКНТВ отмечаются в июне-июле, а наибольшие - в феврале. Наибольшие сезонные вариации получены по ре-анализу NCEP-DOE (разница между ЗКНТВ в феврале и в июле составляет $9,45 \cdot 10^{-8}$ Па/м), наименьшие - по ре-анализу JRA-55 (разница между ЗКНТВ в феврале и в июне составляет $4,68 \cdot 10^{-8}$ Па/м).

Наибольшая амплитуда сезонной изменчивости ЗКНТВ отмечается в юго-восточной части моря вблизи турецкого побережья (между 30° в.д и 35° в.д.), над акваториями Босфорского, Кавказского, Батумского антициклонических квазистационарных морских вихрей. Из четырех исследованных ре-анализов пространственное распределение областей максимальной сезонной изменчивости лучше всего согласуется по данным ERA-Interim и MERRA2.

По всем ре-анализам в период с ноября по апрель над большей частью акватории моря преобладает циклоническая завихренность. Однако величины максимумов циклонической завихренности по различным ре-анализам могут отличаться на $(10-20) \cdot 10^{-8}$ Па/м. По JRA-55 и ERA-Interim получены более низкие значения максимумов ЗКНТВ. По данным ре-анализа MERRA2 в поле ЗКНТВ хорошо воспроизводятся отдельные антициклонические структуры в зимний период, связанные с орографией.

В летний период по всем ре-анализам площадь областей с антициклонической завихренностью наибольшая. Максимальная среднемесячная антициклоническая завихренность для всех ре-анализов отмечается в августе в западной части моря. По данным MERRA2 и ERA-Interim получены более высокие значения максимумов антициклонической завихренности.

Список литературы

- 1) Pedlosky J. Geophysical Fluid Dynamics. Springer, 1979. 624 p.
- 2) 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.
- 3) Белокопытов В.Н. Климатические изменения гидрологического режима Черного моря: дис. . . . д-ра геогр. наук. Севастополь. 2017. 377 с.
- 4) Шокуров М.В., Шокурова И.Г. Завихренность напряжения трения ветра на поверхности Черного моря при различных ветровых режимах // Морской гидрофизический журнал. 2017. № 6 (198). С. 13–26.

СОЛИТОННО-БРИЗЕРНАЯ ТУРБУЛЕНТНОСТЬ В РАМКАХ УРАВНЕНИЙ ДЛИННЫХ ВОЛН

Диденкулов О.И., Диденкулова Е.Г.

Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород

didenkulov@gmail.com

Ключевые слова: бризеры, солитоны, солитонная турбулентность, численное моделирование, волны-убийцы.

Теория волновой (слабой) турбулентности в настоящее время достаточно хорошо развита. Её экспериментальные подтверждения найдены в океане, атмосфере, плазме и в конденсате Бозе-Эйнштейна. Несколько десятилетий назад заговорили о так называемой солитонной турбулентности (солитонном газе). Под газом солитонов подразумевают ансамбль уединенных волн (солитонов) со случайными параметрами. Его исследование в основном концентрировалось на кинетической теории для параметров солитонов Кортевега-де Вриза. Зачастую солитонный газ рассматривают в рамках нелинейного уравнения Шредингера, и особый интерес здесь вызывают редкие аномальные выбросы, так называемые волны-убийцы. В том числе, важный вопрос заключается в раскрытии роли солитонов и бризеров (осциллирующих волновых пакетов) в образовании аномально больших волн. В наших работах [1-2] было проведено численное моделирование ансамблей уединенных волн в рамках уравнений Кортевега - де Вриза и модифицированного уравнения Кортевега - де Вриза и показано, что в случае полей однополярных солитонов аномально большие волны не возникают, в то время как присутствие солитонов разной полярности может приводить к аномальному усилению волн. Этот же результат подтвержден анализом точного многосолитонного решения [3]. Если же в системе необходимо учитывать как квадратичную, так и кубическую нелинейность, необходимо переходить к расширенному уравнению Кортевега - де Вриза (уравнению Гарднера). Знак кубической нелинейности в данном уравнении является определяющим в случае волн большой амплитуды. Так, в случае отрицательного коэффициента кубической нелинейности (дефокусирующий тип нелинейности) система допускает существование так называемых «толстых» солитонов, которые имеют ограничение по амплитуде. В случае же положительного знака кубического коэффициента (фокусирующий тип нелинейности) в рамках данной модели возможно существование солитонов разной полярности. Процессы двухсолитонного взаимодействия в рамках уравнения Гарднера были рассмотрены в [4].

Помимо солитонов в рамках данных уравнений интерес вызывают и точные решения в виде так называемых «дышащих» волновых пакетов - бризеров. Они, как и солитоны, при распространении сохраняют свою энергию, их взаимодействие друг с другом может приводить к образованию аномально больших волн. Нами выполнено численное моделирование динамики ансамблей бризеров в рамках модифицированного уравнения Кортевега - де Вриза. Проведен численный анализ моментов волнового поля при взаимодействии двух бризеров, что позволило сформулировать картину элементарного акта бризерной турбулентности. Вычислены статистические моменты и функции распределения случайного ансамбля бризеров.

Столкновение бризера с солитоном в виде уединенного возмущения - новая задача, возникающая в уравнениях для длинных волн. Здесь стоит вопрос в особенностях самого процесса взаимодействия этих двух возмущений и возможности значительного усиления результирующего импульса. Аналитические решения для волн-убийц при фокусировке бризеров и солитонов в рамках фокусирующего уравнения Гарднера были недавно получены в работе [5]. В рамках данной работы проведено исследование смешанного солитонно-бризерного газа и рассмотрены особенности данного типа взаимодействий в уравнениях типа Кортевега - де Вриза. Это исследование является новым в своем роде, несмотря на то, что в разных системах и бризеры, и солитоны могут существовать одновременно естественным образом (в том числе, и во внутренних волнах).

Выделим лишь статью [6], где взаимодействие бризера с солитоном было рассмотрено в рамках расширенного уравнения Кортевега - де Вриза, однако ситуации со значительным усилением волнового поля не отмечались.

В данной работе произведен анализ волновых полей, состоящих из большого количества солитонов и бризеров, позволяющий судить о вероятностных характеристиках смешанного ансамбля волн. Определены вероятности и условия возникновения волн-убийц в солитонно-бризерных полях.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-12-00253).

Список литературы

- 1) 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.
- 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) Slunyaev A.V., Pelinovsky E.N. Role of Multiple Soliton Interactions in the Generation of Rogue Waves: The Modified Korteweg-de Vries Framework // Phys. Rev. Lett. V.117. 2016. P. 214501.
- 4) Шургалина Е.Г. Особенности двухсолитонного взаимодействия в рамках уравнения Гарднера // Известия вузов. Радиофизика № 9(60). 2017. С. 787-792.
- 5) Slunyaev A.V. On the optimal focusing of solitons and breathers in long wave models // Studies in Applied Mathematics № 3(142). 2019. P. 385-413.
- 6) Chowa K.W., Grimshaw R.H.J., Ding E. Interactions of breathers and solitons in the extended Korteweg-de Vries equation // Wave Motion. V. 43. 2005. P. 158-166.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОСЦИЛЛИРУЮЩИХ ПАКЕТОВ ВНУТРЕННИХ ВОЛН (БРИЗЕРОВ) И УЕДИНЕННЫХ ВОЛН (СОЛИТОНОВ)

Диденкулова Е.Г.

Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", г. Нижний Новгород

Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород

eshurgalina@mail.ru

Ключевые слова: внутренние волны, стратифицированный океан, бризеры, солитоны, солитонная турбулентность, волны-убийцы, численное моделирование.

Внутренние гравитационные волны являются неотъемлемой частью динамики стратифицированных морей и океанов. Хорошо известно, что интенсивные внутренние волны влияют на процессы перемешивания стратифицированной воды, распределение планктона и перенос примесей и загрязнений, а также на распространение акустических сигналов и движение подводных аппаратов. Они могут затруднять осуществление хозяйственной деятельности человека на шельфе, вызывая перемещение донных осадков, приводя к размыву грунтов под нефтяными и газовыми платформами, и тем самым влияя на их устойчивость. К наиболее энергонесущим волнам в толще океана относятся уединенные волны (солитоны). Эти волны довольно часто встречаются на реальных записях внутренних волн и активно исследуются в теории и океанологической практике. 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. Несмотря на это, исследователи начинают обнаруживать бризеры в своих экспериментах [1], в том числе и в натуральных [2]. Моделирование образования интенсивных волновых пакетов из модулированных групп внутренних волн для условий Южно-Китайского и Балтийского морей обсуждалось в работе [3]. В работе [4] сообщается о наблюдениях бризероподобных пакетов внутренних волн в Ирландском море.

Бризеры представляют собой более сложные структуры, чем солитоны, так как описываются большим числом независимых параметров. Поэтому динамика осциллирующих волновых пакетов, их взаимодействие друг с другом и с солитонами представляются крайне интересными и нетривиальными.

В данной работе определены особенности поведения нелинейных осциллирующих пакетов - бризеров при взаимодействии друг с другом, а также с уединенными нелинейными волнами (солитонами) для широкой вариации параметров волн. Взаимодействие даже двух бризеров представляет собой сложный физический процесс, результаты которого зависят от нескольких параметров волн: амплитуд, положений волн (начальных фаз) и «частот заполнения» огибающих осциллирующих пакетов. Такая вариация параметров ведет к богатому разнообразию результирующих импульсов в момент взаимодействия. Формы и особенности образования этих волн в момент взаимодействия проанализированы. Определены условия значительного усиления волнового поля при взаимодействии бризера и солитона. Анализ форм результирующих импульсов в момент максимального нелинейного взаимодействия бризера с солитоном позволил составить статистику наиболее часто встречающихся аномальных волн.

Исследование двух- и трех- волновых взаимодействий позволило внести большую ясность в сложную динамику бризерных и солитонно-бризерных полей внутренних волн в стратифицированных морях и океанах. В работах [5-6] аналитически уже были найдены оптимальные условия фокусировки бризеров для образования максимально возможной аномально большой волны. В рамках настоящей работы акцент сделан именно на статистический подход к изучению бризерного газа со случайными начальными условиями, характерными для реальных морских акваторий.

С помощью численного моделирования определены статистические моменты волновых полей, построены функции распределения амплитуд и смещений волн, составлена статистика и изучены формы возникающих аномально больших волн. Это позволило оценить вероятность образования аномально больших внутренних волн из солитонных и бризерных компонент, часто присутствующих на наблюдаемых записях внутренних волн, что имеет важное практическое значение. Проведенное исследование позволило выявить возможные опасные ситуации в морских регионах, для которых характерно образование внутренних бризеров и солитонов.

Исследования выполнены в рамках моделей типа Кортевега - де Вриза (модифицированного уравнения Кортевега - де Вриза и фокусирующего уравнения Гарднера, учитывающего квадратичную и кубическую нелинейности), применяемых для описания внутренних волн в океане, стратифицированном по плотности и течению.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 19-35-60022 и 19-05-00161.

Список литературы

- 1) Zhang P., Xu Zh., Li Q., Yin B., Hou Y., Liu A.K. The evolution of mode-2 internal solitary waves modulated by background shear currents // *Nonlin. Processes Geophys.* V. 25. 2018. P. 441–455.
- 2) Lee J.H., Lozovatsky I., Jang S-T., Jang Ch. J., Hong Ch. S., Fernando H.J.S. Episodes of nonlinear internal waves in the northern East China Sea // *Geoph. Res. Letters* V. 33. 2006. P. L18601.
- 3) Галипова Т.Г. Механизмы образования внутренних «волн-убийц» // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика* № 4(4). 2011. С. 58-70.
- 4) Vlasenko V., Stashchuk N., Inall M., Hopkins J. Tidal energy conversion in a global hotspot: on the 3D dynamics of baroclinic tides at the Celtic Sea shelf break // *J. Geophys. Res.* V. 119. 2014. P. 3249-3265.
- 5) Slunyaev A.V., Pelinovsky E.N. Role of Multiple Soliton Interactions in the Generation of Rogue Waves: The Modified Korteweg–de Vries Framework // *Phys. Rev. Lett.* V.117. 2016. P. 214501.
- 6) Slunyaev A.V. On the optimal focusing of solitons and breathers in long wave models // *Studies in Applied Mathematics* № 3(142). 2019. P. 385-413.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОД У БЕРЕГОВ ЗАПАДНОГО КРЫМА И В РАЙОНЕ СЕВАСТОПОЛЯ НА ОСНОВЕ АССИМИЛЯЦИИ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Евстигнеева Н.А., Демьшев С.Г.

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

naevstigneeva@yandex.ru

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

Восстановление пространственно-временной структуры прибрежной циркуляции Черного моря, близкой к наблюдаемой, позволяет определять области генерации мезо- и субмезомасштабных вихрей, фронтальных зон и струйных течений, что важно при решении задач, связанных со строительством прибрежных и портовых сооружений, навигацией, добычей полезных ископаемых, прогнозировании воздействия на морскую среду аварийных выбросов загрязняющих веществ. Надводное и подводное судоходство, интенсивная эксплуатация порта в Севастополе, который является военно-морской базой России, требуют анализа и прогноза гидрофизических полей по всей толще моря. Без реконструкции циркуляции на основе синтеза численной модели высокого пространственного разрешения и данных наблюдений гидрологических съемок решение этих задач практически невозможно.

Данное исследование посвящено анализу результатов численного моделирования прибрежной циркуляции Черного моря на основе ассимиляции в гидродинамической модели экспериментальных данных измерений температуры и солёности. В качестве инструмента исследования выбрана z-координатная трехмерная нелинейная модель Черного моря [1], которая была разработана в Морском гидрофизическом институте РАН и адаптирована к условиям прибрежной зоны в [2]. В процедуре ассимиляции данных наблюдений, основанной на модифицированном фильтре Калмана [3], учитывалась неоднородность и неизотропность оценок полей температуры и солёности.

В расчете использовалось реальное атмосферное воздействие и высокое разрешение (горизонтальная сетка $\sim 1,6 \times 1,6$ км и 30 вертикальных слоев от 1 м до 1300 м). Учитывались данные о вертикальном и пространственном распределении температуры и солёности, полученные при гидрологической съемке на НИС «Эксперимент» в сентябре 2007 г. Максимальная глубина, до которой проводились зондирования, изменялась от 5 до 300 м, число станций - 44. Расчетная область была расположена между меридианами 28,5 и 33,5° в.д., с открытой южной границей, соответствующей параллели 44,4 с.ш. Общее время интегрирования уравнений модели - 10 дней (с 14 по 24 сентября 2007 г.).

По результатам расчета были получены следующие особенности циркуляции: антициклонический вихрь с радиусом около 15 км в верхнем слое воды в Каламитском заливе, циклоническое вихревое образование с радиусом около 10 км в слое 10-20 м вблизи г. Евпатория, антициклонический вихрь с радиусом около 15 км во всем слое воды между 32,2 и 32,4° в.д., связанный с меандрированием ОЧТ. 22 и 23 сентября в верхнем 36-метровом слое усилилось течение вблизи г. Севастополь и вдоль западного берега Крыма, направленное на север и северо-запад. Вдоль побережья в течение всего расчета генерировались вихри малых масштабов различного знака вращения в верхнем слое.

Возможными механизмами генерации прибрежных мезомасштабных и субмезомасштабных вихрей в рассматриваемой прибрежной зоне являлись: 1) горизонтальный сдвиг скорости, возникающий в результате отрицательной работы силы ветра и/или обтекание прибрежными течениями береговой линии и неоднородностей рельефа дна 2) изменение давления над топографическими особенностями рельефа дна (свал глубин).

Восстановлена пространственно-временная структура полей температуры и солености у западного побережья Крыма и в районе Севастополя. Отмечено охлаждение и опреснение поверхностных вод, которое наиболее ярко проявлялось вдоль побережья восточнее м. Тарханкут. В результате подъема нижележащих более холодных вод воспроизведен прибрежный апвеллинг в Каламитском заливе 21-23 сентября 2007 г., зафиксированный по данным наблюдений.

Также проведен расчет и анализ энергетических характеристик циркуляции, рассчитанных на основе уравнений изменения кинетической и потенциальной энергии [4]. Изменение кинетической энергии определялось в основном ветровым воздействием, вертикальным трением и работой сил давления. Изменение потенциальной энергии определялось в основном адвекцией потенциальной энергии и горизонтальной турбулентной диффузией. При расчете вертикальной диффузии в уравнении бюджета потенциальной энергии основной вклад вносило слагаемое, характеризующее разность плотности на поверхности и у дна моря и слагаемое, зависящее от изменения коэффициента диффузии с глубиной.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и города Севастополь в рамках научного проекта № 18-45-920019.

Список литературы

- 1) Демьшев С.Г. Численная модель оперативного прогноза течений в Черном море // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2012. Т. 48. № 1. С. 37–149.
- 2) Демьшев С.Г., Евстигнеева Н.А. Анализ гидрофизических полей на северо-западном шельфе Черного моря // Океанология, 2013. Том 53, № 5. С. 585–595.
- 3) Кньш В.В., Моисеенко В. А., Саркисян А. С., Тимченко И. Е. Комплексное использование измерений на гидрофизических полигонах океана в четырехмерном анализе // Докл. АН СССР. 1980 252, Т.4, 832–836.
- 4) Демьшев С.Г. Энергетика климатической циркуляции Черного моря. Ч.1. Дискретные уравнения скорости изменения кинетической и потенциальной энергий // Метеорология и гидрология. 2004. № 9. С. 65–80.

ОЦЕНКА ДРЕЙФА ЛЬДА ЧЕРЕЗ ПРОЛИВ ФРАМА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ

Егорова Е.С.¹, Виноградная Е.С.^{1,2}

¹Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург

²Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург

egorova@aari.ru

Ключевые слова: пролив Фрама, вынос льдов, Polar Pathfinder.

В настоящей работе проведена попытка оценить сезонную и годовую величину ледообмена Арктического бассейна с Гренландским морем через пролив Фрама за период 1979-2018 гг. с применением двух подходов. В их основе лежит простая зависимость площади льдов, выносимых через пролив, от скорости их дрейфа и ширины ледового потока.

Первый метод представляет собой использование модели изобарического дрейфа, предложенной в середине 60-ых гг. XX в. сотрудниками ГИЦ «ААНИИ» З.М. Гудковичем и А.Я. Николаевой [1]. Она строится на предположении, что дрейф ледяного покрова можно разложить на две основные компоненты: ветровую, зависящую исключительно от местных ветровых условий, и так называемую «неветровую», под которой понимается воздействие постоянных течений. Для расчёта этих составляющих используются среднемесячные градиенты атмосферного давления, определяемые по данным реанализа ERA-Interim [2].

Второй подход предполагает вычисление величины и направления суммарного вектора скорости дрейфа с дискретностью 1 месяц по данным базы Polar Pathfinder четвёртой версии [3]. Данные включают в себя информацию о горизонтальных \mathbf{U} и вертикальных \mathbf{V} компонентах вектора скорости дрейфа, проецируемых на сеточную область с разрешением 25×25 км. Ширина выносимых через пролив Фрама льдов определяется с использованием доступных за период 2000-2018 гг. обзорных ледовых карт ГИЦ «ААНИИ» отдельно для зимних (октябрь-май) и летних (июнь-сентябрь) месяцев, а также в целом за год [4].

Получено, что осреднённая за последний 18-летний период ширина ледового потока в зимний сезон достигает 344 км, а в летний уменьшается до 318 км. При этом среднегодовая её величина составляет 335 км против 340 км, установленной авторами модели изобарического дрейфа. Очевидно, что разница между вычисленными значениями ширины выносимых льдов мала и не превышает 5 км при условии их определения в разные эпохи климатических изменений (2000-2018 гг. и 1946-1960 гг. соответственно). Скорее всего, она обусловлена использованием разного объёма данных наблюдений ввиду отсутствия регулярных авиационных разведок в Гренландском море в середине прошлого столетия.

Таким образом, площадь льдов, выносимых через пролив Фрама, практически не изменилась, несмотря на наблюдающееся с конца 80-ых гг. XX в. по настоящее время сокращение ледяного покрова в Северном Ледовитом океане. Однако не стоит забывать, что толщину (следовательно, и объём) выносимых льдов мы в настоящем исследовании не учитываем.

Установлено, что ледовый поток в проливе Фрама имеет неоднородный характер по сплочённости. Поскольку в летний период лёд имеет различную сплочённость, зачастую отличную от 10 баллов, определённая в 335 км ширина ледового потока не является реальной. Поэтому для летнего сезона она была пересчитана с учётом реально наблюдающихся градаций сплочённости ледяного покрова от 1-6 до 7-10 баллов. Результаты расчётов показывают, что в летние месяцы действительная ширина ледового потока уменьшается до 235 км, а среднегодовое значение - до 306 км при её неизменной величине в зимний сезон.

С учётом ширины ледового потока, приведённой к единицам сплочённости, среднегодовой вынос льдов по модели изобарического дрейфа составляет 712 тыс. км² со среднеквадратическим отклонением (СКО) 160 тыс. км², причём на зимние месяцы приходится 92% (652 тыс. км², СКО=145

тыс. км²) выносимых льдов, на летние - остальные 8% (60 тыс. км², СКО=32 тыс. км²). Использование в расчётах ледообмена базы данных Polar Pathfinder показывает, что в среднем за год экспортируется 637 тыс. км² льдов с величиной СКО 167 тыс. км², при этом 93% (585 тыс. км², СКО=146 тыс. км²) выносятся в зимний и 7% (52 тыс. км², СКО=38 тыс. км²) в летний сезон. Полученные оценки заметно ниже, чем в последних опубликованных работах [напр., 5, 6], согласно которым в Гренландское море ежегодно выносятся порядка 900 тыс. км² льдов, что эквивалентно 10% от их площади во всём Арктическом бассейне. Следует иметь в виду, что такие различия в определении площади ледяного покрова (188-263 тыс. км², или 2-3% от площади льдов полярной области) могут играть незначительную роль для расчёта ледового баланса Северного Ледовитого океана, но оказаться существенными при определении ледовитости Гренландского моря.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-05-60109.

Список литературы

- 1) Гудкович З.М., Николаева А.Я. Дрейф льдов в Арктическом бассейне и его связь с ледовитостью советских арктических морей // Труды ААНИИ. 1963. Т. 104.
- 2) Dee D.P., Uppala S. M., Simmons A. J., Berrisford P., Poli P., Kobayashi S., ... & Bechtold P. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system // Quarterly Journal of the royal meteorological society. 2011. V.137. N 65. P. 553–597.
- 3) Fowler C., Emery W., Tschudi M. Polar Pathfinder Daily 25 km EASE-Grid Sea Ice Motion Vectors, Version 2, Daily and Mean Gridded Field // Tech. Rep., NASA DAAC at the National Snow and Ice Data Center, Boulder, CO, USA. 2013.
- 4) ЕСИМО. ААНИИ. Обзорные карты состояния ледяного покрова Северного Ледовитого Океана. [Электронный ресурс]. URL: http://www.aari.ru/odata/_d0015.php. (Дата обращения: 04.11.2019).
- 5) Kwok R., Cunningham G. F., Pang S. S. Fram Strait sea ice outflow // J. Geophys. Res. 2004. V. 109. C01009.
- 6) Smedsrud L.H., Halvorsen M.H., Stroeve J.C., Zhang R., Kloster K. Fram Strait sea ice export variability and September Arctic sea ice extent over the last 80 years // The Cryosphere. 2017. V. 11. P. 65–79.

ЛАБОРАТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ И РЕЛЬЕФА ДНА НА ВДОЛЬБЕРЕГОВОЕ ДАУНВЕЛЛИНГОВОЕ ТЕЧЕНИЕ

Елкин Д.Н., Зацепин А.Г.

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

dmelkin@mail.ru

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

На вращающейся вокруг своей оси Земле морские прибрежные течения, достигающие 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 прибрежного 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 [2]. Морское дно обычно имеет сложный рельеф с наличием хребтов и каньонов, гор и впадин, и не редко бывает шероховатым [3].

Цель работы - изучение динамики даунвеллингового прибрежного течения и связанного с ним ПЭС на наклонном дне при наличии и в отсутствии плотностной стратификации, а также изучение того, каким образом влияют рельеф и шероховатость дна на динамику распространения плотностных течений в склоновой зоне океана.

Эксперименты проводились в цилиндрическом бассейне, расположенном на вращающейся платформе. В бассейне установлен усеченный конус с нижним (большим) основанием на дне. В центре верхнего основания отверстие, соединенное шлангом с сосудом Мариотта. Над верхним основанием пустотелый цилиндр. На боковой поверхности цилиндра узкая щель, параллельна основаниям цилиндра и конуса - кольцевой источник, через который из сосуда Мариотта в бассейн подается пресная, подкрашенная тимоловым синим вода. Бассейн заполнялся водой (пресной или соленой) до уровня кольцевого источника. Для опытов с хребтом на внешней стороне к образующей конуса, перпендикулярно наклонной поверхности прикрепляется тонкая пластинка. Пластинка имеет треугольную форму. Малый угол пластинки меньше угла конической поверхности. Пластинка расположена так, чтобы меньший угол касался верхнего основания. Для шероховатости боковая поверхность конуса покрыта ковриком, вышитым биссером - мелкими шариками одинакового размера. Были использованы два разных коврика, которые отличались размерами шариков. Поступающая в бассейн вода образовывала вокруг источника антициклоническое осесимметричное баротропное прибрежное 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 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, с хребтом и без хребта, на гладком и шероховатом дне с разными параметрами шероховатости, с пресной и соленой водой в бассейне при различных значениях солености.

Если в бассейне пресная вода, жидкость поступающая из источника на поверхность конуса, сначала образовывала антициклоническое прибрежное течение, расширявшееся радиально. Потом 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 обусловлена 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. Прибрежное течение достигает стационарного состояния. Стрежень прибрежного течения (максимум азимутальной скорости) имеет место на внешней границе баротропного слоя подкрашенной воды. При наличии хребта, когда подкрашенная жидкость натекала на хребет, она замедлялась, и перед хребтом уровень жидкости повышался по сравнению с удаленными от хребта районами. Поле давления перед хребтом опускало воду прибрежного течения и связанного с ним ПЭС, а за хребтом - поднимало ее по склону. Вода в зоне хребта опускалась значительно глубже, чем вне зоны хребта. При наличии хребта: вне зоны хребта скорость опускания воды в ПЭС и скорость течения на поверхности меньше, ширина течения и толщина ПЭС - больше. В случае шероховатости: с ростом размера шероховатости скорость опускания воды в ПЭС и скорость течения на поверхности убывают, ширина течения убывает, толщина ПЭС - возрастает.

Если в бассейне вода небольшой солености, 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 вытянутые в азимутальном направлении валиковые структуры, и распадались на трехмерные вихревые структуры, в которых подкрашенная вода ПЭС медленно поднималась вверх до свободной поверхности жидкости. При наличии хребта в его окрестности наблюдалось утолщение ПЭС, это приводило к более раннему развитию конвекции. Шероховатость дна значительно интенсифицировала процесс конвекции по сравнению с гладким дном. Интенсификация конвекции происходила, главным образом, за счет увеличения толщины ПЭС, 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.

В некоторых опытах производились зондирования водной среды микродатчиком электропроводности. Датчик равномерно опускался, а затем поднимался и на каждой глубине показывал значение солености. В придонном слое соленость уменьшается квазилинейно по направлению ко дну. Используя зависимость, можно рассчитать толщину ПЭС. Значения толщин ПЭС, рассчитанных с помощью датчика, хорошо согласуются с ранее выполненными теоретическими расчетами, описанными в [3].

Если в бассейне вода большой солености, наклонный фронт течения не достигал поверхности конуса, и опускания более легкой воды в ПЭС, как на гладком, так и на шероховатом дне не происходило. Поступившая подкрашенная вода распространялась радиально. При наличии хребта прибрежное течение теряло симметричность: перед хребтом оно опускалось, а за ним поднималось.

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. Т. 22. № 4. С. 471-479.

ПОЛЫНИ В ПРИБРЕЖНЫХ ЛАГУНАХ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ

Железова Е.В.^{1,2}

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

²Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград

ironkate@inbox.ru

Ключевые слова: полынья, лагуны, ледовый покров, спутниковые снимки.

В продолжение изучения стационарной полыньи (устойчивое пространство открытой воды среди неподвижных льдов или на их границе), расположенной вблизи Балтийского пролива [1] и являющейся естественным индикатором взаимодействия незамерзающей Юго-Восточной Балтики и покрытого льдом Вислинского/Калининградского залива, возникла необходимость выяснить, насколько эта особенность характерна для лагун Мирового океана. По данным обзора морфометрических характеристик прибрежных лагун, как относительно мелководных объектов, частично или полностью отчлененных от открытой морской акватории аккумуляционным барьером [2, 3], на береговой линии Мирового океана их насчитывается более 500 [4].

Эффект стабильного присутствия полыней в прибрежных лагунах ранее не обсуждался. Большинство статей имеют отношение к гидрологии и динамике наносов подо льдом в лагунах [5] или посвящены крупным стационарным полыньям Арктики и Антарктики [6]. В литературе принято разделение полыней по преобладающему механизму образования: «управляемые термически» (под явным или под скрытым воздействием тепла) и «управляемые динамически» (ветром или течением, в зависимости от причины расхождения льда).

Ледовый режим прибрежных вод зависит от географической широты, глубины водоема, системы течений, особенностей атмосферной циркуляции и теплообмена с атмосферой, а также от конфигурации береговой линии. В данной работе рассматривались лагуны площадью более 10 км² с одним или более проливами, расположенные в северном полушарии, в поясе умеренного климата с холодной зимой и теплым летом, между 40° и 65° с.ш., а также - в зонах субарктического и арктического климата (всего около 300 лагун).

В данной работе рассмотрено 118 лагун Балтийского, Северного, Ирландского морей, моря Бофорта, залива Святого Лаврентия, лагун Исландии, а также лагун США, относящихся к бассейну Атлантического и Тихого океанов. Было просмотрено более 1000 спутниковых снимков, сделанных в период с 2010 по 2019 год. В 56 лагунах неоднократно фиксировалось наличие полыньи. Формы и площади полыней сильно различаются и зависят от конкретной лагуны и времени съемки. Полыньи, образовавшиеся в ледовом покрове лагуны при его таянии в результате перемещения ледовых полей под действием ветра, естественно, не рассматривались.

Под наши задачи наилучшим образом подошла служба обработки и анализа изображений в режиме реального времени "Land Viewer". Пользователю бесплатной версии программы доступны все имеющиеся в базе «превью» спутниковых снимков, есть возможность скачать до 10 снимков в день со средним разрешением в 40 м/пиксель. Например, для лагуны Батерст Харбоу (Bathurst Harbour) при предустановленных фильтрах "облачность не более 70%" и "источник снимков: пассивные сенсоры (день)" (а именно — Sentinel-2 L1C и Landsat 8 OLI + TIRS) в базе Land Viewer имелись спутниковые снимки с 31 декабря 2010 года по 17 февраля 2020 года: 137 снимков Sentinel-2 и 193 снимка Landsat 8. Автором просматривались все предварительные снимки (т.к. временные сроки замерзания бассейнов известны только примерно), имеющиеся в базе данных, т.е. для лагуны Батерст Харбоу (Bathurst Harbour) — это 330 снимков. На некоторых снимках полынья

диагностировалась визуально однозначно: темная поверхность (вода) на светлом фоне (лед), в спорных моментах использовались комбинации слоев. В подтверждение принципа стационарности полыньи для каждой лагуны отбирались снимки разных годов (при возможности).

Таким образом, количество снимков с полыньей для каждой лагуны было различным, а их выборка исходно случайной. Подтверждение наличия полыней в остальных лагунах, как и дополнение ряда снимков с полыньями в имеющейся выборке лагун, возможны в случае появления новых снимков и при дальнейших проверочных работах.

Основываясь на визуальном просмотре положения полыней, встречающихся в береговых лагунах, в данной работе было выделено три типа. Первый тип — это собственно входная (приустьевая, привходовая) полынья, приуроченная к проливу, соединяющему акваторию лагуны с соседней морской (океанской) акваторией, т.е. ко входу в лагуну со стороны моря (океана). В этом типе можно выделить два подтипа. Первый подтип — внутренняя полынья, приуроченная ко входу в лагуну и расположенная в акватории лагуны, как в Вислинском/Калининградском заливе Балтийского моря. Второй подтип — внешняя полынья, расположенная в морской акватории, как в дельте реки Фирт (Firth River Delta), вытекающей в покрытое льдом море Бофорта. Второй тип — это проточная полынья, которая образуется за счет активного потока речных вод, внедряющихся в покрытую льдом акваторию лагуны, например, лагуна залива Святого Лаврентия Бэ де Буктуш (Baie de Buctouche) и одноименная река. Третий, довольно экзотический тип с невыясненным механизмом возникновения, «полынья-окно» — это замкнутое образование в районе пролива, соединяющего лагуну с морской (океанской) акваторией, например, полынья в лагуне Арго Бэй (Argo Bay) моря Бофорта. Наиболее распространенным типом стационарной полыньи в лагунах, насколько можно судить по исследуемой выборке спутниковых снимков, является входная внутренняя полынья, а наименее распространенными — входная внешняя и «полынья-окно».

Исследование продолжается. Автор благодарна Б.В. Чубаренко за высказанные замечания и предложения.

Грант РФФИ № 19-35-90102 (Железова Е.В.), тема № 0149-2019-0013 государственного задания ИОРАН (Чубаренко Б.В.).

Список литературы

- 1) Zhelezova E., Krek E., Chubarenko B. Characteristics of the polynya in the Vistula Lagoon of the Baltic Sea by remote sensing data // *Int. J. Remote Sensing*. 2018. PP. 9453–9464.
- 2) Kjerfve B. Coastal Lagoons // *Coastal Lagoon Processes*. B. Kjerfve ed. Elsevier Science Publishers B.V. 1994. PP. 1–8.
- 3) Bird E. Coastal geomorphology: an introduction. Second edition // E. Bird. – John Willey & Sons Ltd., 2008.
- 4) Домнина А.Ю., Чубаренко Б.В. Морфометрические характеристики лагун мирового океана // *Известия КГТУ*. – Калининград: Издательство КГТУ. 2012. № 24. С. 133–140.
- 5) Chubarenko B., Chechko V., Kilesa A. et al. Hydrological and sedimentation conditions in a non-tidal lagoon during ice coverage – The example of Vistula Lagoon in the Baltic Sea // *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences*, 2018.
- 6) Smith W.O.Jr, Barbere D.G. Polynyas: Windows to the World // *Elsevier Oceanography Series* 74. Amsterdam: Elsevier. Eds, 2007.

ЛОЖНАЯ ДИАГНОСТИКА МОРСКОГО ЛЬДА В АРКТИКЕ СПУТНИКОВЫМИ МИКРОВОЛНОВЫМИ РАДИОМЕТРАМИ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЯХ

Животовская М.А.¹, Заболотских Е.В.¹, Шапрон Б.^{2,1}

¹Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург

²Французский научно-исследовательский институт эксплуатации моря, г. Брест, Франция

m.zhivotovskaia@rshu.ru

Ключевые слова: дистанционное зондирование, спутниковые продукты, Арктика, морской лёд, экстремальные погодные условия.

Спутниковые пассивные микроволновые измерения традиционно используются для определения сплочённости морского льда (SIC от англ. sea ice concentration). Эти данные являются одними из самых надежных для оценки изменений климата и уменьшения площади морского льда за последние десятилетия [1]. В настоящее время существуют несколько десятков методов восстановления SIC по данным спутниковых микроволновых радиометров. Некоторые из них основаны на радиометрических измерениях в диапазоне 18-37 ГГц. Эти алгоритмы используют значительный радиояркостный контраст между излучением морского льда и морской воды. Другая группа алгоритмов использует измерения на частотах около 90 ГГц. Они основаны на использовании поляризационной разницы (PD - от англ. polarization difference) между измерениями на вертикальной и горизонтальной поляризации. Значения PD, как правило, намного меньше для измерений надо льдом, чем для морской поверхности, что делает возможным восстановление SIC со сравнительно высоким пространственным разрешением, характерным для таких измерений. Общие ошибки восстановления SIC из спутниковых пассивных микроволновых данных связаны либо с приводным ветром, либо с параметрами влагосодержания атмосферы (влагозапас атмосферы и водозапас облаков, осадки).

Работа посвящена исследованию закономерностей появления областей ложно идентифицированного морского льда (SSIC - от англ. spurious sea ice concentration) в спутниковых продуктах по сплочённости, основанных на измерениях микроволнового радиометра Advanced Microwave Scanning Radiometer 2 (AMSR2) в экстремальных погодных условиях, связанных с развитием полярных циклонов (ПЦ) и внетропических циклонов (ВТЦ). Для проведения исследования была создана база ПЦ и ВТЦ в Арктике за период 2015 - 2018 гг. Для этой базы были собраны оптические и радиолокационные изображения поверхности океана, а также карты сплочённости морского льда Норвежского метеорологического института (НМИ) и Арктического и антарктического научноисследовательского института (ААНИИ). Анализировались два спутниковых продукта по сплочённости морского льда: среднесуточные значения SIC, рассчитанные с использованием алгоритма ARTIST Sea Ice (ASI) [2, 3], предоставляемые университетом Бремена, и значения SIC исходного временного разрешения, рассчитанные с помощью алгоритма Bootstrap [4], предоставляемые Японским агентством аэрокосмических исследований (JAXA от англ. Japan Aerospace Exploration Agency). Сопоставление полей SIC и карт НМИ и ААНИИ, а также, оптических и радиолокационных снимков позволило выявить области SSIC, для которых по данным AMSR2 были рассчитаны значения влагозапаса атмосферы, водозапаса облаков и скорости приводного ветра. Влияние данных параметров на появление и характеристики областей SSIC было исследовано для обоих продуктов по сплочённости морского льда.

Было установлено, что причиной SSIC в продукте университета Бремена являются, в основном, параметры влагосодержания атмосферы, тогда как в продукте JAXA - сильные ветры. Наибольшее количество случаев ложной идентификации морского льда наблюдалось в районах наиболее частых ПЦ и ВТЦ. Были оценены площади ложно идентифицированного льда для обоих про-

дуктов, которые оказались практически одинаковыми для зимних месяцев, но разными в летние месяцы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 19-17-00236.

Список литературы

- 1) Comiso J.C., Meier W.N., Gersten R. Variability and trends in the Arctic Sea ice cover: Results from different techniques // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2017. Vol. 122. №. 8. P. 6883–6900.
- 2) Kaleschke L., Lupkes C., Vihma T., Haarpaintner J., Bochert A., Hartmann J., Heygster G. SSM/I sea ice remote sensing for mesoscale ocean-atmosphere interaction analysis // *Canadian journal of remote sensing*. 2001. Vol. 27. №. 5. P. 526–537.
- 3) Spreen G., Kaleschke L., Heygster G. Sea ice remote sensing using AMSR-E 89-GHz channels // *Journal of Geophysical Research*. 2008. Vol. 113. P.1–14.
- 4) Comiso J.C. Sea ice effective microwave emissivities from satellite passive microwave and infrared observations // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 1983. Vol. 88. P. 7686–7704.

ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ШТОРМОВЫХ НАГОНОВ В ФИНСКОМ ЗАЛИВЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛЕЙ INMOM И WRF

Захарова Е.В.¹, Фомин В.В.^{1,5}, Дианский Н.А.^{1,4,5}, Ладохина Е.М.², Тихонова Н.А.^{3,6},
Захарчук Е.А.^{3,6}

¹Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, г. Москва

²Северо-Западное УГМС, г. Санкт-Петербург

³Санкт-Петербургское отделение «Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова»,
г. Санкт-Петербург

⁴Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

⁵Институт вычислительной математики РАН, г. Москва

⁶Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

katezakharova33@gmail.com

Ключевые слова: численное моделирование, атмосферная циркуляция, морская циркуляция, штормовой нагон, колебания уровня моря, дамба.

Акватория Финского залива подвержена значительным сгонно-нагонным колебаниям, которые происходят из-за прохождения интенсивных атмосферных циклонов. Они могут приводить к значительному повышению уровня и наводнениям в прибрежной зоне Санкт-Петербурга [1]. Для защиты Санкт-Петербурга от наводнений был построен комплекс защитных сооружений (КЗС), включающий в себя 11 защитных дамб с 2 судопропускными сооружениями и 6 водопропускными сооружениями. В периоды значительного повышения уровня моря и возникновения угрозы наводнения защитная дамба закрывается, прекращается водообмен с открытой частью Финского залива и вероятность наводнения уменьшается. Поэтому задача точного воспроизведения и прогноза морской циркуляции и сгонно-нагонных колебаний на акватории, в частности, Финского залива имеет критически важное прикладное значение. Одним из способов решения подобной задачи является применение численных моделей атмосферной и морской циркуляции для прогнозирования колебаний уровня моря и своевременного предупреждения о возможности наводнения в восточной части Финского залива.

Для решения данной задачи коллективом авторов разрабатывается комплекс моделей, включающий региональная негидростатическая атмосферная модель WRF (Weather Research and Forecasting Model) [2] и модель морской циркуляции INMOM (Institute of Numerical Mathematics Ocean Model) [3], который планируется ввести в опытную эксплуатацию в Гидрометцентре РФ. В настоящее время на акватории Балтийского моря действуют несколько программных комплексов, осуществляющих прогноз уровня моря [4,5]. Разрабатываемый комплекс позволяет прогнозировать циркуляцию и состояние морских вод с пространственным разрешением в 100 - 150 м в районе Санкт-Петербурга, а также в отличие от существующих, реализован с более полным описанием морской гидротермодинамики, при которой в модели прогностическими переменными являются температура, соленость, уровень моря, скорости течений, параметры ледового покрова.

Модель WRF для целей работы реализована для акватории Балтийского моря с равномерным шагом по пространству, равным 10 км. Модель INMOM реализована с неравномерным по пространству шагом путем поворота сферической системы координат, северный полюс модельной системы координат помещается в Санкт-Петербурге. Общее количество расчетных узлов модели 555x1315 по модельным долготе и широте. Подход позволяет рассчитывать циркуляцию на всей акватории Балтийского моря с приемлемым пространственным разрешением и уйти от необходимости использования вложенных сеток и задания граничных условий на «жидкой границе». В модели также был реализован механизм открытия/закрытия ворот дамбы.

В рамках исследования проведена верификация модели WRF по данным 20 станций наземного наблюдения, расположенных на побережье Финского залива. Рассчитывались коэффициенты кор-

реляции и значения среднеквадратического отклонения для компонент скорости ветра и давления на уровне моря по данным измерений на метеостанциях и результатам расчетов по модели WRF. Результаты верификации показали, что модель WRF воспроизводит атмосферные параметры с высокой степенью точности и может быть использована для расчета атмосферного воздействия в модели INMOM.

В рамках работы было рассмотрено два шторма: с 15 по 16 сентября 2019 года (Ш1) и с 1 по 2 октября 2019 года (Ш2). Был проведен анализ синоптических ситуаций, приводящих к значительному повышению уровня моря в восточной части Финского залива. Следует отметить, что для обоих штормов были выпущены предупреждения ФГБУ «Северо-Западное УГМС» об угрозе наводнения и дамба в период наиболее опасного повышения уровня закрывалась. Поэтому по модели INMOM были проведены два параллельных расчета: без закрытия дамбы и с ее закрытием в соответствии с выпускаемыми предупреждениями.

Обе штормовые ситуации Ш1 и Ш2 вызваны прохождением циклонов. Шторм Ш1 сопровождался господством в приземном слое западного ветра над акваторией Финского залива после прохождения теплого фронта в дневные часы 15 сентября 2019 г. Во время шторма Ш2 утром 1 октября 2019 г. над территорией Санкт-Петербурга прошел холодный фронт, после чего в приземном слое наблюдалась смена направления ветра с южного на западное-юго-западное, наблюдалось значительное усиление скорости ветра над акваторией Финского залива.

По результатам численных расчетов по модели INMOM было проведено сравнение значений модельного уровня моря с наблюдаемыми на станциях «Горный институт» и «Крондштадт». Результаты сравнения показали, что по модели с учетом открытия/закрытия дамбы, получены результаты значительно более близкие к наблюдаемым, чем по модели без учета закрытия дамбы. Этот факт говорит о том, что закрытие дамбы в периоды Ш1 и Ш2 позволило остановить подъем уровня и предотвратить угрозу возникновения наводнения в районе Санкт-Петербурга. Анализ колебаний уровня моря по результатам расчетов с учетом открытия/закрытия дамбы и без него показывает, что значительная разница в колебаниях уровня моря на станциях «Горный институт» и «Крондштадт» наблюдается только в период закрытия дамбы. Следует отметить, что если для шторма Ш2 модельные результаты хода уровня моря с учетом открытия/закрытия дамбы соответствуют наблюдаемым, то для шторма Ш1 после открытия дамбы возникает вторичный подъем уровня моря по модельным расчетам, чего не наблюдается по данным измерений. Этот факт требует дополнительного анализа и изучения.

Список литературы

- 1) Аверкиев А.С. Особенности штормовых нагонов в финском заливе, формируемых экстремальными циклонами, во время работы комплекса защитных сооружений // *Фундам. прикл. гидрофиз.* 2014. Т. 7. № 4. С.29-39.
- 2) Powers J.G., Klemp J.B. et al. The Weather Research and Forecasting Model: Overview, System Efforts, and Future Directions // *BAMS.* 2017. Vol.98. No. 8. P. 1717–1737.
- 3) Дианский Н.А. Моделирование циркуляции океана и исследование его реакции на короткопериодные и долгопериодные атмосферные воздействия. М.:Физматлит, 2013. 272 с.
- 4) Попов С.К., Лобов А.Л. Гидродинамическое моделирование наводнений в Санкт-Петербурге с учетом работающей дамбы // *Метеорология и гидрология.* 2017. № 4. С.80-89.
- 5) Клеванный К.А., Колесов А.М., Мостаманди М.-С.В. Прогноз наводнений в Санкт-Петербурге и восточной части Финского залива в условиях работы комплекса защитных сооружений // *Метеорология и гидрология.* 2015. № 2. С.41-52.

СЕВЕРНАЯ АТЛАНТИКА И ОСОБЕННОСТИ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ

Зотов Л.В., Устинов А.А.

Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", г. Москва

wolftempus@gmail.com

Ключевые слова: вращение Земли, многолетнее атлантическое колебание, изменения климата.

Особенности вращения Земли, такие как вариации длительности суток и отклонения в движении полюса наблюдаются уже более века. Анализ временных рядов, предоставляемых международной службой вращения Земли показывает наличие квази- 20-, 40- и 60-летних колебаний в них. Являясь откликом на процессы в океане, атмосфере и недрах Земли, будучи следствием обмена угловым моментом между этими оболочками, вариации вращения Земли несут в себе важную геофизическую информацию.

Анализ существенной составляющей движения полюса, - 433-суточной чандлеровской моды [1], - показал, что ее возбуждение в значительной степени поступает из региона Северной Атлантики. Изменения амплитуды Чандлеровского колебания могут быть связаны с происходящими там процессами.

Выполненный нами анализ [2] глобального изменения температуры на Земле (ряды HadCRUT) и уровня моря (ряды CSIRO и PSMSL) показал, что на фоне трендов глобального потепления имеются также колебания квази- 60-, 20- и 10-летних периодов. Первый из них связан с многолетним атлантическим колебанием (Atlantic multidecadal oscillation, AMO). Учитывая важнейшую роль океана как фактора изменений климата Земли, мы ставим вопрос о его роли как посредника между ними и вариациями вращения Земли.

Хорошо известно, что скорость вращения Земли уменьшается под действием диссипации энергии приливов в литосфере и океане. Однако в рядах продолжительности суток (length of day, LOD) наблюдаются также многолетние колебания, хорошо согласующиеся с AMO, некоторыми тенденциями климата Антарктиды и вариациями напряженности магнитного диполя Земли. В докладе мы обсудим возможные причины такого сходства.

Доклад сделан при поддержке НИУ ВШЭ, работа выполнялась при поддержке НУГ "Группа оперативного геомониторинга" N 20-04-033 и Китайского гранта по современной геодезии и геодинатике NSFC N. B17033.

Список литературы

- 1) Зотов Л.В. Исследование взаимосвязей между вращением Земли и геофизическими процессами. Докторская диссертация, М. МГУ. 2019. Глава 8, Океан как фактор климата и его угловой момент.
- 2) Zotov L., Bizouard C., Shum C.K. A possible interrelation between Earth rotation and climatic variability at decadal time-scale // Geodesy and Geodynamics. 2016. V. 7. № 3. P. 216-222.

ОЦЕНКА ПОВТОРЯЕМОСТИ КОЛИЧЕСТВА ОБЩЕЙ ОБЛАЧНОСТИ В БЕЛОМ И БАРЕНЦЕВОМ МОРЯХ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Зотова Е.В.^{1,2}, Рюмина Т.Н.³, Иванов Б.В.^{1,2}

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

² Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург

³ ФГБУ «Северное УГМС», г. Архангельск

ekaterina.zot.zotova@list.ru

Ключевые слова: Белое море, Баренцево море, облачность, Трансарктика, Профессор Молчанов.

Третий этап экспедиции «ТРАНСАРКТИКА-2019» проходил с 16 июля по 2 августа 2019 г. на научно-исследовательском судне «Профессор Молчанов». В рамках работы экспедиции, метеорологическая группа, представленная специалистами ФГБУ «Северное УГМС» и Арктического и Антарктического научно-исследовательского института (АНИИ) занималась сбором, обработкой и первичным анализом основных метеорологических характеристик. Наблюдения производились по всему маршруту в Белом и южной части Баренцева моря, а также во время высадок на берег для производства комплекса наземных наблюдений.

В представленной работе внимание сконцентрировано на облачности, которая является одним из основных факторов, определяющих перенос коротковолновой и длинноволновой радиации в системе атмосфера - подстилающая поверхность. Ее влияние на радиационные потоки определяется количеством, высотой, мощностью и водностью облаков [1,2]. Таким образом целью работы было выявление общих закономерностей и региональных особенностей характеристик облачности в исследуемых районах Белого и Баренцева морей. Полученные результаты и сделанные заключения можно распространить только на летний период года, а именно на июль-август.

Предшествующие исследования особенностей распределения характеристик облачности по градациям [3,4] выявили сезонную изменчивость в распределении количества общей облачности. В летний период отмечается значительная повторяемость пасмурного неба (более 60% от общего числа случаев) и заметное снижение повторяемости случаев ясного неба (менее 10% от общего числа случаев).

Данные о балле общей облачности фиксировались наблюдателем визуально во время океанографических станций, судовых сроков (UTC 03:00, 09:00, 15:00, 21:00) и актинометрических сроков (UTC 00:30, 02:30, 04:30, 06:30, 08:30, 10:30, 12:30, 14:30, 16:30, 18:30, 20:30, 22:30).

Полученные данные были разбиты на градации: 0-1 балл, 2-3 балла, 4-6 баллов, 7-8 баллов, 9-10 баллов и была построена функция распределения повторяемости различных баллов облачности. Данный метод исследования был выбран на основе предыдущих исследований повторяемости количества облачности в высоких широтах [3].

Для данных, полученных во время III этапа экспедиции «Трансарктика-2019», проходившего с 16 июля по 2 августа 2019 года, был проведен анализ повторяемости количества общей облачности, полученного за период экспедиции, по градациям: 0-1 балл, 2-3 балла, 4-6 баллов, 7-8 баллов, 9-10 баллов.

Было выявлено наибольшее число случаев с количеством общей облачности 9-10 баллов (50 % от общего числа случаев) и наименьшее количество случаев безоблачного неба (6 % от общего числа случаев).

Полученные результаты совпали с ранее выявленными закономерностями распределения повторяемости количества общей облачности для летнего периода [3,4]. Следует отметить, что закономерность распределения повторяемости количества общей облачности соблюдается даже при короткой серии наблюдений. Полученные результаты можно рассматривать как еще одно подтверждение проявления изменений климата в Арктике, поскольку связь между увеличением по-

вторяемости пасмурного неба, изменением (увеличением) длинноволнового излучения атмосферы и увеличением температуры приземного слоя воздуха установлена [5,6].

Список литературы

- 1) Васильева Д.А., Священников П.Н. Межгодовая изменчивость облачности и длинноволновой атмосферной радиации в Центральном Арктическом Бассейне // Вестник СПбГУ. 2003. Сер. Географии и геологии. Вып.4, № 31. СС. 143-148.
- 2) Curry J.A. and E.E. Elbert. Annual cycle of radiation fluxes over the Arctic Ocean: sensitivity to cloud optical properties // J. of Climate. 1992. Vol. 5 (N 11). PP. 1267–1280.
- 3) Священников П.Н., Иванов Б.В., Бочаров П.В., Журавский Д.М., Тимачев В.Ф., Семенов А.В., Солдатова Т.А., Анциферова А.Р. Исследование радиационных климатических факторов и метеорологического режима архипелага Шпицберген. // Российские исследования по программе МПГ 2007/08, Том III «Метеорологические и геофизические исследования» (под ред. Алексеева Г.В. и др.), 2011.
- 4) Makshtas A.P., Andreas E.L., Svyashchennikov P.N. and V.F. Timachev. Accounting for clouds in sea ice models // J. Atmosph. Res. 1999. Vol. 52. PP. 77–113.
- 5) B.A. Wielicki, R. D. Cess, M. D. King, D. A. Randall, and E. F. Harrison. Mission to Planet Earth: role of clouds and radiation in climate // Bulletin of American Meteorological Society, 1995. vol. 76, no. 11, pp. 2125–2154.
- 6) V. Ramanathan, R. D. Cess, E. F. Harrison et al. Cloud- radiative forcing and climate: results from the earth radiation budget experiment // Science, 1989. vol. 243, no. 4887, pp. 57–63.

НАБЛЮДЕНИЕ ПОЛЯ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В ЧУКОТСКОМ МОРЕ ПО ДАННЫМ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Зубкова Е.В.¹, Козлов И.Е.^{1,2}

¹Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург

²Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

shigatsii_akima@mail.ru

Ключевые слова: короткопериодные внутренние волны, спутниковые радиолокационные изображения, Чукотское море, Северный Ледовитый океан.

Короткопериодные внутренние волны (КВВ) оказывают влияние на изменчивость динамической структуры океана и теплообмен между атмосферой и океаном, путем вертикального перемешивания, горизонтального и вертикального переноса импульса и энергии в толще океана [1]. Известно что в Арктике КВВ могут оказывать воздействие на морской лед [2] и формирование заприпайных полыней [3], являющихся ключевыми районами взаимодействия океана и атмосферы в Арктике. За счет переноса биогенных веществ из глубинных слоев в фотический слой КВВ могут оказывать влияние на развитие планктона и морские экосистемы [4].

Все возрастающее количество исследований ВВ на акватории Северного Ледовитого океана (СЛО) главным образом сосредоточено в его евразийском секторе, оставляя практически без внимания его восточный сектор, в частности, Чукотское море.

С точки зрения исследования ВВ акватория Чукотского моря является малоизученной. В работах [5, 6] на основе контактных измерений в летний период исследованы характеристики поля квази-инерционных ВВ ветрового происхождения и их влияние на турбулентное перемешивание в верхнем слое моря. Авторы работы [6] потенциально рассматривали приливной механизм в качестве одного из возможных механизмов генерации ВВ в районе исследований, но в ходе анализа измерений пришли к выводу, что наблюдаемые ВВ были вызваны штормовым ветром. Таким образом, исследований короткопериодных внутренних волн (КВВ), распространяющихся в виде цугов уединенных волн и часто наблюдаемых из космоса, в данном районе не проводилось.

Для анализа характеристик КВВ в Чукотском море использовались изображения Envisat ASAR за период с июня по октябрь 2007 и 2011. Анализ 365 радиолокационных изображений (РЛИ) позволил выделить 112 пакетов КВВ. КВВ наблюдались в виде пакетов уединенных волн при средней ширине пакета около 1,3 км. Средняя длина волны в пакетах КВВ составила 0,6 км, максимальное значение - 1,2 км. Среднее наблюдаемое значение длины фронта и площади пакетов КВВ составили 20 км и 30 км² соответственно, но для самых крупных пакетов значения этих параметров достигают 60 км и 162 км². Большинство наблюдаемых на акватории пакетов КВВ (~80%) распространяется перпендикулярно изобатам, на внутреннем шельфе волны распространяются от берега, на внешнем шельфе - преимущественно в сторону берега.

Общее число случаев регистрации КВВ оказалось значительно меньше по сравнению с другими арктическими морями, что, по-видимому, объясняется более слабыми приливными течениями и достаточно однородным рельефом дна Чукотского моря. Основная часть КВВ зарегистрирована в июле и августе (70%). Практически все пакеты КВВ наблюдались в областях свала глубин. Основные районы регулярного наблюдения КВВ расположены на шельфе Чукотского п-ова и вблизи м. Хоп.

Несмотря на относительно небольшое число зарегистрированных проявлений КВВ, они достаточно широко распространены на акватории Чукотского моря. Анализ возможной изменчивости районов наблюдения ВВ и интенсивности их генерации в Чукотском море на фоне общих изменений гидрологического и ледового режима СЛО представляется перспективной задачей будущих

исследований. Полученные результаты могут быть полезны для дальнейшего изучения влияния КВВ на перемешивание, перенос тепла и формирование ледяного покрова.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ №18-35-20078 мол_а_вед (обработка данных и определение характеристик внутренних волн), а также гранта РНФ №17-77-30019 (анализ пространственно-временной изменчивости внутренних волн).

Список литературы

- 1) D'Asaro, E.A., Morison J. H. Internal waves and mixing in the Arctic Ocean [Текст] / E.A. D'Asaro, J. H. Morison. // Deep Sea Research Part A. – Oceanographic Research Papers. – 1992. – № 2. – PART 1. – Vol. 39. – PP.459 – 484.
- 2) Morozov, E.G. Sea ice evolution and internal wave generation due to a tidal jet in a frozen sea / E. G. Morozov // Applied Ocean Research. – 2019. – Vol. 87. – P. 179–191. DOI: 10.1016/j.apor.2019.03.024.
- 3) Морозов, Е.Г. Внутренние волны и образование полыней в море Лаптевых [Текст] / Е. Г. Морозов, С. В. Писарев // Доклады РАН. – 2004. – Т. 398. – № 2. – С. 255–258. 4. Навроцкий, В.В. Внутренние волны и их биологические эффекты в шельфовой зоне моря [Текст] / В.В. Навроцкий, В.Ю. Ляпидевский, Е.П. Павлова // Вестник ДВО РАН. – 2012. – Т.6. – С. 22–31.
- 4) Навроцкий, В.В. Внутренние волны и их биологические эффекты в шельфовой зоне моря [Текст] / В.В. Навроцкий, В.Ю. Ляпидевский, Е.П. Павлова // Вестник ДВО РАН. – 2012. – Т.6. – С. 22–31.
- 5) Rainville, L. Observations of internal wave generation in the seasonally ice-free Arctic [Текст] / L. Rainville, R. A. Woodgate // Geophysical Research Letters. – 2009. – Vol. 36. – № 23.
- 6) Kawaguchi, Y. Fixed-point observation of mixed layer evolution in the seasonally ice-free Chukchi Sea: Turbulent mixing due to gale winds and internal gravity waves [Текст] / Y. Kawaguchi, S. Nishino, J. Inoue // Journal of Physical Oceanography. – 2015. – Vol. 45. – №. 3. – PP. 836–853.

ВЛИЯНИЕ ТАЯНИЯ ЛЬДА НА СТРУКТУРУ ВОД ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ В БАССЕЙНЕ ПАУЭЛЛА, МОРЕ УЭДДЕЛЛА, В ЛЕТНИЙ СЕЗОН 2020 Г.

Ижицкий А.С.¹, Воробьева О.В.², Романова Н.Д.¹, Фрей Д.И.¹

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

²Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, г. Москва

izh@ocean.ru

Ключевые слова: физика океана, талые воды, стратификация, поверхностный слой, море Уэдделла, Антарктика.

В районе Антарктического полуострова наблюдаются наиболее выраженные темпы глобального потепления на земном шаре - средняя температура атмосферы здесь увеличилась на 2°С за период с 1950 г. [1]. Наряду с ростом средних температур воздуха и поверхности океана дополнительным источником тепла в регионе являются интрузии теплых средне-глубинных вод Антарктического циркумполярного течения на континентальный шельф. В результате, значительное большинство ледников Антарктического полуострова отступают, а наличие многолетнего морского льда больше не является характерной чертой районов вблизи его северной части [2]. В связи с отмеченными тенденциями, интенсивность влияния таяния льда на прилегающие акватории, по-видимому, будет нарастать и в дальнейшей перспективе.

В силу географических особенностей исследуемого района, таких как отсутствие крупных источников речного стока, поступление талых вод является основным фактором распреснения поверхностного слоя моря. В результате распространения талых вод в поверхностном слое формируется вызванный понижением солености плотностной градиент, определяющий условия стратификации водной толщи. Наличие стратификации, создающей после турбулентного состояния устойчивый поверхностный слой, позволяет поддерживать фитопланктон в благоприятном для него световом режиме. Исследования, проведенные ранее в бассейне Пауэлла (например, [3]), выявили, что устойчивость водной толщи, связанная с влиянием талых вод, в сочетании с глубиной перемешанного слоя, представляются наиболее важными факторами, влияющими на состав фитопланктонного сообщества и его пространственное распределение в рассматриваемом районе. Поскольку фитопланктон лежит в основе океанической пищевой цепочки и играет ключевую роль в устойчивости морских экосистем в районе Антарктического полуострова, изменения в численности и составе групп фитопланктона могут оказывать непосредственное влияние на всю региональную экосистему. В связи с этим, исследование гидрофизических особенностей среды развития фитопланктона имеет важнейшее значение для оценки потенциальных изменений в экосистеме как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективах.

В основу представленного исследования легли данные, полученные в ходе 2-го этапа 79-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в акватории бассейна Пауэлла (северная часть моря Уэдделла) в январе-феврале 2020 г. Значения температуры, солености и флуоресценции хлорофилла в морской воде были определены посредством вертикального STD-зондирования от поверхности до дна с использованием зонда SBE911plus (США). В работе рассматриваются данные с 40 станций, распределенных по акватории бассейна Пауэлла и в проливах Брансфилд и Антарктик Саунд. В ходе проведения работ станциями были охвачены как глубоководная часть бассейна с глубинами более 3000 м, так и шельфовые районы с глубинами не более 200 м. Данные STD-зондирования были подвергнуты стандартной процедуре обработки с использованием пакета программ SBEDataProcessing и осреднены по интервалам с шириной окна в 1 дбар. По методике, приведенной в работе [4], на основе обработанных данных STD-зондирования был рассчитан процент содержания талых вод в поверхностном слое. Кроме того, для восстановления динамики положения кромки льда в период измерений были использованы спутниковые данные о сплоченности ледяного покрова.

В период проведения работ максимальное содержание талых вод в поверхностном слое наблюдалось в западных районах бассейна Пауэлла, а также в шельфовой зоне Южных Оркнейских островов. Кроме того, в этом отношении отдельно выделялся участок на юге центральной части бассейна, располагавшийся наиболее близко к границе ледового покрова. На станциях, расположенных в этих районах, было отмечено присутствие более резких градиентов плотности в приповерхностном слое (0-100 м), вызванных снижением значений солености у поверхности (менее 34 епс). Напротив, минимальное воздействие талых вод наблюдалось в районе пролива Брансфилд и в северной части бассейна Пауэлла, а также, что интересно, в районе Антарктического пролива. Для всех станций полигона в поверхностном слое были рассчитаны значения частоты плавучести и устойчивости водной толщи. Полученные гидрофизические характеристики условий среды будут сопоставлены с натурными данными по распределению хлорофилла "а" и первичной продукции.

Понимание физической регуляции биологических особенностей сообществ фитопланктона в районе северной части Антарктического полуострова имеет решающее значение при исследовании региональной экосистемы и биогеохимических процессов. Кроме того, изучение динамики гидрофизических условий среды развития фитопланктона крайне важно для понимания функционирования морских пищевых цепочек, особенно в регионах, наиболее чувствительных к глобальным изменениям климата, таких как районы северной части Антарктического полуострова.

Работа выполнена в рамках выполнения госзадания, тема № 0128-2019-0008.

Список литературы

- 1) Ducklow H.W. et al. Marine pelagic ecosystems: the west Antarctic Peninsula // *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2007. Vol. 362. No. 1477. P. 67-94.
- 2) Cook A.J. et al. Retreating glacier fronts on the Antarctic Peninsula over the past half-century // *Science*. 2008. Vol. 308. No. 5721. P. 541-544
- 3) Mendes C.R.B. et al. Impact of sea ice on the structure of phytoplankton communities in the northern Antarctic Peninsula // *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. 2018. No. 149. P. 111-123.
- 4) 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.

ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ВЗМУЧИВАНИЮ ЧАСТИЦ МИКРОПЛАСТИКА ОДНОНАПРАВЛЕННЫМ ПОТОКОМ ВОДЫ В ОТКРЫТОМ КАНАЛЕ

Исаченко И.А., Чубаренко И.П.

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

isatchenko@gmail.com

Ключевые слова: микропластик, придонный пограничный слой, лабораторный эксперимент

Загрязнение вод Мирового океана микропластиком (МП) – фрагментами искусственных полимеров размером до 5 мм – вызывает всё большее беспокойство в связи с его потенциально негативным воздействием на морские организмы. Частицы МП обнаруживаются повсеместно, в том числе в донных осадках Балтийского моря [1]. Выявление путей распространения и мест накопления МП невозможно без корректной параметризации его переноса в численных моделях, однако о движении частиц МП в придонном слое и на дне практически ничего не известно. Целью данной работы является получение экспериментальных данных о движении частиц МП на дне, покрытом различным естественным материалом. Основное внимание уделено изучению условий начала движения частиц МП.

Эксперименты проводились в проточном гидродинамическом лотке длиной 10 м и поперечным сечением 0.3 x 0.3 м. Циркуляция воды обеспечивалась электрическим насосом с регулируемыми оборотами. Измерения поля скорости течения вблизи дна осуществлялось при помощи системы оптической анемометрии по изображениям частиц (PIV). В качестве покрытия дна использовались естественные морские донные осадки различной крупности: песок (диаметр частицы $d_s = 0.1 \div 0.15 \cdot 10^{-2}$ м), гранулы ($d_s = 0.3 \div 0.4 \cdot 10^{-2}$ м), галька ($d_s = 1 \div 2 \cdot 10^{-2}$ м). В экспериментах участвовали наборы частиц МП четырех характерных форм: трехмерные гранулы (3d), плоские хлопья (2d), жесткие лески и гибкие нити (1d). Материалы частиц: нейлон, полиэстер, поликапролактон, PS, PET, янтарь. Производилась видеорегистрация движения частиц МП.

Основными параметрами, определяющими начало движения частицы являются: τ – придонное сдвиговое напряжение, d_p и d_s – характерные номинальные диаметры частиц МП и донного осадка (диаметр сферы эквивалентного объёма), ρ_p и ρ – плотности частиц МП и воды, ν – кинематическая вязкость воды, $\gamma' = (\rho_p - \rho)g$ – удельный вес погруженной в воду частицы. Из них можно составить 4 безразмерных величины, в частности, хорошо известные числа Шильдса $\Theta = \frac{\tau}{\gamma'd}$ и Рейнольдса $Re = \frac{u_*d}{\nu}$, где $u_* = \sqrt{\tau/\rho}$, а двумя другими могут быть ρ_p/ρ и d_p/d_s .

Классический подход к описанию начала движения частиц донного материала основан на введении критического значения параметра Шильдса Θ_{cr} , при превышении которого частицы приходят в движение. Здесь имеется в виду однородное дно, к примеру, песчаное, на котором приходят в движение собственно частицы песка; тогда, в частности, в приведенных выше формулах $d_p = d_s$. На основе экспериментальных данных Шильдсом была построена зависимость $\Theta_{cr}(Re)$ [2]. Существуют также диаграммы в переменных $\Theta_{cr}(D_*)$, где $D_* = [(\rho_s/\rho - 1)g/\nu^2]^{1/3}d_s$, и другие формы представления условий начала движения [3]. Влиянием плотности (в форме ρ_s/ρ) обычно пренебрегают по причине незначительности её влияния на Θ_{cr} [4]. Форма частиц донного осадка незначительно влияет на Θ_{cr} , если в качестве меры размера используется эквивалентный сферический диаметр, но известно, что для плоских частиц характерны в 1.5 – 2 раза большие значения Θ_{cr} [3]. Несмотря на неоднозначность определения критерия начала движения и связанную с этим критику данного подхода, диаграмма Шильдса полезна при необходимости оценить возможность переноса частиц.

Таким образом, даже с теоретической точки зрения очевидны отличия процесса взмучивания частиц МП от взмучивания частиц естественного донного осадка: во-первых, необходимо рассматривать поведение частиц МП, параметры которых существенно отличаются от частиц, покрывающих дно; во-вторых, сами частицы МП отличаются значительным разнообразием плотностей,

форм, скоростей оседания [5, 6]. Проведенные эксперименты поддерживают это предположение, показывая качественно различный характер движения частиц МП в зависимости от формы и размера по отношению к размеру частиц донного материала. Кроме этого, эксперименты указывают также на важность статистического подхода к описанию процесса взмучивания МП, поскольку каждая частица МП может занимать различные положения относительно окружающих её частиц донного осадка, а это влияет на баланс сил, приложенных к ней со стороны потока. Например, двумерные хлопья на галечном дне могут оказаться как на верхушке отдельного камня, под непосредственным воздействием течения, так и в щели между камнями или зоне гидродинамической тени за ними.

Работа проводится при финансовой поддержке РФФ, грант 19-17-00041.

Список литературы

- 1) Esiukova E., Zobkov M., Chubarenko I. Data on microplastic contamination of the Baltic Sea bottom sediment samples in 2015–2016 // Data in Brief, 2020.V. 28. 104887. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104887>
- 2) Shields A. Application of similarity principles and turbulence research to bed-load movement. – 1936. / W. P. Ott, J. C. van Uchelen, trans. // Hydrodynamics Laboratory. Publ.No. 167, U.S. Dept. of Agr., Soil Conservation Service Cooperative Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, California.
- 3) Van Rijn L. C. et al. Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas. – Amsterdam : Aqua publications, 1993. P. 690.
- 4) Ward B. D. Relative density effects on incipient bed movement // Water Resources Research. 1969. V. 5. N. 5. P. 1090-1096.
- 5) Khatmullina L., Chubarenko I. Transport of marine microplastic particles: why is it so difficult to predict? // Anthropocene Coasts. 2019. V. 2(1):P. 293-305, <https://doi.org/10.1139/anc-2018-0024>
- 6) Isachenko I.A., Khatmullina L.I., Chubarenko I.P., Stepanova N.B. Settling velocity of marine microplastic particles: laboratory tests // Geophysical research abstracts. 2016. V 18.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЖАРОВ ПРИЧЕРНОМОРСКИХ ТЕРРИТОРИЙ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРЫ НАД ЧЕРНЫМ МОРЕМ ЗА ПЕРИОД 2018-2019 Г. ОПТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Калинская Д.В., Папкина А.С.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

kalinskaya_d_v@mail.ru

Ключевые слова: аэрозоль, EOSDIS, MODIS, VIIRS, SPM, AERONET, CALIPSO, Черное море.

Аэрозоль горящей биомассы, образующийся от пожаров играет важную роль в формировании локальной, региональной, а также глобальной изменчивости свойств атмосферы. [2]

В работе проанализированы данные, предоставляемые системой FIRMS (Fire Information for Resource Management System), которая является частью EOS (Earth Observing System). Данная система пожарной информации предоставляет активные данные о пожарах в течение 3 часов после прохождения спутников, как с помощью спектрорадиометра с умеренным разрешением MODIS (принцип детектирования пожаров основан на их сильном излучении в среднем ИК-диапазоне, получаемых в каналах 4 мкм и 11 мкм с пространственным разрешением 1 км) [3], так и с помощью VIIRS [4] - 2-х полосного радиометра, работающего в видимом диапазоне и ИК (0.45-12 мкм) пространственным разрешением в надир 400 м. Основной характеристикой, по которой определяют интенсивность температурной аномалии (пожара) является параметр FRP - Fire Radiative Power (измеренная мощность излучения). FRP (МВт) - это параметр, который определяет количество тепловой энергии, выделяемой за единицу времени при горении растительного покрова. В работе [5]. использована методика вычисления показателя FRP, позволяющего оценить интегральную радиационную мощность теплоизлучения от термически активной зоны. На основе методик обработки съемки в инфракрасном диапазоне (на канале 4 мкм) по данным MODIS и VIIRS исследованы вариации мощности излучения от пожаров. Обработка проводилась для термически активных участков (термоаномалий), расположенных вблизи Черноморского региона (прибрежная и береговая зона акватории) по спутниковым данным за период 2018-2019 г. Для определения типа аэрозоля над исследуемым регионом были проанализированы спутниковые данные CALIPSO. Самым активным периодом по количеству пожаров за 2019 год является вторая половина июля: по данным MODIS количество точек возгораний составило 4707, а по данным VIIRS 24108 точки возгорания. Данные по пожарам для MODIS и VIIRS, хранящиеся на платформе EOS отличаются: данные VIIRS дополняют обнаруженные по алгоритму детектирования MODIS пожары, за счет большего пространственного разрешения и обеспечивают больший отклик от пожаров на относительно небольших участках. Летний период 2019 года также был отмечен максимумом (более, чем в 5 раз) расхождений в количестве термических аномалий по данным двух спутников. Максимум по количеству и интенсивности по пожарам наблюдался 22 июля 2019 года. Для этой даты данные АОТ, полученные посредством измерений фотометром SPM, превышали среднемесячное значение в полтора раза: среднемесячное за июль значение $AOT(500) = 0,25$, среднедневное за 22 июля $AOT(500) = 0,36$. Максимум значений временного распределения АОТ за период наибольших по количеству и интенсивности пожаров был зафиксирован 30 июля. Анализ величин АОТ за этот день на соседних Черноморских станциях показал также превышение среднемесячных значений в 1,5-2 раза: на станции Galata_Platform $AOT(500) = 0,36$ (при среднемесячном $AOT(500) = 0,2$ за июль), на станции Gloria $AOT(500) = 0,34$ (при среднемесячном $AOT(500) = 0,265$), на станции Eforie $AOT(500) = 0,423$ (при среднемесячном $AOT(500) = 0,2$). Оценка интенсивности и количества пожаров за 30 июля не показала максимума ни по одному критерию, однако за предыдущий день (29.07.2019) количество термоаномалий превышала среднемесячной более, чем в 1,5 раза (среднемесячное количество термоаномалий = 930, а за 29.07.2019 = 1472). Т.к. за 30.07.2019 не было зафиксировано экстремумов и по оптическим характеристикам, и по

пожарам, комплексный анализ изменчивости основных оптических характеристик за 2019 год в совокупности с исследованием спутниковых изображений и переносов воздушных масс был проведен за 22.07.2019, когда были зафиксированы и аномально высокие значения АОТ и максимальная интенсивность и количество пожаров.

Увеличение АОТ может быть обусловлено нахождением в атмосфере поглощающих частиц, которыми являются пыль и горящая биомасса [1]. Для дней с максимальными по данным измерений фотометром SPM значениями АОТ был проведен сравнительный анализ значений оптических характеристик аэрозоля, с такими же характеристиками, полученными посредством алгоритма CALIPSO ALay-Standard-V4, а именно максимальные значения АОТ на длине волны 532 нм. Анализ данных показал, что за даты в высокими (по данным измерений фотометром SPM) значениями величин АОТ, алгоритм CALIPSO идентифицировал частицы смога над Черноморским регионом.

Над регионом Черного моря преобладают ветры северо-западного, западного и юго-западного направлений, связанные с циркуляцией в умеренных широтах северного полушария. Анализ данных как направлений ветра, так и обратных траекторий показал нетипичный для Черноморского региона перенос аэрозоля со стороны севера и северо-востока в исследуемый регион на двух высотах в приземных слоях до 1,5 км. Для комплексного анализа источников аэрозоля, которые перенесли со стороны севера и могли повлиять на оптические характеристики аэрозоля над Черноморским регионом были проанализированы карты пожаров, представленные в открытом доступе на платформе EOSDIS (данные по координатам термоаномалий). Проведенный анализ массива данных FRP за 22.07.2019 показал наличие, и по количеству, и по интенсивности области возгораний между Запорожской и Донецкой областями.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-05-50023 (обработка спутниковых данных) и темы госзадания № 0827-2019-0002 (осуществление измерений характеристик атмосферного аэрозоля посредством фотометра SPM и их анализ).

Список литературы

- 1) Калинская Д.В., Рябоконт Д.А. Исследование характеристик аэрозолей над Чёрным морем посредством системы FIRMS во время пожаров за период 2007–2018 [U+202F] гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2019, Т. 16, 4, С.247-255
- 2) Кондратьев К. Я., Григорьев Ал. А. Лесные пожары как компонент природной экодинамики // Оптика атмосферы и океана. 2004. Т. 17. № 4. С. 279-292.
- 3) Chuvieco E., Giglio L., Justice C. Global characterization of fire activity: toward defining fire regimes from Earth observation data // Global Change Biology. 2008. Vol. 14, P. 1488-1502.
- 4) Glasius M., Cour A., Lohse C. Fossil and nonfossil carbon in fine particulate matter: A study of five European cities // J. Geophys. Res. 2011. Vol. 116, no. D11302. <https://doi.org/10.1029/2011JD015646>.
- 5) Retrieval of biomass combustion rates and totals from fire radiative power observations: FRP derivation and calibration relationships between biomass consumption and fire radiative energy release / Wooster MJ [et al] // Journal of Geophysical Research, 2005, Vol. 110, D24311, doi: 10.1029/2005JD006318

ТЕХНОЛОГИИ ПРИКЛАДНОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЗАДАЧАХ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ В ОКЕАНЕ

Калюжная А.В., Никитин Н.О., Вычужанин П.В., Хватов А.А.

Национальный исследовательский университет ИТМО, г. Санкт-Петербург

kaluzhnaya.ann@gmail.com

Ключевые слова: прикладной искусственный интеллект, нейронные сети, поиск аномалий, настройка моделей, дифференциальные уравнения.

Современные исследования процессов океана и атмосферы в значительной мере опираются на богатый задел в области численного гидродинамического и статистического моделирования. Однако, применение даже лучших реализаций моделей требует от эксперта глубоких знаний и навыков не только в предметной области, но и в области программирования, а также необходимости оперирования большими массивами данных из разнородных источников. То, что еще вчера было объектом работы предметного специалиста, сегодня становится рутинными операциями, которые все чаще можно перекладывать на алгоритмы искусственного интеллекта, которые претерпели существенный прогресс за последнее десятилетие. Например, такие решение таких задач как настройка предметных моделей и валидация их результатов может полностью или частично быть автоматизировано. Однако, помимо рутинных действий в настоящее время алгоритмы ИИ способны выполнять многие нетривиальные операции, помогая предметному специалисту в его профессиональной деятельности. Например, интеллектуальный анализ больших баз данных для выделения характерных событий и явлений и даже поиск устойчивых пространственно-временных закономерностей в терминах дифференциальных уравнений становится достижимым благодаря технологиям ИИ. Данный доклад посвящен проблематике применения технологий прикладного искусственного интеллекта в задачах моделирования процессов в океане. В рамках доклада будут продемонстрированы основные направления применения методов ИИ и их эффективность на примерах решения прикладных задач в области моделирования процессов в океане.

Интеллектуальная технология автоматизированной валидации результатов моделирования представлена на примере решения задачи обнаружения аномалий в полях ледовых характеристик, полученных с помощью модели NEMO [1]. Для решения этой задачи разработан метод и алгоритм на основе сверточных нейронных сетей для автоматического обнаружения аномалий для геопространственных данных [2]. Особенностью задачи является затруднительность или невозможность обеспечить обучающую выборку аномалий, поэтому предлагается алгоритм, обучающийся только на данных без аномалий. Такие данные можно получить из климатографических архивов, однако объемы доступных данных недостаточны для обучения алгоритма, поэтому полные изображения Арктики делятся на подзоны, что позволяет увеличить обучающую выборку. Таким образом, нейронная сеть была обучена на спутниковых изображениях Арктического льда без аномалий для разных сезонов года, предоставленных OSI SAF с 1980 по 2015 год, и спроектирована так, что результатом обработки является оценка, соответствует ли выбранный квадрат характерным картинам для различных сезонов. Результаты проведенных экспериментов показали, что сверточные нейронные сети могут быть успешно использованы для задач обнаружения аномалий в результирующих полях гидрометеорологического моделирования, а предложенный подход позволяет проводить валидацию полностью в автоматическом режиме без привлечения эксперта.

Интеллектуальная технология калибровки гидрометеорологических моделей проиллюстрирована на примере решения задачи динамической настройки параметров модели морского волнения [3]. В экспериментальных исследованиях была использована конфигурация модели SWAN для Карского моря, использующая атмосферный форсинг, полученный из реанализа ERA Interim. Для воспроизведения различных сценариев калибровки были использованы 9 синтетических временных рядов высоты волны в точках, полученных из результатов расчетов с помощью моде-

ли WaveWatch III для всего Северного Ледовитого Океана. Для настройки модели были разработаны эволюционные алгоритмы оптимизации, позволяющие находить параметры модели, позволяющие снизить ее ошибку по сравнению с настройками по умолчанию, т. е. находящие локальные минимумы функции ошибки модели. Однако, задача настройки модели природной среды по ограниченному количеству наблюдений не может быть просто сведена к стандартной задаче оптимизации и требует учета различных аспектов, связанных с учетом неопределенности моделирования, а также значительной ресурсоемкости вычислительных моделей. Для решения первой проблемы предложены робастные методы поиска квази-оптимальных параметров. Таким образом, робастная калибровка реализована на основе генетических алгоритмов с модифицированной фитнес-функцией. Вместо использования только одной реализации модели, метод Монте-Карло применяется для сценарного зашумления входных данных и создания ансамбля моделей. Для снижения вычислительной емкости процедуры калибровки был разработан алгоритм, заменяющий часть реальных вычислений функции ошибки вычислениями приближенной модели этой функции (суррогатной модели) [4].

Интеллектуальная технология для выявления устойчивых закономерностей продемонстрирована на примере решения задачи создания модели ДУЧП на данных [5]. В качестве иллюстративного примера приводится подход к Интеллектуальная технология для выявления устойчивых закономерностей продемонстрирована на примере решения задачи создания модели ДУЧП на данных. В качестве иллюстративного примера приводится алгоритм для выявления устойчивых структур пространственно-временных зависимостей в поле среднего уровня Северного Ледовитого океана. Алгоритм итеративно выполняется в два этапа: на первом этапе происходит подбор структуры уравнения с помощью эволюционного алгоритма, а на втором - идентификация числовых коэффициентов при дифференциальных членах. Развитие подобных генеративных алгоритмов может позволить уточнить классические модели и, как следствие, повысить качество моделирования непрерывных процессов, а также использовать их как инструмент для выявления неизвестных закономерностей, что становится возможным при условии поддержания высокого уровня интерпретируемости «выращенных» моделей.

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 19-71-00150.

Список литературы

- 1) Hvatov A. et al. Adaptation of NEMO-LIM3 model for multigrid high resolution Arctic simulation //Ocean Modelling. – 2019. – Vol. 141. – P. 101427.
- 2) Vychuzhanin P., Hvatov A., Kalyuzhnaya A.V. Anomalies Detection in Metocean Simulation Results Using Convolutional Neural Networks //Procedia Computer Science. – 2018. – Vol. 136.– P. 321-330.
- 3) Vychuzhanin P., Nikitin N.O., Kalyuzhnaya A.V. Robust Ensemble-Based Evolutionary Calibration of the Numerical Wind Wave Model //International Conference on Computational Science. – Springer, Cham, 2019. – P. 614-627.
- 4) Nikitin N.O.et al. Deadline-driven approach for multi-fidelity surrogate-assisted environmental model calibration: SWAN wind wave model case study //Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion. – ACM, 2019. – P. 1583-1591.
- 5) Maslyayev M., Hvatov A. Discovery of the data-driven differential equation-based models of continuous metocean process //Procedia Computer Science. – 2019. – Vol. 156. – P. 367-376.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ СРОКОВ СХОДА ЛЬДА В БЕРИНГОВОМ И ЧУКОТСКОМ МОРЯХ

Кивва К.К.¹, Селиванова Ю.В.^{1,2}, Сумкина А.А.^{1,3}, Писарева М.Н.²

¹Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, г. Москва

²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

³МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

kirill.kivva@gmail.com

Ключевые слова: Берингово море, Чукотское море, морской лёд, дата схода льда, кластерный анализ.

Берингово и Чукотское моря характеризуются сезонным ледовым покровом. При этом сроки освобождения отдельных участков акватории ото льда в одних и тех же частях морей могут сдвигаться на 20-40 дней в разные годы. Характер ледовых условий в каждый момент времени определяется, главным образом, особенностями атмосферных процессов в регионе в зимнее время, а также динамикой вод [1]. При этом таяние льда приводит к опреснению поверхностного слоя, что служит главной причиной весеннего «цветения» фитопланктона у кромки льда [2]. То есть даты схода льда (ДСЛ) определяют сроки начала активного весеннего продуцирования первичного органического вещества фитопланктоном и таким образом во многом влияют на функционирование всей экосистемы в течение весны-лета [3]. Целью данной работы стало определение районов с синхронным изменением дат схода льда в акваториях обоих морей.

В работе использована концентрация льда из Climate Data Record (CDR) NOAA/NSIDC [4]. Массив содержит данные за 1979-2018 годы, распределённые в узлы регулярной сетки с пространственным разрешением 25 км. Дискретность данных составляет 2 дня до 9 июля 1987 года и 1 день после этой даты. Для получения массива с однородным временным разрешением данные линейно интерполированы на те даты, для которых значения отсутствовали. ДСЛ в каждом узле сетки определена как последний за ледовый сезон день с концентрацией льда ниже 0,15. Перед расчетом данные сглаживали 7-дневным скользящим осреднением как в работе [5].

Узлы сетки сгруппированы с использованием метода кластерного анализа DBSCAN [6] по ДСЛ за 1979-2008 годы (30 значений). Анализ выполнен только для тех узлов, где за исследуемый период было не менее 15 лет со значениями ДСЛ. Отсутствующие значения приняты равными 0 (льда не было) или 365 (лёд наблюдался круглый год). В качестве меры сходства использован коэффициент корреляции Спирмена. Параметры DBSCAN (ϵ и minPts) подбирались с помощью диаграмм количества кластеров и доли «шума» в координатах этих параметров. В результате выбраны значения $\epsilon = 0,11$ и $\text{minPts} = 31$.

В пределах исследуемой акватории выделены 7 районов (кластеров), в которых даты схода льда изменялись синхронно. При этом два района, по всей видимости, отделились от остальных в частности по причине присутствия в них узлов, в которых за многие годы лёд не наблюдался либо не стаивал. Это северная часть Чукотского моря и небольшой район вдоль $57,5^\circ$ с.ш. на восточном шельфе Берингова моря, где часто проходит граница максимального распространения льда. Около 37 % всех узлов отнесены в категорию «шума». То есть они имеют коэффициенты корреляции динамики ДСЛ в пределах 0,89-1,0 с менее чем 31 узлом сетки. ДСЛ в них в каждый конкретный год определяется, по всей вероятности, процессами меньшего пространственного масштаба, чем в выделенных районах.

В западной части Чукотского моря наиболее ранний сход льда наблюдался в начале июля в 1992, 1997, 2007, 2009, 2011 и в 2014-2018 годах. При этом в 1982 и 1998 годах лёд стаивал только в октябре, а в 1983 и 1994 годах наблюдался круглый год. В южной части Чукотского моря наиболее раннее освобождение акватории ото льда наблюдалось в 1997, 2002-2004, 2011 и 2014-2018 годах (середина мая). Вдоль западного шельфа Берингова моря наблюдается значительная динамика

ДСЛ: лёд может исчезнуть в конце февраля-начале марта (1985, 1996-1997, 2001, 2015, 2017-2018 годы), а может наблюдаться до конца мая (1980, 2000, 2012 годы). Над юго-восточным шельфом моря наблюдается похожий разброс ДСЛ: с начала марта (1989 год) по конец мая (2012 год). Таким образом, практически во всех районах Берингова и Чукотского морей разброс ДСЛ составляет почти 100 дней.

Продолжением работы послужит выяснение связи между особенностями атмосферных процессов и сроками весеннего освобождения выделенных районов ото льда.

Список литературы

- 1) Stabeno P.J., Bond N.A., Salo S.A. On the recent warming of the southeastern Bering Sea shelf // *Deep Sea Res. II.* – 2007. – 54(23-26), – pp. 2599-2618.
- 2) Niebauer H.J., Alexander V. Oceanographic frontal structure and biological production at an ice edge // *Continental Shelf Research.* – 1985. – 4. – P. 367-88.
- 3) Hunt Jr.G.L., Coyle K.O., Eisner L.B., Farley E.V., Heintz R.A., Mueter F., Napp J.M., Overland J.E., Ressler P.H., Salo S. Stabeno P.J. Climate impacts on eastern Bering Sea foodwebs: a synthesis of new data and an assessment of the Oscillating Control Hypothesis // *ICES J. of Mar. Sci.* – 2011. – 68(6). – P.1230-1243.
- 4) Meier W.N.,Fetterer F., Savoie M., Mallory S., Duerr R., Stroeve J. NOAA/NSIDC Climate Data Record of Passive Microwave Sea Ice Concentration, Version 3. Boulder, Colorado USA. NSIDC: National Snow and Ice Data Center. – 2017. – doi: <https://doi.org/10.7265/N59P2ZTG>
- 5) Peng G., Steele M., Bliss A., Meier W. Dickinson S. Temporal Means and Variability of Arctic Sea Ice Melt and Freeze Season Climate Indicators Using a Satellite Climate Data Record // *Rem. Sens.* – 2018. – 10(9). – P.1328.
- 6) Ester M., Kriegel H.P., Sander J., Xu X. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise // *KDD.* – 1996. – 96. – 34. – P. 226-231.

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД БАЛТИЙСКОГО МОРЯ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ADCP И ИНКЛИНОМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ПРИДОННЫХ ТЕЧЕНИЙ

Кондрашов А.А., Рыков Н.А.

Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград

kondrashoff1984@yandex.ru

Ключевые слова: физика океана, измеритель скорости течений, придонные течения, прибрежные воды, размыв берегов, Балтийское море.

Береговая линия Балтийского моря Калининградской области подвержена постоянному размыву, многократно усиливаемому при наступлении штормов, что вкупе с недостатком берегозащитных сооружений наносит огромный урон рекреационной зоне побережья и инженерным сооружениям: портам, променадам, терминалам и т.д. В береговой зоне моря действует сложная система течений, чутко реагирующих на силу ветра, угол его подхода к линии берега и морфологические особенности подводного берегового склона [1]. Изучение динамики прибрежных вод является важным для эффективной эксплуатации природных ресурсов и инженерных сооружений, позволит определить потенциально наиболее уязвимые участки, поможет в грамотном обустройстве берегозащитных сооружений.

В последние несколько лет Институтом океанологии им. П.П. Ширшова РАН проводятся исследования придонных течений прибрежной зоны Балтийского моря при помощи автономных измерителей течений инклинометрического типа собственной разработки [2]. Ценность этих приборов заключается в их невысокой стоимости и простоте, что позволяет размещать их группами на донных станциях на продолжительное время и предполагает их работу, в том числе и в штормовых условиях.

Также, периодически проводятся исследования динамики прибрежных вод вблизи Самбийского полуострова при помощи акустических доплеровских профилографов течений (ADCP), которые устанавливаются стационарно на донных станциях, либо используются в режиме буксировки при монтаже на морское судно. Профилограф позволяет получить информацию о скорости и направлении движения воды по всей толще.

В ходе натурных экспериментальных исследований определены основные закономерности взаимосвязи придонных течений и ветрового воздействия для мест, в которых осуществлялись постановки донных станций. Также, удалось регистрировать колебания скорости течения в придонном слое с периодами поверхностных волн при помощи инклинометрических измерителей. Зафиксирована динамика изменения придонных течений во время шторма на различных глубинах. Накоплен массив данных о динамике прибрежных вод на различных участках от пос. Янтарный до пос. Куликово.

Работа производилась при поддержке гранта РФФИ 18-05-80031 «Формирование и воздействия на морскую экосистему опасных явлений, обусловленных химическим оружием, затопленным в Балтийском море после 2-й Мировой войны».

Список литературы

- 1) Государственный доклад об «Экологической обстановке в Калининградской области в 2017 году». Министерство природных ресурсов и Экологии Калининградской области, 2017.
- 2) ПакаВ.Т., Набатов В.Н., Кондрашов А.А., Корж А.О., Подуфалов А.П., Облеухов С.Д., Голенко М.Н., Щука С.А. О конструктивных особенностях инклинометрического измерителя скорости придонных течений // Океанологические исследования. 2019. Т. 47. № 2. С. 220-229.

ОЦЕНКИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ И УРОВНЯ ПОВЕРХНОСТИ В РАЙОНЕ ФРОНТАЛЬНЫХ ЗОН БАРЕНЦЕВА МОРЯ В ГОД С МИНИМАЛЬНЫМ И МАКСИМАЛЬНЫМ ЛЕДОВЫМ ПОКРОВОМ

Коник А.А.^{1,2}, Атаджанова О.А.¹, Зимин А.В.^{1,2}

¹ Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

² Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

konikrshu@gmail.com

Ключевые слова: термические фронтальные зоны, динамические фронты, уровень поверхности моря, Баренцево море.

Фронтальные зоны играют важную роль в структуре и глобальной циркуляции Мирового океана. Динамика фронтов в Арктическом регионе является определяющей в формировании и дальнейшей изменчивости процессов в атмосфере и гидросфере в целом.

За последние десятилетия в Арктике происходят значительные климатические колебания, прежде всего связанные с интенсивным высвобождением региона ото льда. В указанный период отмечаются годы (2007, 2012, 2016 гг.), которые характеризовались значительным уменьшением площади льда [1], что в целом соответствует общему тренду изменчивости ледяного покрова в 21 веке. Однако за период с 2007 по 2019 гг. отмечаются периоды, за которые площадь льда больше на фоне остальных лет [2] (например, в 2009 г. в 1,5 раза больше в сравнении с 2012 г.). Исследование описанной локальной изменчивости необходимо, так как такие резкие колебания прежде всего влияют на процессы малого масштаба от которых в свою очередь зависит глобальная картина изменчивости климата в Арктическом регионе. В связи с этим, актуально произвести сравнительный анализ динамики изменчивости фронтальных зон в годы с минимальным и максимальным ледовым покровом. В качестве года с минимальным покрытием льда будет пониматься 2007 г., с максимальным - 2009 г.

В Баренцевом море выделяется множество термических фронтальных зон, имеющих разный масштаб изменчивости. В данной работе рассматриваются только две наиболее крупные термические фронтальные зоны Баренцева моря - Прикромочная и Полярная. Прикромочная фронтальная зона имеет сезонный характер и формируется за счет распресненных и холодных арктических вод вблизи границы ледовой кромки. Полярная фронтальная зона имеет климатический характер и формируется за счет притока теплых атлантических вод. На современном этапе изучается синоптическая изменчивость данных фронтов в годы с минимальным ледовым покровом [3], однако какие внутренние характеристики и динамика изменчивости термических фронтальных зон в год с максимальным ледовым покровом не известно до сих пор.

Изменения колебаний уровня активно исследуются в разных районах Мирового океана, особенно в зоне интенсивных океанических течений, таких как Гольфстрим и Куроисио. За счет возникающей неустойчивости и конвергенции характеристик уровня моря формируются зоны динамических фронтов. Несмотря на разнородное количество данных, получаемых с уровенных постов, спутников и прогностических моделей, позволяющих изучать изменчивость уровня в большей части Мирового океана, Арктический регион характеризуется недостаточным объемом данных о колебаниях уровня, что приводит к слабой изученности особенностей динамических фронтов и фронтальных зон. В Баренцевом море в годы с разным ледовым покровом оценки изменчивости динамических фронтальных зон в настоящее время отсутствуют.

Таким образом, целью данной работы является оценка изменчивости температуры и уровня поверхности в районе фронтальных зон Баренцева моря в год с максимальным ледовым покровом.

Для исследования характеристик термических и динамических фронтальных зон в качестве исходных данных используются данные по температуре поверхности моря (ТПМ) продукта GHRSSST

OSTIA Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis и данные уровня поверхности моря продукта Global Ocean Physics Analysis and Forecast Updated Daily за теплый сезон 2007 и 2009 годов. Согласно методике, представленной в работе [4], по полученным данным строились композитные карты, совмещающие в себя изолинии температуры поверхности и уровня моря и поля градиентов для каждой характеристики соответственно. По положениям изолиний и градиентам определялось положение термических и динамических фронтальных зон.

Для оценки количественных характеристик термических фронтальных зон использовались два меридиональных разреза в центральной и восточной частях моря. По данным двух разрезов также регистрировались: средняя ширина фронтальной зоны, максимальный градиент ТПО и динамической топографии на фронте по месяцам и декадам.

В результате работы удалось оценить изменчивости температуры поверхности и уровня в районе фронтальных зон Баренцева моря в года с минимальным и максимальным ледовым покровом.

По полученным данным градиентов температуры поверхности удалось выделить две термические фронтальные зоны - Прикромочную и Полярную. В год с максимальным ледовым покровом отмечается уменьшенное значение средней ширины Прикромочной фронтальной зоны и увеличенное в два раза значение среднего градиента по сравнению с годом минимального ледового покрова. В Полярной фронтальной зоне в год максимального ледового покрова отмечается уменьшенные в несколько раз значения характеристик средней ширины и градиента, чем в год с минимумом ледового покрова. Полученные результаты связаны с незначительной динамикой изменчивости среднемесячного положения фронтов, отмечающейся низкоширотной кромкой ледового покрова и более интенсивными процессами выхолаживания в центральной части моря.

В результате обработки данных градиентов уровня морской поверхности удалось выделить две динамические фронтальные зоны - Прикромочную и Полярную. Более подробные результаты оценок изменчивости уровня и динамических фронтов будут представлены в докладе.

Обработка данных по температуре поверхности моря с целью выделения положения фронтов производилась в рамках государственного задания по теме № 0149-2019-0015 «Волновые процессы, явления переноса и биогеохимические циклы в морях и океанах: исследование формирующих механизмов на основе физико-математического моделирования и натурных экспериментальных работ».

Список литературы

- 1) Serreze M.C., Stroeve J. Arctic sea ice trends, variability and implications for seasonal ice forecasting // Philosophical transactions: mathematical, physical and engineering science. 2015. Vol. 373. № 2045. P. 159.
- 2) National snow and ice data center, <http://nsidc.org>.
- 3) Зимин А.В., Коник А.А., Атаджанова О.А. Количественные оценки изменчивости характеристик температуры поверхности моря в районе фронтальных зон Баренцева моря // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2018. № 51. С. 99-108.
- 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.

ПРОЯВЛЕНИЯ ВИХРЕВЫХ СТРУКТУР В РАЙОНАХ ФРОНТАЛЬНЫХ ЗОН В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Кони́к А.А.^{1,2}, Козлов Е.И.^{3,4}

¹ *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва;*

² *Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург;*

³ *Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь;*

⁴ *Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург*

konikrshu@gmail.com

Ключевые слова: Океанские вихри, спутниковые радиолокационные изображения, фронтальные зоны, Баренцево море

В настоящее время в арктическом регионе наблюдаются климатические изменения, которые находят свое отражение сокращении площади ледового покрова [1]. Данные колебания влияют также на пространственно-временную изменчивость основных фронтальных зон и особенности динамики возникающих вблизи них вихревых структур. В летний период за счет прогрева и таяния кромки ледового покрова возникает выраженная вертикальная стратификация, которая благоприятна для развития динамических процессов в верхнем слое. В то же время общая интенсивность вихреобразования во всем слое от поверхности до дна снижается, т.к. интенсивность пограничных течений ниже в летнее время. В связи с этим, актуально изучить проявления субмезомасштабных вихревых структур в районах фронтальных зон в теплый период года.

Фронтальная динамика Баренцева моря характеризуется двумя основными фронтальными зонами - Прикромочной и Полярной. Основная природа формирования Прикромочной фронтальной зоны заключается в образовании линзы холодных вод в районе таяния арктической кромки. Полярная фронтальная зона в целом образуется за счет адвекции теплых атлантических вод с окружающими баренцевоморскими водами. На границах фронтальных зон за счет горизонтального мезомасштабного турбулентного перемешивания формируются меандры и вихревые структуры различных масштабов [2]. В работах [3-4] удалось детектировать вихри разного диаметра в районах фронтальных зон в годы с минимальным ледовым покровом. Однако для получения полной картины изменчивости фронтальных зон и вихревых структур на акватории Баренцева моря существующих статистических данных недостаточно.

Таким образом, целью данной работы является исследование декадной (десятидневной) динамики субмезомасштабных вихревых структур в районе фронтальных зон в Баренцевом море в летний период года.

Для регистрации субмезомасштабных вихревых структур или «малых» вихрей в Баренцевом море за август 2007 и 2009 годов использовались 655 радиолокационных изображений (РЛИ) высокого разрешения *ENVISAT ASAR* в *C*-диапазоне и режимах съемки *WSM* (ширина полосы обзора 400 км, пространственное разрешение 150 м) и *IMP* (100 км и 25 м соответственно). Выбор августа месяца обусловлен наименьшей площадью льдов в теплый сезон за оба исследуемых года [5]. Анализ спутниковых РЛИ позволил оценить пространственные характеристики: их положение, средний диаметр и знак вращения. Для идентификации фронтальных зон на поверхности Баренцева моря были использованы поля температуры морской поверхности *GHRSSST OSTIA* за август 2007 и 2009 годов с разрешением $0,05^\circ$ по широте и долготе. По полученным данным строились композитные карты температуры поверхности и их градиентов, с помощью которых по интенсивности градиентов определялось положение фронтальных зон (ФЗ) и основных фронтальных разделов. С помощью двух меридиональных разрезов были определены количественные характеристики: средняя ширина фронтальной зоны и максимальный средний градиент ТПО по месяцам и декадам.

Полученные композитные карты дали возможность выделить две фронтальные зоны - Прикромочную и Полярную. Средняя ширина фронтальной зоны по данным двух меридиональных

разрезов в 2007 году составила 84 км, а в 2009 году - 75 км. Максимальный средний градиент во фронтальной зоне в августе 2007 года составил $0,02^{\circ}\text{C}/\text{км}$, а в августе 2009 года - $0,04^{\circ}\text{C}/\text{км}$. Средняя ширина Полярной фронтальной зоны по данным двух меридиональных разрезов в августе 2007 года составила 136 км, а в августе 2009 года - 90 км. Максимальный средний градиент во фронтальной зоне в августе 2007 года составил $0,04^{\circ}\text{C}/\text{км}$, а в августе 2009 - $0,02^{\circ}\text{C}/\text{км}$.

Обработанные радиолокационные изображения за август 2007 и 2009 годов дали возможность зафиксировать основные характеристики вихревых структур: положение центра, тип закрутки и средний диаметр. За период исследования зафиксировано 1135 вихрей, из которых 522 в 2007 году и 613 в 2009. В оба года преобладали вихревые структуры с циклоническим типом закрутки, что также наблюдалось и в других районах Арктики [3, 6]. Основные районы регистрации вихрей в 2007 году располагались в северной части моря, между арх. Шпицбергена и арх. ЗФИ, а также в районах с изменчивым рельефом дна, а в 2009 году вихри детектировались почти равномерно по всей акватории моря. Средний диаметр вихрей в 2007 году составил 3,6 км, а в 2009 - 6,2 км. В оба года преобладали вихри с диаметром менее 6 км которые можно отнести к субмезомасштабным явлениям [3,4].

В ходе проведенного исследования зафиксировано, что на границах и внутри фронтальных зон в августе 2007 и 2009 годов было детектировано 228 вихревых структур, что составляет 20% от их общего числа. Вероятно, значительная часть наблюдаемых вихрей наблюдалась на более мелких фронтах, не разрешаемых используемым полем температуры, которое имеет невысокое пространственное разрешение и получено методом оптимальной интерполяции, т.е. содержит сглаженные поля. В этом отношении представляется интересным выполнить сопоставление полученных результатов с положением фронтальных зон и границ течений, регистрируемых непосредственно в РСА изображениях.

Обработка радиолокационных изображений и их анализ с целью выделения вихревых структур производилась в рамках гранта РФФИ № 18-35-20078 мол_а_вед. Подготовка программного обеспечения для анализа радиолокационных изображений выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки по теме № 0555-2019-001

Список литературы

- 1) Serreze M.C., Stroeve J. Arctic sea ice trends, variability and implications for seasonal ice forecasting // *Philosophical transactions: mathematical, physical and engineering science*. 2015. V. 373 № 2045. P. 159.
- 2) Manucharyan G. E., Timmermans M.-L. Generation and separation of mesoscale eddies from surface ocean fronts // *Journal of Physical Oceanography*. 2014. V.43. № 12. P. 2545–2562.
- 3) Atadzhanova O. A., Zimin A. V., Romanenkov D. A., Kozlov I. E. Satellite radar observations of small eddies in the White, Barents and Kara Seas // *Physical Oceanography*. 2017. V. 2. P. 75–83.
- 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, V. 12. № 3. P. 36–45.
- 5) National snow and ice data center. [Электронный ресурс]/ Содержит информацию о продукте – Режим доступа: <http://nsidc.org> – свободный. Загл. с экрана.
- 6) 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*. 2019. V. 124. № 9. P. 6601-6616.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЫНОСИМОГО РЕКАМИ ПЛАВАЮЩЕГО ВЕЩЕСТВА В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ МОРЯ: СЛУЧАЙ НАВОДНЕНИЯ В СОЧИ В ОКТЯБРЕ 2018 Г.

Коршенко Е.А.^{1,2}, Журбас В.М.², Осадчиев А.А.², Белякова П.А.³

¹ФГБУ "Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова", г. Москва

²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

³Институт водных проблем РАН, г. Москва

kekaron@gmail.com

Ключевые слова: численное моделирование, морская циркуляция, Черное море, перенос загрязняющих веществ.

Реки являются одним из основных источников морского загрязнения, так как по ним, особенно во время сильных ливней и наводнений, в прибрежную морскую зону выносятся огромное количество самого разнообразного мусора, в том числе и пластикового плавучего мусора. В тоже время многие аспекты его последующего переноса на сегодняшний день остаются недостаточно изученными. Поэтому так важны дальнейшие исследования дрейфующего на поверхности и выбрасываемого на берег морского плавучего мусора с целью определения наиболее загрязняемых областей прибрежной зоны с учетом влияния морской гидродинамики, метеорологических факторов и возможных опасных природных явлений.

В данной работе для исследования процессов формирования опресненных вдольбереговых течений во время паводков и их влияния на распределение загрязняющих веществ, в том числе попадающего в прибрежные морские воды вместе с речным стоком плавучего мусора, проводилось численное моделирование наводнения в районе Сочи в конце октября 2018 года.

Численные расчеты проводились с использованием нескольких современных численных моделей: региональной негидростатической модели атмосферы WRF (Weather Research and Forecasting Model) [1], модели геоморфологического мгновенного единичного гидрографа, основанного на уравнении кинематической волны KW-GIUN (Kinematic-Wave Geomorphological Instantaneous Unit Hydrograph) [2], модели морской циркуляции INMOM (Institute of Numerical Mathematics Ocean Model) [3] и модели переноса лагранжевых частиц [4].

Для запуска моделей INMOM и переноса лагранжевых частиц в первую проводился расчет метеорологических характеристик по модели WRF и расчет расходов рек по модели KW-GIUN. Модель WRF была реализована над акваториями Черного, Азовского и Мраморного морей с пространственным разрешением, равным 10 км. Модель KW-GIUN использовалась для расчета часовых данных расходов стоков малых рек северо-восточного побережья Черного моря (Псоу, Мзымта, Кудепста, Хоста, Мацеста, Сочи, Дагомыс, Шахе, Псезуапсе и др.).

Расчет гидрологических характеристик проводился с использованием версии модели морской циркуляции INMOM со сгущением сеточной области (пространственное разрешение ~ 250 м) в районе Сочи для всей акватории Черного моря без включения Азовского и Мраморного морей. Для реализации сгущения в представленной модели использовалась сферическая система координат с положением одного из полюсов в точке с географическими координатами 40.205°E и 43.84°N в районе города Сочи, так что шаги по пространству составляли порядка ~ 250 м в районе Сочи и доходили до 4.5 - 5 км на западе Черного моря. Горизонтальное разрешение сеточной области составило 642×715 узлов по модельной долготе и широте. По вертикали задавались 20 неравномерно распределенных по глубине σ -уровней со сгущением у поверхности.

На основе рассчитанного по модели INMOM поля поверхностных течений, обновляемого каждые 30 мин, были проведены эксперименты с использованием модели переноса лагранжевых частиц, при которых в ячейках сетки размером 250×250 м², соответствующих устьям малых рек

в районе Сочи, генерировалось определенное количество плавающих лагранжевых частиц, число которых бралось пропорциональным актуальному расходу реки.

Анализ результатов численных расчетов показал, что при поступлении речного стока малых рек рассматриваемого региона в прибрежную морскую зону и последующем формировании плюмов, лагранжевы частицы, имитирующие плавучий мусор, в силу интенсивной локальной вертикальной конвекции, характерной для высоких градиентов плотности, скапливаются на границах этих плюмов. Таким образом лагранжевы частицы маркируют границы отдельных речных плюмов и, тем самым, позволяют определять сдвиг этих плюмов относительно источников в речных устьях, а также степень их смешения между собой. Дополнительно, по результатам расчетов были выявлены потенциальные области аккумуляции плавучего мусора на береговой линии, что лишний раз показало, что процесс формирования опресненных вдольбереговых течений во время паводков оказывает существенное влияние на гидрофизические процессы и качество прибрежных вод российского побережья Черного моря.

В целом результаты расчетов показали, что вышеописанный комплекс моделей позволяет не только осуществлять расчет распространения загрязняющих веществ, поступающих в море с материковым стоком, но и служит инструментом определения районов побережья северо-восточной части Черного моря, наиболее уязвимых по отношению к антропогенным загрязнениям.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 18-17-00156) и Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 18-35-00512).

Список литературы

- 1) Skamarock W.C. et al. A description of the Advanced Research WRF Version 3 // NCAR Technical Notes. 2008. 100 p.
- 2) Ли К.Т. и др. Современная версия модели единичного гидрографа и ее применение в Тайване и России // География и природные ресурсы. 2009. № 1. С. 144–151.
- 3) Дианский Н.А. Моделирование циркуляции океана и исследование его реакции на короткопериодные и долгопериодные атмосферные воздействия // М.: Физматлит, 2013. 272 с.
- 4) Väli G. et al. Clustering of floating particles due to submesoscale dynamics: a simulation study for the Gulf of Finland // Fundamentalnaya i prikladnaya gidrofizika. 2018. Vol. 11. № 2. P. 21–35.

РАЗРАБОТКА ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ШЕЛЬФОВЫХ МОРЕЙ И ГЛУБОКОГО ОКЕАНА НА ПРИМЕРЕ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА

Крайнева М.В.

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

kraineva-m@yandex.ru

Ключевые слова: Северный Ледовитый океан, численное моделирование, Арктический шельф.

Численная модель динамики океана и морского льда SibCIOM (Siberian Coupled Ice-Ocean Model), разработанная в ИВМиМГ СО РАН, состоящая из крупномасштабной модели океана ИВМиМГ СО РАН [1],[2] и ледовой модели CICE [3], предназначена для исследования климатической изменчивости состояния вод и морского льда Северного Ледовитого океана и его шельфовых морей. Изучение взаимодействия вод шельфовых морей и глубокого океана является важной задачей исследования современного состояния Арктического бассейна. Полученные ранее результаты включают исследование траекторий трассеров, отражающих перенос пресных вод сибирских рек [4],[5].

Исследование взаимодействия вод шельфа и глубокого океана требует уточнения описания гидрологических характеристик в шельфовой области. Предполагая это сделать в рамках крупномасштабной модели, мы модифицировали численную модель океана. Основой модификации является применение комбинированной численной сетки по вертикали. В глубинных районах океана, характеризующихся резкими наклонами дна, используется z-система вертикальных физических координат. Шельфовая часть океана и переход на материковый склон рассматриваются в σ -системе координат, в которой первые два вертикальных горизонта соответствуют горизонту для z-системы, а остальные координатные линии следуют топографии дна. С помощью данного подхода мы можем описывать потоки, поступающие в поверхностный слой, с одинаковой степенью детализации для всех районов океана; уточнять распределение гидрологических характеристик шельфовой области; описывать процессы обмена вод шельфовой зоны и глубокого океана в области материкового склона. В рамках тестирования проводится сравнение работы двух подходов (численной модели с комбинированной сеткой по вертикали и численной модели с z-системой). Представлены результаты численных расчетов гидрологических характеристик Северного Ледовитого океана.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-05-00241 А.

Список литературы

- 1) Golubeva E. N., Platov G. A. On improving the simulation of Atlantic Water circulation in the Arctic Ocean // J. Geophys. Res. - 2007 - 112 - C04S05
- 2) Golubeva E.N., Platov G. A. Numerical Modeling of the Arctic Ocean Ice System Response to Variations in the Atmospheric Circulation from 1948 to 2007 // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics - 2007- 45 (1) - 137–151
- 3) CICE Consortium Model for Sea-Ice Development [Электронный ресурс] Режим доступа - <https://climatemodeling.science.energy.gov/technical-highlights/cice-consortium-model-sea-icedevelopment>
- 4) Golubeva E.N., Platov G.A., Iakshina D.F., Kraineva M.V. The simulated distribution of the Siberian river runoff in the Arctic Ocean // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 386 - 2019 - 012022 - doi:10.1088/1755-1315/386/1/012022

- 5) Крайнева М.В., Голубева Е.Н. Исследование взаимодействия морей сибирского шельфа и северного ледовитого океана на основе численного моделирования // Процессы в геосредах - 2018 - № 3 (17) - С. 247-248.

НОВЫЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ В СЕВЕРНЫХ МОРЯХ РОССИИ

Крылов А.А.^{1,2}

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

²Московский физико-технический институт (НИУ), г. Москва

artyomkrlv@ocean.ru

Ключевые слова: сейсмичность, сейсмотектоника, море Лаптевых, Баренцево море, Восточно-Сибирское море, локальная сейсмическая сеть.

В последнее время наблюдается активизация освоения российской Арктики: строятся военные базы, нефтегазовые терминалы, добывающие платформы. По мере потепления климата, которое наблюдается наиболее выражено именно в арктическом регионе, усиливается роль Северного морского пути. При этом, если посмотреть на нормативные карты общего сейсмического районирования ОСР-2015, в глаза сразу бросается отсутствие приуроченной макросейсмической интенсивности для обширных шельфовых зон России, в особенности арктических. Это объясняется тем, что на шельфе пока возводятся лишь единичные объекты, для которых проводятся отдельные инженерно-сейсмологические работы для уточнения сейсмических характеристик в районе строительства.

Не смотря на большие пробелы в изученности российской Арктики, имеющихся данных достаточно, чтобы сделать выводы о том, что целый ряд арктических районов представляет большой интерес с точки зрения сейсмологии и сейсмотектоники. К примеру, море Лаптевых является одним из интереснейших районов взаимодействия срединно-океанического спредингового хребта (хребет Гаккеля) с краем континента [1]. Однако, имеющихся сейсмологических данных, базирующихся прежде всего на записях удаленных наземных сейсмографов, недостаточно для подробного описания сейсмических и сейсмотектонических характеристик региона. О сейсмичности Восточно-Сибирского моря в настоящее время вообще практически ничего неизвестно, поскольку имеющаяся наземная сейсмическая сеть не обладает достаточной чувствительностью для регистрации там землетрясений. Сейсмичность Баренцева моря исследована немного лучше ввиду присутствия в регионе сейсмогруппы NORSEAR, а также сети сейсмических станций, расположенных на побережье, в том числе, на островах архипелагов Шпицберген и Франца-Иосифа. Тем не менее, на большей части шельфа Баренцева и Печорского морей зарегистрированы лишь единичные сейсмические события [2]. Масштаб и детальность существующей на данный момент генерализированной базы данных линейных и площадных зон возможных очагов землетрясений для Северной Евразии, разработанной в рамках Программы оценки глобальной сейсмической опасности (GSHAP) [3], недостаточны для качественной оценки сейсмической опасности обширных шельфовых зон северных морей России.

В 2018 году усилиями сотрудников Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН и МФТИ были установлены две группы донных сейсмостанций. Одна группа из четырех приборов была расположена в Печорском море в районе платформы Приразломная. Вторая группа из семи станций была установлена на шельфе и на континентальном склоне моря Лаптевых. Осенью 2019-го года обе группы станций были успешно подняты. Утеряна лишь одна станция в море Лаптевых. Кроме того, был проведен краткосрочный эксперимент в Восточно-Сибирском море. Донная сейсмостанция была установлена на трое суток вблизи обнаруженного мощного источника пузырькового метана со дна.

С 2016 года группой сотрудников Института полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера (Германия), Потсдамского университета (Германия), Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН и Якутского филиала Единой геофизической службы РАН была запущена серия полевых работ по развертыванию временных локальных сетей сейсмостанций в окрестности п.

Тикси, дельты Лены. Полевые работы проводятся ежегодно. Получены записи нескольких годовых кампаний.

Записи локальных сетей донных и наземных сейсмостанций могут быть использованы для решения целого комплекса задач:

- определение сейсмического режима: регистрация локальных землетрясений, определение гипоцентра и магнитуды, составление каталога и графика повторяемости;
- выявление связи зарегистрированных землетрясений с активными разломами, их картирование, уточнение и кластеризация расположения гипоцентров, выявление и анализ роев землетрясений;
- определение механизмов очагов землетрясений, выявление участков земной коры с преобладанием напряжений сжатия и растяжения, их анализ и геодинамическая интерпретация;
- уточнение локального скоростного разреза коры и верхней мантии методами пассивной сейсмотомографии с использованием распределения локальных землетрясений и сейсмических шумов;
- выявление возможной связи сейсмического режима с процессом выбросов метана;
- регистрация удаленных телесеизмических событий для исследования глубинного строения коры.

Детальная обработка всего массива полученных данных может занять довольно много времени, однако уже первые результаты обработки сейсмических записей выявили наличие множества локальных микроземлетрясений на шельфе как Печорского моря, так и моря Лаптевых, а также и Восточно-Сибирского моря. Результаты обработки наземной сети в районе дельты р. Лена показали, что эпицентры землетрясений образуют кластеры. Кроме того, распределение времени в очаге локальных землетрясений также неравномерно, что говорит о наличии роев землетрясений.

Настоящая работа выполнена в рамках государственного задания № 0149-2019-0005 и государственной программы повышения конкурентоспособности ведущих университетов Российской Федерации среди ведущих мировых научно-образовательных центров (программа 5-100) при финансовой поддержке РФФИ (научный проект № 20-05-00533 А).

Список литературы

- 1) Аветисов Г.П. Еще раз о землетрясениях моря Лаптевых // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. СПб.: ВНИИОкеангеология. 2000. Вып. 3. С. 104-114.
- 2) Antonovskaya G., Konechnaya Y., Kremenetskaya E.O. et al. Enhanced Earthquake Monitoring in the European Arctic // Polar Science. 2015. № 9. P. 158-167.
- 3) Ulomov V.I. Seismic hazard of Northern Eurasia // Annali di Geofisica. 1999. V. 42. № 6. P. 1023-1038.

РАСЧЕТ СКОРОСТИ ВЕТРА И ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТНОГО ВОЛНЕНИЯ ДЛЯ УСЛОВИЙ ВНУТРЕННИХ ВОДОЕМОВ НА ОСНОВЕ СОПРЯЖЕННЫХ ВОЛНОВОЙ И АТМОСФЕРНОЙ МОДЕЛЕЙ

Кузнецова А.М., Локтев Ф.М., Байдаков Г.А., Сергеев Д.А., Троицкая Ю.И.

Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород

itnyaginataam@yandex.ru

Ключевые слова: численное моделирование, волновая модель, WAVEWATCH III, атмосферная модель, WRF, сопряжение моделей, короткие разгоны.

Современные модели прогноза поверхностного волнения ориентированы на условия морей и океанов, а модели прогноза ветра часто ограничиваются расчетами с низким (20-30 км) пространственным разрешением. Однако вызовы современного мира демонстрируют необходимость прогнозов состояния окружающей среды с высоким (где шаг по сетке составляет 1 км и менее) пространственным разрешением, в том числе для малых водных объектов, например, для внутренних водоемов. В работах [1, 2] были исследованы особенности развития поверхностного волнения на коротких разгонах, типичных для условий внутренних водоемов, на основе адаптации глобальных волновых моделей, например, WAVEWATCH III (WW3), к условиям внутренних водоемов. Соответствующая региональная адаптация атмосферной модели WRF представлена в работе [3]. Дальнейшее повышение точности расчетов связано с комплексным учетом взаимовлияния атмосферы и гидросферы, а именно с использованием адаптированных и сопряженных между собой моделей. Это новое направление исследования, реализованное, например, в [4], обозначаемое как «связанные» модели, “coupled models”. Ветровые волны влияют на приповерхностный ветер и потоки тепла посредством шероховатости поверхности, а на шероховатость поверхности, в свою очередь, влияют параметры атмосферы.

Было выполнено сопряжение атмосферной модели WRF и волновой модели WW3 для условий территории, содержащей Горьковское водохранилище. Сопряжение моделей WW3 и WRF было реализовано при помощи программного пакета OASIS [5], который был модифицирован для возможности обмена параметром Чарнока между моделями. Параметр Чарнока отвечает за шероховатость поверхности воды и может быть использован для более точного прогнозирования не в качестве постоянной величины, а в виде изменяющегося во времени параметра. Модификация исходного кода моделей состояла в добавлении возможности обмена параметром Чарнока со сторонними моделями, а также возможности обмена значениями скоростей ветра на стандартной метеорологической высоте 10 м между моделями. Значения этих параметров, получаемые в одной из моделей, принимаются другой на каждом шаге по времени и используются вместо начальных данных, таким образом создается обратная связь между моделями.

В данной работе приводятся предварительные результаты расчета скорости ветра при помощи атмосферной модели, сопряженной с волновой. Проводилось сравнение скорости и направления ветра, полученные в точке измерений, из четырех источников. Во-первых, данные измерений *in-situ*, проведенные в тестовый день. Во-вторых, данные реанализа CFSv2 самого высокого пространственного разрешения $\sim 0,2^\circ$, доступного на сегодняшний день. В-третьих, был произведен расчет моделью WRF. Выбор параметризации планетарного пограничного слоя был сделан в пользу вихреразрешающего моделирования (LES), которая предназначена для использования в случаях высокого разрешения для захвата развивающейся трехмерной турбулентности или потоков в сложной местности.

В-четвертых, проводилась процедура сопряжения моделей. Скорость ветра, рассчитанная при помощи вихреразрешающего моделирования в WRF, использовалась как "форсинг" волновой модели WW3. Полученные при расчете волновой моделью значения параметра Чарнока принимались и усваивались в последующем расчете моделью WRF на каждом шаге по времени.

Сравнение поведения скорости и направления ветра на стандартной метеорологической высоте 10 м показывает, что использование рассмотренных расчетов WRF лучше согласуется с экспериментом, чем прямое использование реанализа. Расчеты WRF LES показали хорошую временную изменчивость, отвечающую in-situ наблюдениям для рассмотренного тестового дня, как для модуля скорости, так и для ее направления. Расчеты WRF LES, прошедшие через сопряжение с волновой моделью WW3 ("coupled"), показали лучшую временную изменчивость расчета модуля скорости ветра, так как экстремумы скорости совпадали с измеренными. Значения индекса рассеяния модуля скорости при расчетах WRF LES и WRF LES ("coupled") были примерно равны и составили ~15%. При этом значение направлений скорости ветра для WRF LES ("coupled") обладает большим отклонением от данных измерений (~20°) против WRF LES (~10°). Однако для данных реанализа аналогичные параметры составляют ~15% для модуля скорости и 5° для направления. Предварительные результаты позволяют утверждать, что обмен параметрами на каждом шаге расчетов обеих моделей позволил увеличить точность расчетов и снизить зависимость результатов моделирования от входных данных реанализа. Однако для подтверждения этих предположений потребуются последующие эксперименты, набор статистики.

Работа поддержана грантом РФФ № 19-17-00209.

Список литературы

- 1) Kuznetsova A.M., Baydakov G.A., Papko V.V., Kandaurov A.A., Vdovin M.I., Sergeev D.A., Troitskaya Yu. I. Adjusting of wind input source term in WAVEWATCH III model for the middle-sized water body on the basis of the field experiment // *Advances in Meteorology*. 2016. Vol. 1. P. 1-13.
- 2) Кузнецова А.М., Досаев А.С., Байдаков Г.А., Сергеев Д.А., Троицкая Ю.И. Адаптация параметризации нелинейного переноса энергии для случая коротких разгонов в модели прогноза волнения WAVEWATCH III // *Известия РАН. ФАО*. 2020. Т. 56. № 2. С. 1–10.
- 3) Kuznetsova A., Baydakov G., Sergeev D., Troitskaya Yu. High-resolution waves and weather forecasts using adapted WAVEWATCH III and WRF models // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1163. P. 012031.
- 4) Chen S.S., Zhao W., Donelan M.A., Tolman H.L. Directional wind-wave coupling in fully coupled atmosphere-wave-ocean models: Results from CBLAST-Hurricane // *Journal of the Atmospheric Sciences*. 2013. Vol. 70. P. 3198-3215.
- 5) Craig A., Valcke S., Coquart L. Development and performance of a new version of the OASIS coupler, OASIS3-MCT_3.0 // *Geoscientific Model Development*. 2017. Vol. 10. № 9. P. 3297-3308.

МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТРАНСФОРМАЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД МИРОВОГО ОКЕАНА В ПЕРИОД С 1979 ПО 2018 ГОД

Кукушкин В.М., Маркина М.Ю., Гулев С.К.

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

vovakuk@sail.msk.ru

Ключевые слова: трансформация водных масс, климат, взаимодействие океана и атмосферы.

Величина трансформации поверхностных вод характеризует интенсивность процессов теплообмена между океаном и атмосферой, и таким образом, играет важную роль для всей климатической системы. В данной работе трансформация вод характеризуется потоком плотности [1] (величиной, обратной потоку плавучести), которая характеризует изменение плотности поверхностных вод вследствие взаимодействия океана и атмосферы. Потоки плотности рассчитаны с использованием данных о потоках тепла и пресной воды из реанализов NCEP CFSR и NCEP CFSv2. Расчёт величины среднемесячной трансформации производится путем интегрирования вдоль изопикны по времени и пространству величин потоков плотности [2]. Таким образом получается величина, характеризующая величину потока плотности для вод определенной плотности. Это дает возможность проводить анализ трансформаций конкретных поверхностных водных масс. Такой расчет был произведен отдельно для различных регионов Мирового океана. Получено, что соленостная составляющая общего потока плотности имеет важное значение для регионов с наибольшим количеством осадков, в то время как в других регионах величина потока плотности определяется термической составляющей. Для каждого региона Мирового океана выделен характерный сезонный ход трансформации вод и обсуждаются механизмы межгодовой изменчивости потоков плотности и трансформации водных масс и их соотношение с региональными индексами осцилляции. 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.

Исследование выполнено в рамках соглашения № 05.604.21.0210 "Прототип системы мониторинга океана в субполярной Северной Атлантике для прогнозирования климатической изменчивости" (The prototype of the ocean monitoring system in the subpolar North Atlantic for climate predications).

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.

СПЕКТР ИЗМЕНЧИВОСТИ УРОВНЯ В ОТКРЫТОЙ ЧАСТИ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ С ПЕРИОДАМИ ОТ СЕКУНД ДО ГОДА ПО ДАННЫМ АВТОНОМНОГО РЕГИСТРАТОРА ВОЛНЕНИЯ (АРВ)

Куликов М.Е.¹, Крылов А.А.^{1,2}, Куликов Е.А.¹, Медведев И.П.¹, Ковалев П.Д.³

¹Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, г. Москва

²Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный

³Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск

meksonesk@gmail.com

Ключевые слова: автономный регистратор волнения, спектр колебаний уровня моря, море Лаптевых, приливы, нагоны.

Во время рейса на судне "Академик Мстислав Келдыш" (АМК-78) отрядом сейсмологии проводилось поднятие станций для долговременного мониторинга сейсмических событий на шельфе моря Лаптевых, установленных там во время рейса АМК-73. Вместе с одной из сейсмологических станций был поднят автономный регистратор волнения АРВ-К14-1, предназначенный для периодической регистрации абсолютного давления и температуры морской воды.

Прибор оснащен кварцевым барочувствительным элементом, мембрана которого прогибается от воздействия давления столба жидкости, деформируя закрепленный на ней силочувствительный пьезоэлемент. В результате этого изменяется частота собственных колебаний пьезоэлемента, и при подстановке в известную функцию вычисляется давление измеряемой среды. Регистратор также оснащен системой температурной компенсации, что позволяет одновременно с давлением измерять температуру жидкости. Он был запрограммирован на ежесекундную запись значений давления. Автономность работы прибора составляет более 3 лет, однако в условиях низких температур на дне моря Лаптевых реальная энергоемкость батарей заметно меньше.

Данные, полученные с АРВ, позволили построить спектр колебаний уровня моря на периодах от ветровых волн до периодов синоптического масштаба времени (порядка 1-10 суток). Также был проведен анализ структуры основных гармонических постоянных прилива. Был оценен вклад периодических и остаточных колебаний уровня моря в общую дисперсию этих колебаний. Новизна исследования заключается в том, что до этого колебания уровня исследовались лишь в прибрежной части моря Лаптевых, тогда как измерения в открытой части моря позволят уточнить котидальные карты приливных волн, оценить влияние льда на колебания уровня моря на разных частотах.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема №0149-2019-0005) и при поддержке грантов РФФИ №18-05-60250 и №20-05-00533.

Список литературы

- 1) Малов В.В. Пьезорезонансные датчики. – М.: Энергоатомиздат. 1989. 272 с.
- 2) Kovalev P.D., Shevchenko G. V., Kovalev D.P. Research of peculiarities of a currents field in the southern part of the Kuril islands // The 16th international symposium on Okhotsk sea & sea ice. Japan; Mombetsu. 2001. P. 334-338.
- 3) Kulikov M.E., Medvedev I.P., Kondrin A.T. Seasonal variability of tides in the Arctic Seas // Russ. J. Earth. Sci. Vol. 18. 2018. ES5003. doi:10.2205/2018ES000633

ОСОБЕННОСТИ ПРИЛИВОВ В МОРЯХ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ ПО ДАННЫМ МОДЕЛИ АОТИМ-5

Куликов М.Е.¹, Медведев И.П.¹

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

meksonesk@gmail.com

Ключевые слова: приливы, АОТИМ-5, численная модель, российская Арктика.

В Северном-Ледовитом океане преобладают полусуточные приливы, которые проникают в акваторию океана из Атлантического океана. В моря, омывающие российское побережье Арктики, полусуточная приливная волна проникает двумя путями - с запада, вдоль побережья Баренцева и Карского морей, и с севера, через акваторию Арктического бассейна. Частично приливы проникают из акватории Тихого океана через Берингов пролив в Чукотское море. Суточный прилив, в отличие от полусуточного, является в основном собственным и формируется непосредственно в акватории Северного-Ледовитого океана [1, 2].

Приливные колебания уровня наблюдаются во всех морях Арктики. Наибольшей величины в российской Арктике приливы достигают в Белом море - до 9.8 м в сизигию [3]. В направлении с запада на восток вдоль побережья морей Сибирского континентального шельфа высота прилива уменьшается. Так, в морях восточного сектора Арктики (Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское моря) величина приливных колебаний практически нигде не превышает 1-1.5 м. Однако их вклад в суммарные колебания уровня моря остается значительным. Больших значений (до 2 м/с и более) в отдельных акваториях, могут достигать и приливные течения.

Современное состояние сети прибрежных станций наблюдений за уровнем в арктических морях России оставляет желать лучшего: имеются лишь эпизодические наблюдения с большими пропусками и ошибками на ограниченном количестве станций. В связи с этим появляется необходимость в численном моделировании приливов и приливных течений в арктических морях России. Среди моделей, воспроизводящих приливные колебания уровня моря в арктической области, лучший результат показывает модель АОТИМ-5 (Arctic Ocean Tide Inverse Model). Она представляет собой модель приливов, рассчитанную по 12 значимым гармоникам (M_2 , S_2 , N_2 , K_2 , K_1 , O_1 , P_1 , Q_1 , а также M_4 , MS_4 , MN_4 и $2N_2$ в обновленной версии 2018 года). Расчетная сетка в полярной стереографической проекции с использованием 5-километрового шага покрывает всю область Северного Ледовитого океана. Точность четырех наиболее энергичных составляющих (M_2 , S_2 , O_1 и K_1) была улучшена за счет ассимиляции данных *in situ* и спутниковой альтиметрии [4].

Таким образом, благодаря модели АОТИМ-5 становится возможной оценка приливных колебаний уровня моря в Арктике. В исследовании проверяется также точность воспроизведения моделью приливов для отдельных акваторий (заливы, бухты, проливы) морей. Помимо оценки и сравнения между моделью и натурными измерениями, характеристик основных гармонических постоянных, оцениваются и сравниваются также и негармонические характеристики прилива (например, сизигийный прилив), что имеет важную практическую значимость.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0149-2019-0005) и при поддержке гранта РФФИ № 18-05-60250

Список литературы

- 1) Defant A. Physical oceanography. Vol. 1. – Oxford: Pergamon Press. 1961. 729 p.
- 2) Прощутинский А.Ю. Колебания уровня Северного ледовитого океана. – СПб.: Гидрометеоздат. 1993. 216 с.
- 3) Демиденко Н.А. Гидрологический режим Мезенского залива и эстуариев Мезени и Кулоя. Система Белого моря. – М.: Науч. мир. 2012. т. 3. с. 411–432.

- 4) Padman L., Erofeeva S. A barotropic inverse tidal model for the Arctic Ocean // Geophysical Res. Lett. Vol. 31. 2004. L02303. doi: 10.1029/2003GL019003.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ И ПРИЛИВНЫХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ

Куликов М.Е.¹, Медведев И.П.¹, Архипкин В.С.²

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

² *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва*

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 акваториях моря Лаптевых [1]. Учет возможных величин уровня моря важен при проектировании строительства на шельфе и берегу моря, а также судоходства и 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) [2, 3]. 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 акваторий, учитывая их локальные особенности.

Данная работа призвана заполнить этот пробел и получить обширные статистические данные по штормовым нагонам и приливам в акватории моря Лаптевых. В настоящем исследовании рассмотрены результаты численного моделирования колебаний уровня моря с помощью гидродинамической модели ADCIRC [4]. 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 [5]. Включены основные суточные и полусуточные приливные гармоники: M_2 , S_2 , O_1 , K_1 , N_2 , K_2 , Q_1 , P_1 . 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 более чем 11 тысяч 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 2010 гг. 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 стоны), 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. Учет приливов дал возможность провести статистический 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.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0149-2019-0005) и при поддержке гранта РФФИ № 18-05-60250.

Список литературы

- 1) Советская Арктика. моря и острова Северного Ледовитого океана / под ред. И.П. Герасимова, – М.: Наука, 1970. 525 с.
- 2) Кондрин А.Т. Формирование штормовых нагонов в Белом море // Вестн. Моск. ун-та. Серия 5. География. 2016. № 6. С. 33-40.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 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.

ЛАБОРАТОРНОЕ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИСКЛОНОВЫХ КОНВЕКТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ

Куприянова А.Е.^{1,2}, Гриценко В.А.²

¹Балтийский федеральный университет им. И.Канта, г. Калининград

²Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, г. Москва

UNITED_jemelt8@mail.ru

Ключевые слова: сезонная конвекция, выхолаживание с поверхности, плавучесть, термик, трансформация формы, вдольсклоновое течение, численная модель.

Основные черты процесса выхолаживания прибрежных вод с поверхности в осенне-зимний период хорошо известны [1, 3, 5]. В семидесятые годы [4, 5] были выполнены многочисленные экспериментальные исследования, обеспечившие получение ряда оценок и эмпирических зависимостей об изменчивости приповерхностного слоя моря. Обобщение результатов вместе с аналитическими моделями позволили сформулировать основные черты выхолаживания воды с поверхности [4, 5]. В рамках выполненных исследований [5, 6] обычно рассматривались два основных механизма переноса холода с поверхности в глубину, а именно, перенос стохастическим ансамблем термиков с отрицательной плавучестью [4], или периодически возникающими языками вдольсклоновых течений [4 - 6]. Очевидная структурно-функциональная сложность процесса теплообмена на границе воздух-вода поддерживает интерес к изучению приповерхностной конвекции в прибрежной зоне моря.

Цель данной работы заключалась в исследовании основных черт сезонной конвекции в прибрежных водах при помощи лабораторных и численных экспериментов.

Для погружающихся объемов воды с большей плотностью, чем у окружающей, часто [1, 3 - 6] используется термин «термик» с отрицательной плавучестью. Несмотря на солёностный вариант создания отрицательной плавучести в лабораторных и численных экспериментах и ввиду отсутствия аналогичного варианта для случая солёностного агента стратификации именно этот термин - «термик» - и будет далее использоваться в данной работе.

Лабораторные эксперименты выполнялись в гидрлотке лаборатории физики моря Атлантического отделения института океанологии им.П.П.Ширшова РАН (г. Калининград). Лабораторная установка представляет собой металлический каркас с боковыми стенками из витринного стекла (8 мм) и обеспечивает проведение экспериментов в объеме воды с размерами 80 x 60 x 12.5 см. В зависимости от типа решаемой задачи на поверхности пресной воды формировался либо каплевидный объем соленой воды («термик») в 1-2 мл, либо тонкая пластинка из соленой воды того же объема с толщиной в 1-2 мм, с избыточной плотностью, в обоих случаях, порядка 10^{-4} - $5 \cdot 10^{-5}$ г/см³. Малые величины отрицательной плавучести и, соответственно, малые скорости погружения более тяжелой (соленой) воды и эволюции течения в целом позволили выполнить процедуру регистрации течений при помощи цифровых зеркальных фотоаппаратов Nikon или Sony с наборами дополнительной оптики. Подсветка течений выполнялась набором светодиодных ламп.

Типичный вид трансформации начальной формы конечных объемов соленой воды в обоих вариантах задания (капля, пластинка), наблюдаемый в экспериментах, вполне соответствовал имеющимся представлениям о такого рода течениях [3 - 5]. В зависимости от начальных условий (капля, пластинка) формировался либо изолированный термик, либо случайная совокупность малых термиков («дождик»). При наличии быстро достижимого склона дна единичный термик или совокупность малых термиков порождали возникновение вдольсклонового стратифицированного по плотности течения.

Грубые количественные оценки скорости погружения термиков по их пространственному положению и времени фиксации на снимках дали разумные величины в 3-5 мм/сек, вполне согласующиеся с оценками других авторов [1, 3 - 5]. Следует отметить, что в процессе экспериментов

удалось получить все ранее наблюдаемые фазы трансформации конечного объема соленой воды в форме «капли» или «пластинки».

Вторым инструментом исследований стала нелинейная двумерная модель динамики неоднородной по плотности жидкости [2]. Использование 2d-модели обеспечило высокое пространственное разрешение динамики жидкости в вертикальной плоскости [1, 3 - 6] столь необходимое при исследовании конвективных процессов. Малые скорости погружения соленой воды позволили учесть слаботурбулентный характер перемешивания при помощи простой схемы эффективной вязкости. Вполне традиционная система уравнений модели для завихренности, плотности и функции тока была дополнена тремя уравнениями для пассивных трассеров нейтральной плавучести, позволивших выполнять детализацию поведения конкретных объемов воды.

Отрицательная плавучесть выбранного объема воды в расчетах обеспечивалась «добавкой» соли. Все модельные поля задавались на сетке размерностью 601 x 801. Характерные масштабы расчетных течений изменялись в диапазонах: линейный $\sim 1-8$ см, перепада плотности $\sim 0,00025-0,001$ г/см³, скорости $\sim 0,5-3,0$ см/с, эффективной вязкости $\sim 0.1-0.3$ см²/с.

Полученные в расчетах распределения завихренности и функции тока показали вихревой характер течений, отчетливо наблюдаемый в лабораторных экспериментах. Полученные этапы эволюции распределений избыточной плотности (солености) расчетных течений, на качественном уровне, удовлетворительно воспроизвели обычно наблюдаемые черты погружения объемов воды с отрицательной плавучестью с поверхности в лабораторных экспериментах [3 - 5]. Использование набора дополнительных трассеров нейтральной плавучести позволило визуализировать особенности процессов вовлечения и перемешивания в приповерхностном слое воды. Общая картина эволюции основных расчётных полей вполне соответствует имеющимся представлениям о конвективных процессах [1, 3 - 5].

Таким образом, при помощи лабораторных и численных экспериментов выполнено исследование особенностей динамики приповерхностного слоя воды, возникающей при выхолаживании воды с ее поверхности в условиях наличия склона дна.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-05-00717 (лабораторные эксперименты) и госзадания № 0149-2019-0013 (модельные расчеты).

Список литературы

- 1) Боуден К. Физическая океанография прибрежных вод. М.: Мир, 1988. 324 с.
- 2) Гриценко В.А., Юрова А.А. О распространении придонного гравитационного течения по крутому склону дна // Океанология. 1997. Т. 37. № 1. С. 44–49.
- 3) Тернер Дж. Эффекты плавучести в жидкости. М.МИР. 1977. 431 с.
- 4) Федоров К.Н. О физической структуре приповерхностного слоя океана // Метеорология и гидрология. 1981. № 10. С. 58-66.
- 5) Федоров К.Н., Гинзбург А.И. Приповерхностный слой океана. Л: Гидрометеиздат. 1988. 303 с.
- 6) Чубаренко И.П. Горизонтальная конвекция над подводными склонами. Калининград: Терра Балтика, 2010. 256 с.

ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ УРОВНЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Лактионов П.П., Малинин В.Н.

*Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург
pashalaktionoff@yandex.ru*

Ключевые слова: уровень Каспийского моря, сток Волги, Северная Атлантика, энергоактивные зоны, множественная линейная регрессия.

В работе исследуется пространственно-временная изменчивость уровня Каспийского моря, выявляется связь между суммарным тепловым балансом энергоактивных зон океана (далее ЭАЗО) в Северной Атлантике и уровнем Каспия, выявленная связь используется для составления долгосрочного (с заблаговременностью на 1 и 2 года) прогноза уровня.

Малининым В.Н. была предложена [1] приближенная генетическая концепция формирования межгодовых колебаний увлажнения поверхности суши европейской территории России. Если в результате взаимодействия процессов крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы в Северно-Атлантическом океане усиливается зональный перенос водяного пара на континент, включая европейскую территорию России, то соответственно, большее количество осадков выпадает в бассейне р. Волги, что усиливает увлажнение и приводит к повышению годового стока, что ведет в свою очередь к повышению уровня Каспийского моря. Наибольшее испарение имеет место ЭАЗО, причем вклад испарения в суммарную теплоотдачу является определяющим.

Вначале работы было выполнено физико-географическое описание района и дан обзор временной изменчивости уровня Каспийского моря со времени первого инструментального измерения по современный период. По литературным источникам был изучен генезис формирования межгодовых колебаний уровня Каспийского моря, сделан вывод о несомненной связи между теплоотдачей Северной Атлантики на климат и погоду водосборного бассейна Каспия. Количество выпадающих в бассейне Волги осадков в холодный период года прямо пропорционально интенсивности адвективного переноса водяного пара, обусловленного процессами общей циркуляции атмосферы. Испарение с акватории Северной Атлантики является единственным источником выпадения осадков на европейской территории России в холодный период года и главным - в теплый период.

Для оценки связи между ЭАЗО и годовыми значениями уровня Каспийского моря были взяты данные значений P (турбулентные потоки тепла) и LE (затраты тепла на испарение) из архива NCEP-DOE Atmospheric Model Intercomparison Project (AMIP-II) reanalysis (Reanalysis-2). Из данного архива выбирались среднемесячные значения турбулентного потока тепла из океана в атмосферу и затрат тепла на испарение за период 1980-2009 гг. Данные по стоку и уровню Каспийского моря были взяты из работ [1, 2]. Была выявлена хорошая взаимосвязь между данными суммарной теплоотдачи в энергоактивных зонах Северной Атлантики (Бермудской, Ньюфаундлендской и Норвежской) и показателями стока Волги, а, следовательно, и уровнем Каспийского моря.

Основным статистическим методом исследования послужила модель множественной линейной регрессии. Была разработана статистическая прогностическая модель уровня Каспия с заблаговременностью в 1 и 2 года, в которой предикторами являются данные о суммарной теплоотдаче Северной Атлантики за предыдущий год. Хорошее согласование по фактическими и вычисленными данными значений уровня Каспия ($R^2=0,74-0,95$) свидетельствует о высоком качестве прогностической модели, и, следовательно, этой моделью можно пользоваться в качестве основной при прогнозе УКМ на год и два.

Список литературы

- 1) Гордеева С.М., Малинин В.Н. О предвычислении годового стока крупных рек Европейской территории России на основе метода деревьев решений (decision trees) // Ученые записки РГГМУ. 2018. № 50. С. 53-65.

- 2) Малинин В.Н. Долгосрочное прогнозирование уровня Каспийского моря // Известия РАН, Серия географическая. 2009. № 6. С. 7-16.

АРКТИЧЕСКОЕ УСИЛЕНИЕ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ, РЕАНАЛИЗОВ И КЛИМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Латонин М.М.^{1,2}, Бобылев Л.П.², Башмачников И.Л.^{1,2}, Дэви Р.³

¹Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра океанологии, г. Санкт-Петербург

²Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена, г. Санкт-Петербург

³Центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена, г. Берген, Норвегия
mikhail.latonin@gmail.com

Ключевые слова: Арктика, потепление климата, климатические модели, приземная температура воздуха, долгосрочная изменчивость климата, арктическое усиление, внешние воздействия.

Являясь региональным проявлением полярного усиления в Северном полушарии, арктическое усиление - одно из ключевых явлений климатической системы Земли. В настоящий момент оно характеризуется более быстрым ростом приземной температуры воздуха в Арктике по сравнению с глобальным средним для Северного полушария или всего Земного шара. Главная цель данного исследования - оценить, насколько хорошо воспроизводится арктическое усиление в базах данных, полученных различными способами: данные наблюдений, интерполированные на регулярную сетку (GISTEMP v4, Berkeley Earth, NansenSAT и HadCRUT4), модельные результаты с ассимиляцией данных наблюдений (реанализы, такие как ERA-20C, JRA-55, ERA-Interim) и выходные данные глобальных климатических моделей из международного проекта CMIP5. Особое внимание уделяется способности климатических моделей воспроизводить известные по данным наблюдений периоды арктического усиления, включая потепление 1920-1940 гг. и похолодание 1960-1970 гг. Для проведения оценок были рассчитаны метрики арктического усиления, основанные на сравнении аномалий приземной температуры воздуха в Арктическом регионе и Северном полушарии. В различных формах эти методы представлены в [1-4] и обобщены в [5].

Показано, что все базы данных наблюдений воспроизводят в 20-м и 21-м столетиях три периода арктического усиления: положительную фазу в 1920-1940 гг., отрицательную в 1960-1970 гг. и современную положительную, которая началась в начале 80-х годов прошлого столетия и продолжается до сих пор. При этом, данные реанализа существенно недооценивают потепление в начале 20-го века, отлично согласуясь с данными наблюдений для двух других периодов. Климатические модели в историческом эксперименте, включающем в себя как естественные, так и антропогенные внешние воздействия, успешно выявляют только современный период арктического усиления, который во многом связан с внешними радиационными воздействиями. Предположительно это связано с тем, что модели некорректно воспроизводят некоторые процессы долгосрочной естественной изменчивости климата. В доиндустриальном контрольном эксперименте арктическое усиление отсутствует как явление, что говорит о важности внешних воздействий для его возникновения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-35-90083.

Список литературы

- 1) Bekryaev R.V., Polyakov I.V., and Alexeev V.A. Role of Polar Amplification in Long-Term Surface Air Temperature Variations and Modern Arctic Warming // J. Climate. 2010. V. 23. P. 3888-3906. DOI: 10.1175/2010JCLI3297.1.
- 2) Kobashi T., Shindell D.T., Kodera K., Box J.E., Nakaegawa T., and Kawamura K. On the origin of multidecadal to centennial Greenland temperature anomalies over the past 800 years // Clim. Past. V. 9. 2013. P. 583-596. DOI: 10.5194/cp-9-583-2013.

- 3) Francis J.A. and Vavrus S.J. Evidence for a wavier jet stream in response to rapid Arctic warming // *Environ. Res. Lett.* 2015. V. 10. P. 1-12 DOI: 10.1088/1748-9326/10/1/014005.
- 4) Johannessen O.M., Kuzmina S.I., Bobylev L.P., and Miles M.W. Surface air temperature variability and trends in the Arctic: new amplification assessment and regionalization // *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*. 2016. V. 68. P. 1-12 DOI: 10.3402/tellusa.v68.28234.
- 5) Davy R., Chen L., Hanna E. Arctic amplification metrics // *Int. J. Climatol.* 2018. V. 38. P. 4384-4394. DOI: 10.1002/joc.5675.

ПОЛУЧЕНИЕ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСПРОСТРАНЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ ДРОНОВ

Левашов С.Д.

*Управление камерального мониторинга ГБУ "МКМЦН", Государственная Инспекция по Недвижимости,
правительство г.Москвы*

Sergey.D.Levashov@gmail.com

Ключевые слова: дистанционное зондирование, БПЛА, гиперспектральная съемка.

Связанные с космической съемкой ограничения известны: это часто недостаточная разрешающая способность, длительное время до повторной съемки того же места, зависимость от метеоусловий, влияние атмосферы. В случае относительно локальных задач использование дронов позволяет обойти эти ограничения, получить гораздо более детальные снимки, исключить влияние атмосферы и частично погодных условий, получать изображения именно тогда, когда это требуется. Тогда как спутниковые данные в различных спектральных каналах уже давно используются для определения концентрации хлорофилла, растворенной органики, пленочных загрязнений поверхности, прибрежной батиметрии и многих других задач, получение тех же данных, но в более локальном масштабе с минимальной высоты и в большем разрешении пока является новой технологией, потенциал которой еще далеко не раскрыт. Дроны с мультиспектральными камерами, позволяющими получать изображения в нескольких спектральных диапазонах, становятся все более доступными, появляются профессиональные решения для получения гиперспектральных изображений, отличающихся гораздо большим спектральным разрешением и количеством узких спектральных диапазонов (Adao T. et al. 2017). Дешевым решением для получения в исследовательских целях гиперспектральных изображений с высоким пространственным разрешением может оказаться простой спектроскоп, спроектированный так, чтобы проецировать спектр на стандартную камеру, находящуюся на стабилизированном подвесе квадрокоптера, выполняющего полет по заданному маршруту.

Для проверки возможности получения гиперспектральных изображений с относительно небольшими затратами был выбран квадрокоптер DJI Phantom 3 Advanced/Professional со стабилизирующим подвесом для камеры, позволяющим удерживать направление и угол съемки. Так как спектроскоп должен быть совмещен с камерой, он должен быть не просто очень маленький, но и очень легкий, чтобы моторы подвеса камеры могли продолжать удерживать конструкцию в требуемом положении. По этой причине была выбрана простая схема спектроскопа, состоящая из легкого корпуса и дифракционной решетки, роль которой играл записываемый слой DVD-диска (с шагом 0.74мкм). Оптическая схема и корпус спектроскопа с креплением на камеру были рассчитаны и смоделированы в ПО Компас-3D в виде, удобном для печати на FDM принтере. Корпус был напечатан черным матовым PLA пластиком. Вес вместе с решеткой составил всего 18 грамм, что было достаточно для работы подвеса без перегрева стабилизирующих моторов. Повторить опыт можно скачав модель для печати корпуса спектроскопа для камер Phantom 3 Advanced или Professional на 3D-принтере, которая выложена в свободный доступ на Thingiverse [2].

Свет, проходящий через входную щель спектроскопа, формирует спектральную картину, соответствующую полосе на местности, перпендикулярной полету с шириной, зависящей от высоты полета и наклона камеры. Таким образом, перпендикулярная направлению полета линия развернута в двумерный массив, описываемый изображением, где координаты по горизонтали соответствуют точкам на местности, координаты по вертикали соответствуют длине волны, а яркость

точки соответствует интенсивности излучения с учетом чувствительности матрицы камеры для соответствующей длины волны. Если квадрокоптер равномерно движется вперед, то каждый изменяющийся кадр будет описывать каждую последующую поперечную линию на местности. По аналогии с Push-broom сканированием на настоящих спутниках. Таким образом, непрерывно записывая видео, мы получаем трехмерный массив данных, который можно развернуть и сделать срез по ширине и времени, получив изображение подстилающей поверхности в желаемом спектре. У одной из используемых камер был удален встроенный ИК-фильтр для расширения диапазона работы камеры в районе 1000 нм, что позволяет существенно расширить спектр решаемых задач.

Испытательные полеты проводились над Таманским заливом на базе Патрейской археологической экспедиции Государственного исторического музея. при скорости ветра не более 5 м/с в солнечную погоду без облачности. Полет проходил рядом с берегом в разных направлениях, как вдоль, так и перпендикулярно береговой линии, маршрут был повторен с использованием обычной камеры. Настройки съемки были выставлены в ручную и не менялись в процессе полета. Перед взлетом под спектрометр был подложен стандартный белый лист бумаги, равномерно освещенный солнцем для определения максимально возможной яркости и выставления соответствующих настроек чувствительности. Увидеть совмещенное видео результатов пролета можно на YouTube [3]. Для обработки результатов полета была написана программа на языке Python, позволяющая обработать полученное видео, разделить по кадрам, вырезать участок, содержащий спектральный рисунок, разделить на спектры и сформировать трехмерный массив с данными. Все полученные яркости приводились к долям от максимальной полученной яркости по равномерно освещенному солнцем белому листу, по подобию с RRS (Remote Sensing Reflectance). Результатом работы программы является цветное изображение, где на три канала (RGB) можно назначить любые интересующие длины волн и получить PNG изображение отсканированной поверхности. Исходный код можно получить на GitHub [4]. Дальнейшим этапом в этой работе остается интерпретация изображения и оценка возможности использования получаемых данных в задачах исследования водных ресурсов. Это будет возможно после завершения работы над координатной привязкой получаемых данных. С таким низким бюджетом и простотой исполнения точность далека от космических стандартов, но и измерения проводятся в 50-200 метрах над поверхностью, при обработке не требуется учитывать искажающее влияние атмосферы.

Список литературы

- 1) Adão T. et al. Hyperspectral imaging: A review on UAV-based sensors, data processing and applications for agriculture and forestry //Remote Sensing. – 2017. – Т. 9. – №. 11. – С. 1110.
- 2) Spectrometer body for DJI Phantom 3 camera [электронный ресурс] / С.Левашов - режим доступа : <https://www.thingiverse.com/thing:3946854> - Дата обращения: 15.01.2020
- 3) 2019 Jul 28 Taman bay hyperspectral test [электронный ресурс] / С.Левашов - режим доступа : <https://youtu.be/U0nkB1stXz4> - Дата обращения: 15.01.2020
- 4) Processing drone spectral video to compile hyperspectral image [электронный ресурс] / С.Левашов - режим доступа : <https://github.com/SergeyDLevashov/Spectro> - Дата обращения: 15.01.2020

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ЧЕРНОГО МОРЯ С АССИМИЛЯЦИЕЙ В МОДЕЛИ ПОВЕРХНОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ПСЕВДОИЗМЕРЕНИЙ СОЛЕННОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ

Лишаев П.Н.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

pavellish@mail.ru

Ключевые слова: Реанализ, псевдоизмерения температуры и солёности, температура поверхности моря, Черное море, верхний квазиоднородный слой.

Для достижения достаточной точности восстанавливаемых в реанализе гидрофизических полей, особенно в верхнем 50-метровом слое, необходима ассимиляция в модели спутниковых данных о поверхностной температуре, поскольку в этом слое существенна изменчивость во времени потоков тепла и сказывается несовершенство моделей термодинамики. Для качественной работы алгоритма ассимиляции необходимо правильно определять глубины верхнего перемешанного слоя моря.

В работе [1] глубина верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) определялась по нескольким критериям: температуре и условной плотности (разница между поверхностным значением и на последующих горизонтах $\Delta T < 0,8^\circ\text{C}$ и $\Delta \sigma < 0,125 \text{ кг/м}^3$ соответственно). В [2] глубина перемешанного слоя определялась с использованием формулы Обухова.

Использование критериев из работы [1] для Черного моря дает завышенные значения глубины верхнего перемешанного слоя температуры. Анализ профилей температуры по данным буевпрофиломеров Argo [3] и полученных в прогностическом расчете [4] позволил сформулировать более строгий критерий определения глубины перемешанного слоя:

$$\text{abs}\{[T(z_{k+1}) - T(z_k)] / (z_{k+1} - z_k)\} \leq 0,017 \text{ }^\circ\text{C/м}$$

ТПМ для проведения реанализа бралась из массива РОДААС [5]. Ассимиляция проводилась посредством релаксации модельной температуры к наблюдаемой. Для этого в пределах глубины ВКС в каждой точке сетки находилась разница между значениями спутниковой температуры и модельной температурой, которые с выбранным коэффициентом релаксации учитывались в правой части уравнения переноса тепла в виде источников.

Диаграммы сезонной изменчивости осредненных по площади бассейна значений температуры, построенные для двух численных экспериментов (с ассимиляцией ТПМ и без) показали следующее. Холодозапас вод моря в верхнем 50-метровом слое оказался значительно выше в расчете с ассимиляцией ТПМ, что соответствует данным наблюдений. Анализ среднеквадратических отклонений восстановленных полей температуры относительно измеренных также показал существенное улучшение при ассимиляции данных поверхностной температуры. В зимне-весенний период в слое 0 -20 м СКО уменьшились более чем в два раза (составила порядка $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$).

Подбор критерия для определения глубины верхнего перемешанного слоя выполнен в рамках Госзадания № 0555-2019-0002, анализ результатов численных экспериментов выполнялся по теме № 0827-2019-0002.

Список литературы

- 1) Kara A.B., Helber R.W., Boyer T.P., Elsner J.B. Mixed layer depth in the Aegean, Marmara, Black and Azov Seas: Part I: General features // Journal of Marine Systems. 2009. Vol. 78. P. 169-180.
- 2) Дорофеев В.Л. Ассимиляция спутниковых измерений поверхностной температуры Черного моря в модели циркуляции // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2004. Вып. 11. С. 24-30.

- 3) Argo float data and metadata from Global Data Assembly Centre (Argo GDAC). SEANOE. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://doi.org/10.17882/42182>. (Дата обращения: 15.11.2019).
- 4) Лишаев П.Н., Кныш В.В., Коротаяев Г.К. Восстановление температуры и солёности в верхнем слое Чёрного моря по данным псевдоизмерений на нижележащих горизонтах // Морской гидрофизический журнал. 2019. Т. 35. № 2. С. 114–133.
- 5) Institute of Atmospheric Sciences and Climate (CNR - Rome). 2016. Black Sea High Resolution SST L4 Analysis 0.0625 deg Resolution. Ver. 2.0. PO.DAAC, CA, USA. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://doi.org/10.5067/GHOHN-4GB20>. (Дата обращения: 15.11.2019).

МЕХАНИЗМЫ ДЕГРАДАЦИИ ВСПЕНЕННОГО ПЛАСТИКА В УСЛОВИЯХ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Лобчук О.И., Ефимова И.В., Чубаренко И.П.

Институт океанологии им. П. П. Ширшова Российской Академии Наук, Москва

olga_may87@mail.ru

Ключевые слова: морской мусор, вспененный пластик, разрушение, прибойная зона моря, Балтийское море, Калининградская область.

Повышение туристической привлекательности региона и поддержание качества окружающей среды являются приоритетами развития Калининградской области. В настоящее время Балтийское побережье Калининградской области является одним из активно посещаемых мест Российской Федерации. С нарастанием рекреационной нагрузки на пляжи, с сопутствующей активизацией строительства в прибрежной зоне моря - нарастает и загрязнение морской среды отходами антропогенной деятельности, особенно синтетическими полимерами (пластиками) с исключительно продолжительным периодом деградации в естественных условиях морской среды. Как показали последние исследования, загрязнение частицами пластика морского побережья и самих вод моря является острой проблемой для региона. Необходимо выявлять очаги загрязнения, пути его переноса в прибрежной зоне моря и места накопления; важно проводить экологические и образовательные мероприятия с целью информирования жителей и гостей региона о вреде загрязнения пластиками пляжей и морской акватории.

Загрязнение пляжей и морской среды Калининградской области пластиковыми отходами, в том числе вспененным пластиком является острой региональной проблемой. Показано, что вспененный пластик, широко используемый при строительстве и для упаковки, составляет значительную часть пластикового загрязнения на побережьях Калининградской области; в некоторых странах мира доля вспененных пластиков в настоящее время достигает 50% объёма всего пластикового мусора на побережье. Вспененные пластики в прибрежной зоне моря быстро переносятся ветром и течениями и разрушаются, загрязняя водную толщу, донные осадки, берега и пляжи. Пути переноса и места накопления существенно зависят от времени, в течение которого частицы вспененного пластика теряют плавучесть. Это может происходить в результате механического разрушения пузырьков, биообрастания, агрегации с частицами осадка или органическими веществами, и определяет, как долго частица переносится ветром и поверхностными течениями, когда переходит в водную толщу и где в результате будет отложена в донных осадках.

В результате натурного эксперимента по исследованию процессов разрушения и переноса частиц вспененных пластиков в прибрежной зоне моря получены количественные оценки скорости генерации частиц в результате механического разрушения в прибойной зоне и в результате действия различных механизмов потери плавучести (био-обрастания в водной толще, воздействия ультрафиолетового излучения на пляже, агрегации с частицами осадка, схлопывания формообразующих пузырьков).

Исследования проводятся при поддержке РФФИ и Правительства Калининградской области, грант №19-45-393006 р_мол_а. Обработка проб в лаборатории частично выполнялась в рамках госзадания ИО РАН (тема №0149-2019-0013).

Список литературы

- 1) Ефимова И.В., Чубаренко И.П. Фрагментация пластикового мусора в прибойной зоне моря: лабораторный эксперимент на примере пенополистирола // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2018. Т. 18, вып. 1. С. 10–13. DOI: 10.18500/1819-7663-2018-18-1-10-13.

- 2) Efimova I, Bagaeva M, Bagaev A, Kilesa A and Chubarenko IP (2018) Secondary Microplastics Generation in the Sea Swash Zone With Coarse Bottom Sediments: Laboratory Experiments. *Front. Mar. Sci.* 5:313. doi: 10.3389/fmars.2018.00313.
- 3) Лобчук О.И., Килесо А.В. Присутствие, перенос и накопление частиц вспененных пластиков в прибрежной зоне Балтийского моря // В книге: Моря России: фундаментальные и прикладные исследования Тезисы докладов Всероссийской научной конференции. 2019. С. 226-227.
- 4) Chubarenko I., Efimova I., Bagaeva M., Bagaev A., Isachenko I. On mechanical fragmentation of single-use plastics in the sea swash zone with different types of bottom sediments: Insights from laboratory experiments. *Mar. Pollut. Bull.* 150 (2020) 110726 <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110726>

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ТЕРМОХАЛИННОЙ СТРУКТУРЫ ВОД БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ПОВТОРНЫХ STD ПРОФИЛЕЙ

Лобчук О.И., Чубаренко И.П.

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

olga_may87@mail.ru

Ключевые слова: холодный промежуточный слой, термохалинная структура, ядро ХПС, изменчивость по времени, Балтийское море.

В конце апреля - начале мая, в Балтийском море начинается формирование сезонного термоклина, и в это время отчетливо выделяется в вертикальной структуре вод холодный промежуточный слой. Именно этот период интересен для изучения ХПС тем, что свойства вод еще не изменены никакими внешними процессами [1, 4] (как гидрологическими, так и метеорологическими).

Для изучения изменчивости по времени положения границ ХПС были выбраны данные двух научно-исследовательских рейсов: российского НИС «Профессор Штокман» в центральной и северной частях Балтийского моря (с 23 апреля по 4 мая 2006) и немецкого НИС «Gauss» в южной и центральной частях моря (с 4 по 12 мая 2006 г.). Анализировались данные повторных зондирований на одной станции, что позволяет представить интенсивность изменений характеристик на отдельно взятой станции по времени.

Стандартная станция G213 в рейсе НИС «Gauss» расположена в центральной части Борнхольмского бассейна, зондирования на ней были выполнены дважды - 6 мая (07:04) и 10 мая (7:29), т.е. через четверо суток. Данные показывают, что к 6 мая уже возник сезонный термоклин, т.е. ХПС уже может быть выделен [1, 2, 3], и в течение 4 дней между зондированиями он претерпел серьезные изменения: минимальная температура воды (ядро ХПС) осталась близкой $-1.44 / 1.70$ °С, глубина его залегания увеличилась на 9 м, верхняя граница поднялась с 31 м до 19 м (на 12 м), нижняя опустилась - с 51 до 59 м (на 8 м), так что общая мощность ХПС увеличилась вдвое - с 20 до 40 м.

Стандартная станция G222 (район the Stolpe Channel) была проведена так же повторно, но с существенно меньшим интервалом - всего около 3 часов. Однако изменения структуры вертикальных профилей T,S схожи с наблюдавшимися на ст. G213: верхний квазиоднородный слой (~ 10 м) претерпел минимальные изменения по солёности, температура воды упала на 0.3 °С, несмотря на солнечный прогрев в предполуденные часы. Слой от 10 до 50 м заняли холодные (2.1-5.1 °С) и заметно неоднородные по температуре воды узкого диапазона солёности - 5.9-6.4 psu (те же, что в поверхностном слое станции G213). Ниже 50 м (и до дна) пришли более холодные воды (падение температуры до 3.1 °С на глубине 69 м и до 2.6 °С у дна) с существенно более низкой солёностью.

Из анализируемых данных, можно сделать вывод, что единообразия в изменении параметров ХПС не наблюдается. Мощность ХПС на одной и той же станции, но выполненной в разное время, может изменяться почти вдвое (от 20 до 42 м), ядро ХПС может располагаться в диапазоне от 41 до 50 м. Минимальная температура воды колеблется в небольших пределах - 1.44-1.56 °С, солёность вод ядра лишь незначительно растёт от берега в море - от 7.52 до 7.60.

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 №0149-2019-0013).

Список литературы

- 1) Степанова Н.Б., Чубаренко И.П., Щука С.А. Структура и эволюция холодного промежуточного слоя в юго-восточной части Балтийского моря по данным натуральных измерений 2004-2008 гг. Океанология, 2015, том 55, № 1, С. 32-43. Stepanova N. B., Chubarenko I. P., and S.A.

Shchuka. Structure and Evolution of the Cold Intermediate Layer in the Southeastern Part of the Baltic Sea by the Field Measurement Data of 2004–2008. *Oceanology*, 2015, Vol. 55, No. 1, pp. 25–35.

- 2) Козлова О.И. О возможности вклада адвекции в формирование ХПС Балтийского моря. *Вестник БФУ им. И.Канта*. 2012. № 7. С.156–162.
- 3) Козлова О.И. Характеристики холодного промежуточного слоя в центральной части Балтийского моря после зим различной суровости. *Исследовано в России*. 2010. С. 149-158. (<http://zhurnal.gpi.ru/articles/2010/010.pdf>.)
- 4) Лобчук О.И., Чубаренко И.П. Сравнение пространственных изменений холодного промежуточного слоя Балтийского моря по данным одного года. Тезисы докладов Всероссийской научной конференции «Моря России: фундаментальные и прикладные исследования». 2019. С. 228-230.

ЛЕДЯНОЙ ПОКРОВ ПЕЧОРСКОГО МОРЯ В РАЙОНЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПРИРАЗЛОМНОЕ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Львова Е.В., Заболотских Е.В.

Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург

lvova317@gmail.com

Ключевые слова: Спутниковые микроволновые измерения, сплоченность ледяного покрова, Арктический портал, Печорское море.

Морской лед является одним из главных климатообразующих параметров. Изучение динамики его характеристик является предметом большого количества научных исследований. Из-за труднодоступности полярных регионов и редкой сети полярных метеорологических станций, большое значение в последние годы приобрели дистанционные методы исследования морского льда. Разработка Приразломного месторождения в Печорском море - первый российский проект по добыче углеводородов на шельфе Арктики в сложных условиях дрейфующих ледовых полей. Несмотря на многочисленные исследования, до настоящего времени многие аспекты динамики вод и льдов в данном районе остаются неизученными. В районе платформы совместное действие приливов и дрейфовых течений приводит к увеличению сплоченности льда и торосистости. Восторошенные льды блокируют подходы транспортных судов (танкеров) под погрузку. В некоторые периоды на подходах к платформе образуются скопления льда, вплоть до образования стамух (при глубине места 20 м) [1].

В Арктике в последние годы наблюдается тенденция увеличения температуры воздуха, температуры воды Северного Ледовитого океана, уменьшения толщины и сплоченности льда. Изменения климата влияют на динамику льда и сроки начала его образования и разрушения [2].

Природно-климатические условия Печорского моря определяются не только его высокоширотным положением, но и отепляющим влиянием Северной Атлантики и воздушных масс, поступающих из умеренных широт. Печорское море относится к окраинным морям Полярного бассейна, где наблюдаются сложная динамика вод, восходящие и нисходящие потоки вод и фронтальные зоны, образующиеся в результате смешения речных вод и морских вод атлантического и арктического происхождения. Их взаимодействие обуславливает большую изменчивость метеорологических параметров в течение года [3]. Основными факторами, определяющими ледовый режим Печорского моря, являются: географическое положение; характер атмосферных процессов в осенне-зимний период; морфометрические условия береговой зоны; ледообмен с окружающими морями; речной сток.

В работе на основании спутниковых данных были проанализированы поля ледяного покрова в Печорском море за период с 2003 по 2019 гг. Характеристики ледяного покрова оценивались по полям сплоченности ледяного покрова с разрешением 3,125 на 3,125 км, полученным по данным спутниковых микроволновых радиометров серии Advanced Microwave Scanning Radiometer (AMSR) в университете Бремена с помощью алгоритма ASI. При изучении ледового покрова рассматривались только пространственные характеристики морского льда; возрастные характеристики, а также встречающиеся формы морского льда в Печорском море будут рассмотрены отдельно в следующих работах.

По результатам работы были сделаны следующие выводы:

- Лед покрывает море зимой и вытает летом. Ледообразование начинается в восточной, юго-восточной наиболее мелководной и распресненной части, а затем распространяется в западном, северо-западном направлении.

- Межгодовая изменчивость срока начала ледообразования весьма велика. В более теплые годы становление льда наблюдается в конце ноября - начале декабря, в холодные - в середине октября, в умеренные - в начале ноября.
- Ледовитость также сильно зависит от типа зимы: в теплую зиму к середине декабря замерзает только восточная часть Печорского моря, в юго-западной ледообразование начинается в начале февраля, в северо-западной части наблюдается чистая вода. В умеренные зимы восточная часть замерзает в ноябре, северо-западная часть до середины января имеет чистую воду. В холодные зимы процесс ледообразования происходит интенсивно: к середине ноября замерзает большая часть моря, к концу ноября вся акватория покрывается льдом.

Исследование выполнено при поддержке проекта РНФ "Лёд" № 19-17-00236.

Список литературы

- 1) Сухих Н.А., Зубакин Г.К., Иванов Н.Е., Нестеров А.В.. Структура течений и дрейфа льда в Печорском море // Труды VIII международной научно-практической конференции «Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей». 2014. С. 248-260.
- 2) Gloersen P., Campbell W.J., Cavalieri D.J., Comiso J.C., Parkinson C.L., Zwally H.J. Arctic and antarctic sea ice, 1978-1987: Satellite passive-microwave observations and analysis // Washington D.C.: NASA. 1992. 290 p.
- 3) Романкевич Е. А., Ветров А. А., Никифоров С. Л. Печорское море. Системные исследования (гидрофизика, гидрология, оптика, биология, химия, геология, экология, социоэкономические проблемы) // Москва : Море, 2003. 486 с.

CO-LOCATION МЕТОД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АГУЛЬЯСОВА ПЕРЕНОСА

Малышева А.А.¹, Кубряков А.А.², Колдунов А.В.¹, Белоненко Т.В.¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

²Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

alinamalysheva97@mail.ru

Ключевые слова: уровень океана, альтиметрические измерения, мезомасштабные вихри, волны Россби, Индийский, Атлантический океан, SLA, аномалии уровня океана, ARGO.

Течение Агульяс - главный источник теплой и соленой воды, переносимой из Индийского океана в Атлантику. Вихри течения Агульяс способны преодолевать сотни и даже тысячи километров, сохраняя свои термохалинные характеристики, поэтому они являются ключевым звеном водообмена в южном полушарии [1]. Данное явление получило название Агульясов перенос. Мезомасштабные вихри, образованные течением Агульяс, влияют на Атлантическую меридиональную термохалинную циркуляцию, поэтому получение численных оценок этих явлений крайне важно.

Существуют оценки Агульясова переноса, полученные различными методами: при помощи анализа водных масс, эйлеровых модельных потоков, численных лагранжевых частиц, путем комбинации моделирования и гидрографических оценок, а также с помощью дрейфующих буев [2]. В данной работе мы получаем оценку Агульясова переноса независимым методом, определяя число долгоживущих мезомасштабных вихрей, зародившихся в системе Агульясова течения, дрейфующих на запад, тем самым транспортируя воды с характеристиками Индийского океана к берегам Южной Америки. Мы оцениваем характеристики Агульясова переноса на основе совместного анализа альтиметрических данных и измерений профиломеров ARGO, так называемым методом со-локации. То есть среди всех вихрей Агульясова течения при совместном анализе мы рассматриваем только те из них, которые постоянно перемещаются на запад вместе с буюм ARGO. А также рассматриваем термохалинные характеристики вихрей и показываем, что вихри Агульясова течения, перемещаясь на запад, могут сохранять исходные термохалинные свойства в течение продолжительного времени.

В нашем исследовании были использованы данные массива автоматической идентификации и трекинга вихрей «Mesoscale Eddy Trajectory Atlas Product», доступного на портале <https://www.avisio.altimetry.fr>. При создании этого массива применялся специально разработанный алгоритм идентификации вихрей, основанный на анализе альтиметрических снимков. Также использовались данные дрейфующих буёв-профиломеров Argo, данные абсолютной динамической топографии (ADT), представляющие собой сумму аномалий уровня моря (SLA) и средней динамической топографии (MDT), и данные Атласа Мирового океана (WOA13). Нами анализируются мезомасштабные вихри, сформированные в районе разворота течения Агульяс.

На основе архива «Mesoscale Eddy Trajectory Atlas Product» была получена полная статистика числа вихрей Агульясова переноса в Южной Атлантике в зависимости от года и расстояния от места генерации. Используя совместный анализ данных буев ARGO и архива «Mesoscale Eddy Trajectory Atlas Product», было выделено шесть мезомасштабных долгоживущих вихрей Агульясова течения, которые перемещались вместе с буями ARGO. Для этих вихрей получены средние характеристики и детально проанализирована их вертикальная структура. Показано, что температура и солёность в вихре выше средноклиматических значений на 5 °C и 0,6 соответственно. Так же был рассчитан перенос одним мезомасштабным вихрем течения Агульяс, в среднем он составляет 8,5 Sv. Транспорт тепла и соли одним мезомасштабным вихрем Агульясова течения составляет $2,25 \cdot 10^9$ Вт и $5,36 \cdot 10^5$ кг*с⁻¹ соответственно. Теплосодержание и солесодержание в одном вихре - $2,03 \cdot 10^{15}$ Дж и $4,83 \cdot 10^{11}$ кг, соответственно.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 20-05-00066).

Список литературы

- 1) Doglioli A.M., Blanke B., Speich S., Lapeyre G. Tracking coherent structures in a regional ocean model with wavelet analysis: Application to Cape Basin eddies // J. Geophys. Res. 2007. Vol. 112. P. 05043.
- 2) Richardson P.L. Agulhas leakage into the Atlantic estimated with subsurface floats and surface drifters // Deep-Sea Res. Part I. 2007. Vol.54. № 8. P.1361–1389.

ВЛИЯНИЕ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ОКЕАНА: ОЦЕНКИ НА ОСНОВЕ ИДЕАЛИЗИРОВАННЫХ МОДЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Маркина М.Ю., Стадхолм Д.Х.П., Гулев С.К.

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

markina@sail.msk.ru

Ключевые слова: ветровые волны, вертикальное турбулентное перемешивание, моделирование океана.

Ветровое волнение играет важную роль в формировании турбулентности в верхнем слое океана. В ряде работ показано, что учет ветровых волн в численных моделях приводит к более корректному воспроизведению характеристик перемешивания и уменьшению отклонений температуры поверхности океана в климатических моделях от данных натуральных наблюдений [1-4]. Целью данной работы является исследование механизмов, определяющих изменение вертикального профиля океанских характеристик при учете ветровых волн в модели общей циркуляции океана. В работе проводится анализ результатов численного эксперимента с океанской моделью NEMO в идеализированной конфигурации для аквапланеты с однородной батиметрией. Для создания граничных условий использована атмосферная модель Isca и спектральная волновая модель WAVEWATCH

III. Показано, что наибольший эффект от усвоения ветровых волн в океанской модели наблюдается в экваториальной области, которая в проведенном эксперименте характеризуется наиболее сильными и устойчивыми течениями. В частности, при включении волн наблюдаются отрицательные аномалии зональной компоненты скорости течений по всему вертикальному профилю, связанные с уменьшением величины потока импульса, поступающего из атмосферы в верхний слой океана в присутствии волн. Кроме того, наблюдается отклик термохалинной структуры океана, который вероятно вызван изменением характеристик экваториального апвеллинга в связи с изменением скорости течений. За счет усвоения в модели вертикального профиля дрейфа Стокса в экспериментах с волнением наблюдается более однородный профиль вертикального сдвига скоростей течений, увеличивается глубина пикноклина, и в субэкваториальных районах наблюдается более интенсивное вертикальное перемешивание.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (грант 05.616.21.0120).

Список литературы

- 1) Babanin A. V., Ganopolski A., Phillips W.R.C. Wave-induced upper-ocean mixing in a climate model of intermediate complexity // *Ocean Modelling*. 2009. V. 29. Is. 3. P. 189-197.
- 2) Belcher S.E., Grant A.L.M., Hanley K.E., Fox-Kemper B., Van Roekel L., Sullivan P.P., Large W.G., Brown A., Hines A., Calvert D., Rutgersson A., Pettersson H., Bidlot J.-R., Janssen P.A.E.M., Polton J.A. A global perspective on Langmuir turbulence in the ocean surface boundary layer // *Geophysical Research Letters*. 2012. V. 39. L18605.
- 3) Fan Y., Griffies S. Impacts of Parameterized Langmuir Turbulence and Nonbreaking Wave Mixing in Global Climate Simulations // *Journal of Climate*. 2014. V. 27. P. 4752-4775.
- 4) Li Q., Webb A., Fox-Kemper B., Craig A.P., Danabasoglu G., Large W.G., Vertenstein M. Langmuir mixing effects on global climate: WAVEWATCH III in CESM // *Ocean Modelling*. 2016. V. 103. P. 145-160.

МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ДВУХ ВИДОВ ЛА-НИНЬЯ В ЭКВАТОРИАЛЬНОЙ ЗОНЕ ТИХОГО ОКЕАНА

Марчукова О.В., Воскресенская Е.Н.

Институт природно-технических систем, г. Севастополь

olesjath@mail.ru

Ключевые слова: Ла-Нинья, Тихий океан, Пассаты, апвеллинг, Эль-Ниньо – Южное Колебание, температура поверхности океана.

Одним из важных глобальных процессов межгодового масштаба в системе океан-атмосфера, влияющем на общее состояние климата, окружающей среды и мировой экономики, является феномен Эль-Ниньо - Южное Колебание (ЭНЮК) [1], включающий в себя две фазы: теплую (события Эль-Ниньо) и холодную (события Ла-Нинья). В данной работе речь пойдет об основных физических особенностях формирования событий Ла-Нинья в экваториальной зоне Тихого океана. В целом Ла-Нинья характеризуются экстремальным понижением температуры поверхности океана (ТПО) в экваториальной зоне Тихого океана, ростом индекса южного колебания с типичным масштабом изменчивости от двух до семи лет, что предворяется усилением пассатных ветров. В настоящее время большинство исследователей отдают предпочтение гипотезе о существовании двух типов событий Ла-Нинья - Восточно-Тихоокеанского (ВТ) и Центрально-Тихоокеанского (ЦТ) [2, 3]. Для ВТ типа Ла-Нинья характерно формирование максимально-отрицательной аномалии ТПО в восточно-экваториальной части Тихого океана в период зрелой фазы развития события, а для ЦТ типа - в центрально-экваториальной. Цель настоящей работы - изучить основные особенности механизма формирования ВТ и ЦТ типов Ла-Нинья.

Для решения поставленной цели привлекался следующий набор данных:

- реконструированные среднемесячные значения температуры поверхности океана (ТПО) из массивов HadISST и COBE SST2 с 1870 по 2018 гг., с шагом сетки 1° ;
- среднемесячные поля скоростей и направлений течений на глубине 5 м из океанического реанализа NCEP GODAS с 1981 по 2018 гг. в узлах пространственной сетки $1^\circ \times 1^\circ$;
- среднемесячная температура воды по глубине от 5 м до 4000 м из реанализа NCEP GODAS с 1981 по 2018 гг (40 слоев по глубине, с шагом в 1° по пространству);
- спутниковые данные о хлорофилле с 2001 по 2018 гг проекта GlobColour (обедненные данные с датчиков SeaWiFS (NASA), MODIS (NASA), MERIS (ESA), OLCI-A (ESA), VIIRS (NOAA/NASA));
- среднемесячная концентрация хлорофилла по спутниковым данным SeaWiFS с разрешением 9 км с 1998 по 2010 гг.

В то же время, привлекались разные индексы взаимодействия атмосферы и океана: Nino1+2, Nino3, Nino4, Nino3, SOI, пассатные индексы (TWI), рассчитываемые на 850 мб изобарической поверхности для трех районов Тихого океана - восточного (EP), центрального (CP) и западно-экваториального (WP).

Общеизвестно, что резкие изменения характеристик пассатных ветров являются одной из причин формирования межгодовых аномалий ТПО в экваториальной зоне Тихого океана. Однако причины этих изменений до сих пор остаются дискуссионными. Расчеты данной работы показали, что отрицательная корреляционная связь увеличивается при сдвиге на 3 месяца, если анализировать ряды индекса Nino3.4 с индексами пассатных ветров. Исключение составляет лишь западный пассатный район. Это подтверждает роль пассатов в формировании отрицательных аномалий при Ла-Нинья. Однако рассмотрение особенностей изменения пассатных индексов, соответствующих разным типам Ла-Нинья, показало, что ВТ тип характеризуется усилением Восточного экваториального пассата, в то время как ЦТ - Центрально-Тихоокеанских ветров. Этот статистический вывод до конца не объясняет физические особенности образования двух типов Ла-Нинья.

Анализ ежемесячных карт аномалий ТПО и поверхностных течений по данным HadISST, COBE SST2 и NCEP GODAS навел на мысль о том, что при ЦТ типе холодная аномалия ТПО возможно образуется за счет формирования центрально-экваториального апвеллинга, при котором из глубин океана к поверхности поднимаются более холодные и богатые биогенами воды. Для косвенного подтверждения высказанного предположения были привлечены карты среднемесячной концентрации хлорофилла «А», построенные по спутниковым данным с 1998 по 2018 гг. по данным SeaWiFS и проекта GlobColour. Обнаружено, что летом, на стадии зарождения холодной аномалии ТПО при ЦТ типе концентрация хлорофилла увеличивается, подтверждая наличие в этот период процесса подъема к поверхности богатых биогенами холодных вод. Этот интересный факт можно обнаружить из космоса, как широкую линию высокой концентрации фитопланктона. В отличие от ЦТ типа, ВТ тип характеризуется усилением Перуанского апвеллинга, а центральноэкваториального подъема вод не наблюдается.

Это также хорошо прослеживается на композитных картах изменения среднемесячных значений глубинной температуры воды, построенных для периода с 1981 по 2018 гг. При ВТ типе Ла-Нинья наблюдается значимый подъем термоклина к поверхности у берегов Южной Америки от 120° до 90° з.д. с конца лета до середины осени. В годы ЦТ типа Ла-Нинья в летний период значимое повышение глубины залегания термоклина к поверхности зафиксировано в районе 150°-120° з.д. Это еще раз доказывает, что физическим объяснением образования ЦТ типа Ла-Нинья является заблаговременное формирование центрально-экваториального апвеллинга.

В качестве основных выводов работы отметим следующее. События Ла-Нинья ЦТ типа возникают обычно весной в центре экваториальной зоны Тихого океана. Максимальная фаза их развития приходится на ноябрь-декабрь. Важную роль при этом играет интенсификация Центральноэкваториальных пассатных ветров. Летом, в начальной стадии развития явления в центральной экваториальной зоне формируется интенсивный апвеллинг, который обуславливает образование холодной аномалии ТПО в этом регионе. Интересно отметить, что событие такого типа возникает повторно на следующий год.

Ла-Нинья ВТ типа возникают в апреле и всегда на востоке. Максимальная фаза таких событий обычно приходится на октябрь-декабрь. При ВТ типе Ла-Нинья центрально-экваториальный апвеллинг не образуется, отрицательная аномалия ТПО формируется за счет усиления Перуанского апвеллинга, поддерживаемого интенсификацией Пассатных ветров над восточно-экваториальным сектором Тихого океана.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФГБНУ ИПТС № 0012-2019-0007.

Список литературы

- 1) Enfield D.B., Mestas-Nunez A.M. Multiscale Variabilities in Global Sea Surface Temperatures and Their Relationships with Tropospheric Climate Patterns // *Journal of Climate*. 1999. Vol. 12. P. 2719–2733.
- 2) Yuan Y., Yan H.M. Different types of La Nina events and different responses of the tropical atmosphere // *Chinese Science Bulletin*. 2013. Vol. 58. P.406–415.
- 3) Voskresenskaya E.N., Marchukova O.V. Spatial classification of La Nina events // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2017. Vol. 53. P. 111–119.

КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Медведев И.П.

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

medvedev@ocean.ru

Ключевые слова: уровень моря, Балтийское море, штормовые нагоны, приливы.

В настоящей работе исследованы колебания уровня юго-восточной части Балтийского моря. Изменчивость уровня этой акватории тесно связана с колебаниями уровня всего моря. На основе длительных наблюдений на прибрежных станциях был изучен широкий спектр колебаний уровня моря в трех частотных диапазонах: долгопериодном (включая вековые и сезонные изменения уровня моря), синоптическом и мезомасштабном (штормовые нагоны, приливы, сейши всего моря) и высокочастотном (локальные сейши заливов и бухт).

Долгопериодные колебания уровня моря определяются особенностями всего Балтийского моря и прилегающих акваторий (Северное море). Основным фактором формирования низкочастотной изменчивости уровня моря в Балтийском море является баротропный водообмен через Датские проливы. Ограниченная пропускная способность этих проливов играет роль естественного низкочастотного фильтра: высокочастотные колебания уровня моря из Северного моря эффективно демпфируются, в то время как низкочастотные колебания свободно проникают в акваторию Балтийского моря [1]. Синоптическая и мезомасштабная изменчивость уровня формируется уже непосредственно внутри бассейна Балтийского моря. Высокочастотные изменения выражены собственными колебаниями заливов и бухт. Связанность изменений уровня в различных частях Балтийского моря уменьшается с увеличением частоты колебаний. Так, межгодовые колебания уровня в Куршском и Вислинском заливах в основном повторяют колебания всего Балтийского моря. Сезонные колебания также имеют схожий характер, но отличаются по амплитуде - в северной части моря она в 2-2.5 раза больше, чем в южной [4]. Синоптические и мезомасштабные колебания в центральной и юго-восточной частях Балтийского моря уже существенно различаются [3].

Главной особенностью междекадной изменчивости уровня в юго-восточной части Балтийского моря являются положительные линейные тренды. В XX веке наблюдалось повышение уровня моря со скоростью от 1.5 мм/год в Клайпеде и до 1.9 мм/год в Пионерском. В последние десятилетия скорость тренда возрастает - от 3.4 мм/год в Клайпеде и до 4.6 мм/год в Калининграде. Основным фактором, приводящим к повышению уровня моря в юго-восточной части Балтийского моря в конце XX - начале XXI века, является глобальное повышение уровня Мирового океана.

Сезонные колебания с периодом 12 и 6 месяцев являются основным компонентом периодической долгопериодной изменчивости уровня Балтийского моря. Главные факторы их формирования - это водообмен с Северным морем через Датские проливы, атмосферная циркуляция и сток рек. В рамках настоящего исследования рассчитаны среднепогодные амплитуды и фазы годовой и полугодовой составляющих. Амплитуда годовых колебаний уровня моря в юго-восточной части Балтийского моря колеблется от 6 см (Куршский залив) до 9.8 см (Пионерский) [4]. Максимум сезонных колебаний наблюдается в декабре-январе. С января по май уровень моря снижается, а затем увеличивается до июля-сентября, после чего в октябре появляется локальный минимум. В отдельные годы амплитуда сезонных колебаний в этой части моря может достигать 20 см [2].

Синоптическая и мезомасштабная изменчивость уровня моря формируется непосредственно внутри Балтийского моря. Изменчивость ветра - это основной фактор, который формирует колебания уровня моря в этом диапазоне частот. Вислинский и Куршский заливы - это мелководные области, где роль ветрового напряжения в формировании колебаний уровня моря увеличивается. Локальные западные и юго-западные ветры, действующие непосредственно в Вислинском заливе, создают уклон уровня моря в бассейне: подъем уровня наблюдается в северо-восточной части залива (Калининград), а падение - в юго-западной части. Размах колебаний уровня моря при этом

может достигать 185 см. Самые высокие штормовые нагоны наблюдаются в вершинах заливов. В Калининградском заливе максимальная высота уровня моря 200 см наблюдалась 4 декабря 1999 г., а минимальная 20 октября 1898 г. - -136 см. В юго-западной части Вислинского залива размах колебаний имеет такой же порядок, только преобладают сгоны: максимальный уровень составлял 139 см, минимальный - -198 см.

Собственные колебания Балтийского моря с периодом около 26-29 часов в юго-восточной части моря имеют слабые амплитуды. Причиной этих малых амплитуд является близость узловой линии этой моды. Приливные колебания в юго-восточной части Балтийского моря также слабые. Амплитуда основных гармоник составляет менее 1 см, а суммарный размах приливных колебаний не превышает 6 см [5].

Куршский залив и Вислинский залив - это почти полностью закрытые бассейны, соединяющиеся с открытым морем через узкие и неглубокие проливы. Эти морфометрические свойства приводят к образованию локальных сейш. В Вислинском заливе характерный период сейши составляет 9.8 ч, в Куршском около 3 часов. Амплитуда сейш в Куршском заливе достигает 17-18 см.

Важную роль в формировании мезомасштабных колебаний уровня юго-восточной части Балтийского моря играют радиационные эффекты. В работе [6] было показано, что суточные периодические колебания уровня моря в Балтийске формируются под воздействием обычного гравитационного прилива, в то время как в Куршском заливе они создаются под влиянием радиационных (термических) эффектов, в частности, бризовыми ветрами. Отдельный анализ летних и зимних месяцев спектров колебаний уровня моря в Куршском заливе выявил заметные радиационные приливные пики летом и отсутствие этих пиков зимой.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОРАН (тема № 0149-2019-0005) и при поддержке гранта РФФИ № 18-05-60250.

Список литературы

- 1) Куликов Е.А., Медведев И.П., Колтерманн К.П. Роль баротропного водообмена в формировании спектра колебаний уровня Балтийского моря // *Океанология*. 2015. Т. 55. № 1. С. 5–15.
- 2) Медведев И.П. Межгодовая изменчивость сезонных колебаний уровня на российском побережье Балтийского моря // *Океанологические исследования*. 2018. Т. 46. № 3. С. 35–50. DOI: 10.29006/1564-2291.JOR-2018.46(3).3
- 3) Медведев И.П. О формировании спектра колебаний уровня Балтийского моря // *Доклады Академии Наук*. 2015. Т. 463. № 3. С. 347–352.
- 4) Медведев И.П. Сезонные колебания уровня Балтийского моря // *Метеорология и гидрология*. 2014. № 12. С. 42–54.
- 5) Медведев И.П., Рабинович А.Б., Куликов Е.А. Приливные колебания в Балтийском море // *Океанология*. 2013. Т. 53. № 5. С. 596–611.
- 6) Рабинович А.Б., Медведев И.П. Радиационные приливы у юго-восточного побережья Балтийского моря // *Океанология*. 2015. Т. 55. № 3. С. 357–365.

ХАРАКТЕРИСТИКА МЕЗОМАСШТАБНЫХ И СУБМЕЗОМАСШТАБНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

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

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

Shift@mail.ua

Ключевые слова: объединенные оптические изображения, объединенные сцены высокого разрешения, MSI Sentinel-2, субмезомасштабные процессы, мезомасштабные процессы, вихри.

Работа основывалась на использовании оптических снимков, полученных преимущественно со сканера высокого пространственного разрешения MSI Sentinel-2 (в отдельных случаях привлекались данные сканера OLI Landsat-8). При работе исключительно с данными сканера MSI Sentinel-2 осуществлялось объединение сцен - отдельных фрагментов полосы захвата, каждый из которых имеет пространственный охват вдоль широты до 109 км. Это позволило получать информацию о явлениях с морской поверхности в границах всей ширины полосы охвата (290 км) или ее части (от 150 км и более). Что касается дистанции вдоль трека зондирования, то она ограничивалась или размерами акватории «от берега до берега», или масштабами исследуемых явлений, и, таким образом, имела протяженность от 200 до 400 км. При необходимости происходило объединение сцен с приведением к единому разрешению с 2-х сканеров - MSI Sentinel-2 и OLI Landsat-8, что увеличивало протяженность исследуемого пространства по широте до 300 и более километров.

В целом создавались три группы снимков: RGB-композиции, изображения с устраненной отраженной компонентой, изображения в ближнем ИК-диапазоне.

Такой подход позволяет реализовать следующие возможности:

- обнаружение явлений и процессов, не выявляемых по одиночным сценам или снимкам среднего разрешения;
- получение характеристик одиночных явлений или групп явлений по пространственным критериям и относительно влияния или же подверженности влиянию иных процессов и явлений;
- при работе с квазисинхронными наборами сцен - получение характеристик по таким критериям, как расстояние, время, скорость сдвига явления или группы явлений, а также различий в зависимости от фазы существования и местоположения.

Использование объединенных сцен высокого разрешения позволило выявить ряд нетипичных ситуаций в акватории Черного моря. На спутниковых снимках MSI Sentinel-2 от 06.04.2016 г. была обнаружена сложная система вихревых структур в районе восточного берега Черного моря. Непосредственно у берега наблюдаются развитые диполи, в целом вихревой перенос от берега составляет около 200 км. На полученном изображении уверенно распознается 12 вихревых центров, 6 из которых расположены относительно друг друга практически на одинаковых расстояниях. Сутками позже производилось зондирование части того же района ИСЗ Landsat-8 (полоса захвата - 185 км), что позволило пронаблюдать выраженный сдвиг всех структур вдоль берега против часовой стрелки. Смещение структур отличается неравномерностью: по мере удаления от берега расстояние, пройденное объектом, снижалось. На расстоянии около 30 км смещение центра вихря составило 17,4 км, на расстоянии около 50 км - 15,5 км, на расстоянии около 100 км - 6,9 км.

На спутниковых изображениях 2017 г. была обнаружена вихревая цепочка несколько севернее центральной части моря (Sentinel-2 от 27.04.2017 г.). Ее протяженность составила около 160 км, по оптическим данным насчитывается 14 звеньев (вихрей). При привлечении дополнительных данных (MODIS Aqua, VIRRS Suomi-NPP и др.) определяется, что вихревая цепочка сгенерирована на границе переноса, выявляемого по изменениям концентрации хлорофилла-а и характеру

геострофических течений. Анализ причин возникновения этой цепочки показал, что наиболее вероятным является интенсивное ветровое воздействие (скорости от 8 до 14 м/с) днем ранее.

Определенный интерес представляет юго-восточная часть Черного моря, где формируется и разрушается Батумский антициклонический вихрь, а также наблюдается большое количество менее устойчивых вихрей [1]. Исследование района в границах полосы захвата ИСЗ Sentinel-2 в различные годы выявило, что часто фиксировались ситуации, при которых в систему Батумского антициклона вовлекались серии вихрей различного масштаба - от 5-10 до 30-40 км в диаметре.

Использование объединенных сцен высокого разрешения Sentinel-2 позволило дать характеристику вихревым образованиям в Мраморном море. Для этой акватории, практически полностью попадающей в полосу захвата, характерны малые размеры явлений, что затрудняет их идентификацию с помощью данных среднего разрешения. Так, за три года (2017, 2018 и 2019 гг.) с мая по сентябрь вихри наблюдались практически постоянно, преимущественно с диаметрами от 10 до 20 км, хотя единично встречались вихри с диаметрами около 30-35 км. Наиболее интенсивно вихри формировались в районе влияния Верхнебосфорского потока, в прибрежных районах и заливах. В целом - большее количество вихрей было обнаружено в западной и центральной частях моря. Напротив, четко распознаваемые вихревые диполи регистрировались преимущественно в восточных районах акватории. В редких случаях выделялись вихревые цепочки, характерной особенностью которых являлись малые масштабы «звеньев» - от сотен метров до первых километров.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-05-00479 А «Генерация, эволюция и роль в переносе вещества субмезомасштабных вихрей в Черном море» и гранта РФФИ 19-05-00752 А «Развитие методов использования отраженной от морской поверхности компоненты оптического излучения для оценки характеристик морской среды».

Список литературы

- 1) Кубряков А.А., Станичный С.В. Динамика Батумского антициклона по спутниковым данным // Морской гидрофизический журнал. 2015. Т. 182. №. 2.

ОСОБЕННОСТИ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ ВОД

КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Медведева А.Ю.¹, Мысленков С.А.^{1,2,3}

¹ Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва

³ ФГБУ Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации, г. Москва

alisa.bannikova@gmail.com

Ключевые слова: Балтийское море, ветровые волны, волнограф, высота значительных волн, мощность волновой энергии, SWAN, реанализ, NCEP/CFRS, Калининградская область.

При помощи спектральной волновой модели третьего поколения SWAN (Simulating WAVes Nearshore) версии 41.01 [1] были рассчитаны параметры ветрового волнения вод Балтийского моря вблизи Калининградской области: значительная высота волн (H_s), период, длина, мощность волновой энергии. В качестве входных данных о ветре был использован реанализ NCEP\CFRS (Climate Forecast System Reanalysis), представляющий собой ежеhourные данные о приземном ветре с 1979 г. по 2010 г. с пространственным шагом $\sim 0.3125^\circ \times 0.3125^\circ$, реанализ NCEP/CFRSv2 (2011-2015) с разрешением $\sim 0.2^\circ$; о рельефе - база данных GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans) с пространственным разрешением одна морская миля. Пространственное разрешение созданной оригинальной расчетной прямоугольной сетки составило $\sim 0.05^\circ$ (23345 узла на акватории).

Для оценки адекватности воспроизведения моделью реальных условий для 1 станции были рассчитаны взаимные статистические характеристики [2, 3]. Было проведено сравнение с данными измерений для одной станции для периода март 2016 г. - январь 2017 г. Измерения проводились с помощью ультразвукового волнографа LOG_aLevel фирмы «General Acoustics», который был установлен в юго-восточной части Балтийского моря на нефтяной платформе Д-6 (55.28° с.ш.; 20.67° в.д.). Глубина в месте установки составляла 31 м. Волнограф измерял флуктуации уровня моря с частотой 5 Гц. По его данным была посчитана высота значительных волн H_s (среднее от 1/3 наибольших волн, соответствующее высоте волн 12.5%-ной обеспеченности).

Сравнение результатов численных расчетов с данными инструментальных наблюдений показало, что модель SWAN с данными о ветре из реанализа NCEP/CFRS адекватно воспроизводит параметры ветрового волнения в Балтийском море и в частности в районе вод Калининградской области. Так, коэффициент корреляции по H_s для всего ряда составляет 0.95, по периоду волн коэффициент корреляции ниже - 0.7. Так коэффициент корреляции R для H_s меняется в пределах 0.91-0.96 для разных серий данных, системная ошибка ($Bias$)- от -0.11-0.16, среднеквадратическая ошибка ($RMSE$) - от 0.19 до 0.46, относительная среднеквадратическая ошибка (SI) - от 0.18 до 0.3. Для периода ошибки выше: R 0.81-0.91, $Bias$ 0.4-0.83, $RMSE$ 0.68-1.1, SI 0.19-0.51.

Был проведен анализ данных численного моделирования с 1979 по 2015 гг. В водах Калининградской области (19.25° , 54.25° - 21.15° , 55.45°) максимальная H_s для рассматриваемого периода составила 8.9 м, период - 7.3 с, длина - 139.3 м, высота зыби - 6 м. Наибольшие высоты присущи осенне-зимнему периоду, наименьшие - летним месяцам для всех частей Балтики, в том числе и для Калининградской области.

Была исследована сезонная изменчивость максимумов H_s . Абсолютный максимум относится к декабрю 8.9 м, минимум 3.4 м относится к маю. Также отдельно рассматривался такой показатель, как межгодовая изменчивость количества штормов для Калининградской области: от года к году превышение порогового значения $H_s > 2$ м происходит от 45 (1996 г.) до 80 (1983 г.) раз. Также анализировалась связь параметров ветрового волнения с индексами крупномасштабной циркуляции атмосферы. Наибольший коэффициент корреляции R между H_s и САК был получен и составил 0.6 для декабря. С АО в среднем (с декабря по март) связь выражена отчетливо R 0.4-0.6 [4].

Среднегодовое значение мощности волновой энергии составила 6.4 кВт/м, для августа - 3.1 кВт/м, для ноября - 9.5 кВт/м [5]. Однако, средние значения волновой энергии не отражают ее стабильности во времени, которая необходима для выработки электроэнергии. Для этого была рассчитана обеспеченность волновой энергией для нескольких пороговых значений: 0.5, 1, 2 кВт/м. Этот показатель позволяет оценить процент времени, когда поток энергии превышает заданное пороговое значение. Расчеты проводились на основе всего ряда данных (37 лет). Обеспеченность волновой энергией больше 0.5 кВт/м составила для Калининградской области 40-50 %, для критерия 1 кВт/м - 30-40 %, для 2 кВт/м - 10-20 %. Однако, в распределении волновой энергии присутствует существенная сезонная изменчивость, поэтому необходимо рассмотреть обеспеченность волновой энергией в различные сезоны года. Обеспеченность для критерия 0.5 кВт/м в августе для исследуемого региона составляет 35-40%, а в ноябре 50-60%. Кроме сезонной изменчивости в Балтийском море существенна межгодовая изменчивость волновой энергии. Для ее анализа были рассчитаны среднегодовые значения потока волновой энергии для точки, лежащей в пределах анализируемой области и для сравнения была взята точка в открытой части Балтики: Т-1 (55.1° с.ш.; 20° в.д.); Т-2 (56° с.ш.; 19.5° в.д.). Среднегодовые значения для точки в открытом море находятся в диапазоне

4.7-9.9 кВт/м, для точки в прибрежной зоне - 3-8.9 кВт/м. Минимальные значения наблюдаются в 1996 году, а в основном изменение от года к году не превышает 2 кВт/м. Для точки в прибрежной зоне максимум в 1995 году был немного меньше - 32 кВт/м. Сезонная изменчивость в Т-1 очень велика. Практически каждый год в зимние месяцы среднемесячный поток энергии превышает 10 кВт/м. Раз в несколько лет наблюдаются значения более 20 кВт/м. Минимумы наблюдаются в летние месяцы (1.5-3 кВт/м). В открытом море мощность энергии в среднем в 1.5 раза выше, чем в прибрежной зоне.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОРАН (тема № 0149-2019-0005) и при поддержке гранта РФФИ № 18-05-60250.

Список литературы

- 1) Booij N., Holthuijsen L. H., Ris R. C. The "SWAN" wave model for shallow water // Coastal Engineering 1996. – 1997. – P. 668-676.
- 2) Мысленков С.А., Архипкин В. С. Анализ ветрового волнения в Цемесской бухте Черного моря с использованием модели SWAN // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. – 2013. – № 350. – С. 58-67.
- 3) Медведева А.Ю. и др. Моделирование ветрового волнения в Балтийском море на прямоугольной и неструктурной сетках на основе реанализа NCEP/CFSR // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. – 2016. – № 362. – С. 37-54.
- 4) Myslenkov S. et al. Long-term statistics of storms in the Baltic, Barents and White Seas and their future climate projections // Geography, Environment, Sustainability. – 2018. – V. 11. – No. 1. – P. 93-112.
- 5) Мысленков С.А., Медведева А.Ю. Оценка ресурсов волновой энергии Балтийского моря и прибрежной зоны Калининградской области // Фундаментальная и прикладная геофизика. – 2019. – Т. 12 – С. 34-42.

СИСТЕМА ДИАГНОЗА И ПРОГНОЗА ДИНАМИКИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ РОССИИ: СТРУКТУРА И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Мизюк А.И., Лишаев П.Н., Пузина О.С., Холод А.Л., Сендеров М.В.

Федеральный исследовательский центр Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

artem.mizyuk@gmail.com

Ключевые слова: оперативная океанография, морской прогноз, усвоение данных, Черное море, Азовское море

Азово-черноморский бассейн должен представлять весьма большой интерес для отечественной океанологии, поскольку при совокупном рассмотрении имеет целый ряд особенностей: обширную шельфовую акваторию, достаточно сложный рельеф дна и изрезанность береговой черты, поступление значительно более соленых водных масс, географическое положение. Это позволяет исследовать здесь весьма большой спектр океанологических процессов и явлений, которые характерны для других районов Мирового Океана. Например, формирование холодного промежуточного слоя, зимняя конвекция, сезонный термоклин, кросшельфовый обмен, двойная диффузия, мезо- и субмезомасштабные вихри, апвеллинги, формирование ледового покрова. Отметим, что система морей является почти изолированной, что упрощает адаптацию здесь численных моделей общей циркуляции океана. Рост числа людей, переезжающих на побережье, увеличение береговой черты, обуславливают необходимость создания в Российской Федерации отечественной системы морских прогнозов в регионе. Этому способствует наличие развивающийся последние два десятилетия международной наблюдательной сети и двух крупных отечественных океанографических полигонов, а также увеличение числа научных рейсов.

В докладе представлены первые результаты работ по созданию прототипа отечественной системы диагноза и прогноза в бассейнах Черного и Азовского морей. Они являются продолжением исследований, которые активно выполнялись в ФИЦ МГИ РАН с середины 2000-х годов. Основой системы является комплекс численного моделирования океана NEMO [1] и подготовленная для нее региональная конфигурация, включающая Азовское, Черное и Мраморное моря [2]. Кроме того, два года назад вычислительные возможности ФИЦ были значительно увеличены за счет высокопроизводительного кластера из 24 вычислительных узлов (672 вычислительных ядра). Тестовые запуски системы выполнялись периодически начиная с 6 июня 2019 г. с использованием параллельной версии модели (доменное разложение на 40 субдоменов). В докладе демонстрируются также результаты работы системы с реализованными процедурами усвоения данных спутниковой температуры поверхности моря и альтиметрии, а также упрощенной процедуры усвоения данных буев-профилемеров и работа в режиме циклов диагноза. Предварительная валидация результатов работы системы показала, что ошибки в целом пока что достаточно высоки. Например, по солености они выше в слое 0-5 м, при этом соленость по результатам моделирования несколько ниже, чем в наблюдениях. Однако, в слое 30 -100 м ошибки по солености уже значительно ниже и имеют уровень ошибок оперативной системы Центра морских прогнозов по Черному морю (ЦМП ЧМ, <http://innovation.org.ru/>). Отметим, что на данный момент наиболее длительный расчет составляет чуть более месяца. Непрерывная работа системы с демонстрацией результатов запланированы на лето 2020 года.

Работа по созданию системы непрерывного анализа и прогноза выполняется при финансовой поддержке РФФИ (грант № 17-77-30001), развитие региональной конфигурации модели NEMO для каскада морей выполнено в рамках темы госзадания № 0555-2019-0002

Список литературы

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

- 2) Мизюк А.И., Кортаев Г.К., Григорьев А.В., Пузина О.С., Лишаев П.Н. Долгопериодная изменчивость термохалинных характеристик Азовского моря на основе численной вихререзающей модели // Морской гидрофизический журнал, – 2019, № 5, С. 496–510.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕГИДРОСТАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ SWASH ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭВОЛЮЦИОННОЙ ДИНАМИКИ ПОВЕРХНОСТНОГО ВОЛНЕНИЯ В МОДЕЛЬНОМ БАССЕЙНЕ С ПЕРЕМЕННОЙ ТОПОГРАФИЕЙ ДНА

Михайличенко С.Ю.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

liham1984@rambler.ru

Ключевые слова: поверхностное волнение, нерегулярное волнение, солитон, спектр JONSWAP, подводные волноломы, уклон дна, коэффициент шероховатости дна, модельный бассейн, коэффициент трансформации, модель SWASH.

Поверхностное волнение является одним из наиболее активных динамических процессов в береговой зоне. Сильное штормовое волнение нарушает функционирование прибрежной инфраструктуры, приводит к разрушению берегов и значительному материальному ущербу [1], а распространение волн цунами может приводить к заметному подъему уровня воды и затоплению суши [2]. Поэтому изучение трансформации волн при их подходе к побережью является одной из наиболее актуальных задач в области прибрежных исследований. Важным аспектом данной проблемы 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, 4].

С использованием негидростатической модели SWASH [5] в работе исследовалась трансформация различных типов поверхностных волн при их распространении в модельном бассейне с переменной топографией дна. Под переменной топографией дна рассматривалась как вариация глубины и уклона дна модельного бассейна, так и вариация величин коэффициентов шероховатости донной поверхности, а также наличие и различное расположение в расчетной области подводных берегозащитных сооружений варьируемой геометрии. В работе было решено две задачи - одномерная и двухмерная. В одномерной задаче исследовалось влияние глубины, уклона дна и шероховатости донной поверхности на эволюцию различных типов поверхностных волн. В двухмерной задаче рассматривалась трансформация поверхностных волн при их взаимодействии с подводными берегозащитными сооружениями переменной геометрии. Волноломы задавались в расчетах как элементы рельефа дна. Исследовалась эволюционная динамика поверхностных волн трех типов: с профилем в виде синусоиды, с профилем в виде солитона [6] и нерегулярное волнение. Нерегулярное волнение задавалось с помощью спектра JONSWAP. Оценка влияния рельефа и шероховатости дна модельного бассейна на трансформацию поверхностных волн проводилась путем расчета коэффициентов трансформации.

В работе проведено пятнадцать численных экспериментов. Рассмотрено по три значения каждого из исследуемых параметров (глубина, уклон дна, шероховатость дна, ширина и высота волнолома). Также был проведен комбинированный эксперимент с учетом суммарного влияния всех перечисленных параметров на характер эволюции поверхностных волн. Численные расчеты показали, что варьирование исследуемых параметров в широких пределах может приводить к существенному ослаблению поверхностного волнения, вплоть до их полного разрушения. При этом наибольшее влияние на ослабление волн оказывает вариация глубины бассейна и высоты берегозащитного сооружения. Максимальное ослабление поверхностных волн ($K_{tr}=0,001 - 0,05$) наблюдается в случае комбинирования ряда факторов - уклона дна, расположения берегозащитных сооружений в районе перепада глубин и больших величин коэффициентов шероховатости донной поверхности. Результаты экспериментов показали слабую зависимость высот проходящих волн от ширины подводного препятствия. Наибольшему ослаблению во всех рассмотренных случаях подвергается нерегулярное волнение, которое в случае комбинированного эксперимента полностью

диссипирует ($K_{tr}=0,001 - 0,002$). Влияние рассмотренных параметров на трансформацию уединенных волн (солитонов) оказалось минимальным ($K_{tr}=0,70 - 0,95$).

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 югозападной части Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 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. 2018. – № 4. Стр. 318 – 328.
- 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) Lin P. A numerical study of solitary wave interaction with rectangular obstacles // Coastal Engineering. 2004. Vol. 51, P. 35 – 51.
- 5) SWASH User Manual / The SWASH team. – Netherlands: Delft University of Technology, 2012. – v.1.10A. – 91 p.
- 6) Пелиновский Е.Н. Гидродинамика волн цунами. – Н.Новгород: ИПФ РАН, 1996. – 276 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ АНТАРКТИЧЕСКОЙ ДОННОЙ ВОДЫ В РАЙОНЕ МОРЯ СОДРУЖЕСТВА, ВОСТОЧНАЯ АНТАРКТИКА

Молчанов М.С., Головин П.Н.

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

molchanoff@gmail.com

Ключевые слова: Южный океан, натурный эксперимент, лабораторное моделирование, численное моделирование, материковый склон, антарктический склоновый фронт, глубоководный склоновый каскадинг

Подтвержден факт летнего стока АШВ в отдельных районах шельфа и склона моря Содружества, хотя механизм формирования плотных вод на шельфе - конвекция отсутствует; подтверждена гипотеза о дискретности каскадинга. АШВ подходят к бровке шельфа и переливаются через нее в виде дискретных фронтальных меандров, которые образуются в результате бароклинной неустойчивости фронта плотных вод еще на шельфе. Одновременно на шельфе наблюдается подчинение распространения плотностных потоков особенностям шельфовой топографии дна. В результате придонные плотностные потоки направляются к бровке шельфа, что способствует переливу АШВ в определенных участках бровки шельфа. При переливе холодных АШВ через бровку шельфа и стоке по склону, когда они взаимодействуют с теплыми водами на склоне (ЦГВ) формируется антарктический склоновый фронт (АСФ). Каскадинг инициирует интенсивную циркуляцию в области бровки шельфа и материкового склона. Показана 3-D картина, когда в силу неразрывности движения в присклоновой области каскадинг сопровождается компенсационным апвеллингом ЦГВ вдоль наклонных изопикн АСФ. Каскадинг является аналогом существующей крупномасштабной горизонтальной адвекции ЦГВ, дополняя ее, и локально усиливая перенос уже модифицированных ЦГВ (МЦГВ) на шельф.

В различных районах полигона и различных частях склона наблюдаются разнообразные формы и режимы каскадинга. В восточной части полигона летом каскадинг существует в невозмущенном - квазигеострофическом режиме. В западной части полигона склоновый каскадинг более интенсивный и носит агеострофический - неустойчивый характер. Иногда прямо фиксируются моменты реализации механизма вентиляции глубинных вод в результате локальной бароклиной неустойчивости придонного плотностного течения. В западной части полигона меандры плотных вод распространяются в большей степени вниз по склону не только по причине мощного локального перелива через бровку шельфа, но и под влиянием мелкомасштабных неровностей склона. В срединной и глубинной части склона неровности дна в зависимости от соотношения высоты неровностей дна и толщины придонного плотностного течения и в зависимости от пути подхода дискретного плотностного течения к неровностям могут полностью менять режим стока. Возникают гидравлические скачки, неустойчивые подветренные волны, вихревые линзы.

Для исследования процессов образования АШВ и последующего их стока по шельфу и склону была выбрана не гидростатическая модель Fluidity ICOM. На ее основе выполнен тестовый 2-D расчёт формирования плотных шельфовых вод. Затем проведен ряд 3-D численных экспериментов по исследованию стока плотных вод по материковому склону. Начало расчетов соответствует реализации метода коллапса на бровке шельфа между более плотными водами шельфа и менее плотными водами склона (градиентный метод задания начальных условий) при проведении лабораторных экспериментов. Так как модель позволяет задавать внешние потоки тепла и соли (плавачести), в последствии перешли к заданию начальных и граничных условий в виде

внешних потоков. Перед этим была выполнена большая работа по модернизации в модели графического вывода результатов расчетов для возможности их корректного анализа и сопоставления с данными натурных наблюдений. Появилась значительные дополнительные возможности графического представления результатов численных экспериментов. Далее был проведен 3-D численный эксперимент по исследованию образования плотных вод на шельфе в зимний период в результате соленостной конвекции при интенсивном внутриводном - динамическом ледообразовании при вскрытии заприпайной (прибарьерной) полыньи и последующего их распространения по шельфу и склону.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №17-05-00037.

ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ВОД В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ТЕРМОКОСЫ С 2015 ПО 2019 ГОД

Мысленков С.А.¹, Кречик В.А.²

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва ²Институт океанологии им.

П.П. Ширшова РАН, г. Москва

stassas@yandex.ru

Ключевые слова: Балтийское море, термокоса, измерение температуры, апвеллинг.

В 2015 году в средней части переходного мостика платформы Д-6 в прибрежной зоне Калининградской области была установлена термокоса из 10 датчиков Starmon mini (производитель Star Oddi, Исландия). Датчики расположены на горизонтах: -1, 0, 1, 3, 5, 8, 10, 13, 24, 28 м. дискретность по времени 1 мин, Точность датчиков +/-0.025 °С Глубина в месте установки 29 м. Некоторые результаты анализа этих данных за период с 2015 по 2017 год представлены в работах [1, 2, 3].

В данном исследовании представлены результаты анализа температуры воды с августа 2015 по август 2019 г. Благодаря высокому временному разрешению датчиков появилась возможность анализировать различные процессы: конвективное перемещение, апвеллинги, внутренние волны, суточный ход температуры воды на разных горизонтах.

За весь период наблюдений температура воды находилась в диапазоне от 1,2 °С в марте 2018 до 25,12 °С в августе 2018.

Был проведен подробный анализ апвеллингов. Получена статистика проявлений полных и неполных (не выходящих на поверхность) апвеллингов. Полные апвеллинги с существенным понижением температуры (более чем на 5 °С) наблюдаются в среднем 3-4 раза в год. Наиболее сильный апвеллинг был зафиксирован в 2018 году, когда температура упала от 18 °С до 5,5 °С. При некоторых больших апвеллингах, действующих севернее, в точке наблюдений может проявляться холодная адвективная струя.

Выделены периоды, когда хорошо выделяется суточный ход температуры воды. По изменениям амплитуды колебаний температуры с глубиной были получены оценки коэффициента вертикальной турбулентной теплопроводности $K_T = 1.2 \cdot 10^{-1}$ до $7.4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$

Проведено сопоставление спутниковых данных MODIS о температуре воды с данными измерений термокосы на глубине 1 м. Установлено, что средняя разность по всему ряду данных составляет +0,25 °С. Наличие отклонений более 2 °С связано с сильным дневным прогревом тонкого верхнего слоя. Исключив из сравнения случаи, когда разность на горизонтах 1 и 3 м термокосы была более 0,1 °С, средняя разность (систематическая ошибка) спутника уменьшается до +0,14 °С, среднеквадратическое отклонение составляет 0,38 °С.

Выполнен расчет критерия экмановского апвеллинга на основе данных о ветре из реанализа NCEP/CFRSR и данных о толщине верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) на платформе Д-6. Оценка качества критерия проведена на основе данных термокосы. Показано, что в 50-60% случаев при северном ветре и достижении критерием отметки -1 происходит понижение температуры в приповерхностном слое, а при восточном ветре для северного побережья Калининградской области критерий апвеллинга не оправдывается.

Работа выполнена в рамках темы госзадания №0149-2019-0013.

Список литературы

1) 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.

- 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 Гидрометцентра России. 2017. № 364. С. 159-169.
- 3) Krechik V.A., Myslenkov S.A., Kapustina M.V. New possibilities in the study of coastal upwellings in the southeastern Baltic Sea with using thermistor chain // Geography, Environment, Sustainability. 2019. Vol. 12. № 2. P. 44-61.

АДВЕКТИВНЫЕ ПОТОКИ ТЕПЛА, МАССЫ И СОЛИ В ЗОНЕ ЛОФОТЕНСКОГО ВИХРЯ ПО ДАННЫМ РАЗЛИЧНЫХ РЕАНАЛИЗОВ

Наумов Л.М.^{1,2,3}, Гордеева С.М.^{1,2,3}

¹Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

²Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург

³Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

levnaumov96@gmail.com

Ключевые слова: ORAS5, поток массы, поток тепла, поток соли, Лофотенский вихрь, верификация реанализов.

Выполнен расчет потоков тепла, массы и соли в зоне Лофотенского вихря (Норвежское море), оценены балансы данных потоков с использованием данных океанских реанализов ECMWF ORAS4 [1] и ORAS5 [2], а также выполнено сравнение с результатами реанализа CMEMS GLORYS12V1 [3].

При сравнении океанских реанализов ECMWF ORAS5, ORAS4 и GLORYS12V1 выявлено следующее.

В вертикальном распределении средних многолетних скоростей течений в реанализе GLORYS12V1 на всех уровнях течения в 1,5 - 2 раза интенсивнее по величине, чем в реанализе ORAS5. Средние многолетние распределения температуры и солёности воды на поверхности показывают относительно холодное и солёное пятно в центре бассейна, причем по данным реанализа ORAS5 это пятно смещено к югу, в зону действия Лофотенского вихря. Средняя многолетняя плотностная стратификация в регионе характеризуется тонкой термохалинной структурой с эффектом дифференциально-диффузионной конвекции, которая проявляется в виде «солевых пальцев», что позволяет осуществлять вынос соли и тепла в глубинные слои океана без затраты энергии от внешних источников [4].

Наибольшие входящие в регион Лофотенской котловины значения потоков всех исследуемых характеристик наблюдаются на южной его границе, в то время как наибольшие уходящие значения потоков всех исследуемых характеристик наблюдаются на восточной границе. Можно соотнести данную закономерность с влиянием на регион Норвежского течения [5]. При оценке средноклиматических балансов массы, тепла и соли выявлено, что Лофотенская котловина накапливает воду, что проявляется в увеличении уровня в нем по сравнению с уровнем окружающих вод, накапливает соль, что проявляется в повышенных значениях солёности в его зоне, и расходует тепло на теплообмен с атмосферой, который, в отличие от обмена массой, сравним с адвективным притоком тепла [6].

При сравнении качества реанализов обращалось внимание на такую характеристику как невязка баланса той или иной характеристики. Данная характеристика показывает его отклонение от абсолютного баланса ($F+ = F-$). Очевидно, что в устойчивой природной системе на климатическом масштабе времени не может быть сильных отклонений от баланса, таким образом, невязка климатического баланса может служить метрикой качества реанализа.

Реанализ ECMWF ORAS5, несмотря на достаточно грубое по сравнению с реанализом GLORYS12V1 пространственное разрешение, имеет наименьшую среди всех приведенных в исследовании реанализов невязку при вычислении баланса расходов воды на границах региона. Оценка баланса тепла по данным реанализа GLORYS12V1 более реалистична, так как показывает накопление тепла, которое, очевидно, расходуется на теплообмен с атмосферой. По данным реанализа GLORYS12V1 накопление соли в регионе в два раза больше, чем у ORAS5, что связано с тем, что у первого расход через южную границу воды с повышенной солёностью выше.

Реанализ ORAS4 не показал реалистичных потоков всех исследуемых характеристик, так, по данным реанализа ORAS4, в климатическом масштабе в исследуемом регионе наблюдается дивергенция потоков соли, что должно проявляться в виде наличия в зоне ЛВ области с пониженными значениями солености, чего не наблюдается по данным реанализа.

Во временной изменчивости среднемесячных значений всех потоков на границах бассейна отмечаются нерегулярные колебания, причем дисперсия данных реанализа GLORYS12V1 в полтора раза выше, чем у реанализа ORAS5, а на восточной границе, с 1996 г. - в два раза.

Таким образом, можно сказать, что реанализ ORAS5 демонстрирует лучшие результаты при климатическом осреднении, а реанализ GLORYS12V1 лучше воспроизводит временную динамику потоков исследуемых характеристик на границах исследуемой области.

Проект выполнен при финансовой поддержке РФФИ, проект №18-17-00027 «Вихревая динамика Лофотенской котловины и ее роль в переносе термохалинных свойств вод в Норвежском море».

Список литературы

- 1) Balmaseda, M.A., Mogenssen, K. and Weaver, A.T. (2013), Evaluation of the ECMWF ocean reanalysis system ORAS4. Q.J.R. Meteorol. Soc., 139: 1132-1161. doi:10.1002/qj.2063
- 2) Zuo, H., Balmaseda, M.A., Mogenssen, K., & Tietsche, S. (2018). OCEAN5: the ECMWF Ocean Reanalysis System and its Real-Time analysis component (p. 44). European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. doi:10.21957/1a2v0442
- 3) Global ocean physics reanalysis GLORYS12v1 // Copernicus Marine Environment Monitoring Service.– Electronic resource.– URL: http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/?option=com_csw&view=details&product_id=global_reanalysis_phy_001_030
- 4) Федоров К.Н., Перескоков А.И. Типизация термохалинных условий стратификации в мировом океане // Метеорология и гидрология. 1986. N 12. С. 71-77.
- 5) Bosse, A., Fer, I., Søliland, H., & Rossby, T. (2018). Atlantic water transformation along its poleward pathway across the Nordic Seas. Journal of Geophysical Research: Oceans, 123, 6428–6448. <https://doi.org/10.1029/2018JC014147>
- 6) Алексеев Г.В., Николаев Ю.В., Романцов В.А. Норвежская энергоактивная зона океана. // Итоги науки и техники. Атмосфера, океан, космос — программа «Разрезы», 1985, т. 5, с. 45–62.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ШЕЛЬФЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДЕЛЕЙ МОРСКОЙ СРЕДЫ И МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ

Никитин Н.О., Полонская Я.С., Калужная А.В

Национальный исследовательский университет ИТМО, г. Санкт-Петербург

nicl.nno@gmail.com

Ключевые слова: проектирование гидротехнических сооружений, численное моделирование, структурная оптимизация, эволюционные алгоритмы.

При решении задач проектирования защитных сооружений на шельфе часто возникает потребность повысить эффективность уже существующих защитных гидротехнических сооружений (например, волноломов) с помощью изменения и расширения их пространственной конфигурации, так как уже имеющиеся сооружения не обеспечивают достаточно безопасных гидрометеорологических условий в защищаемой акватории. Поскольку возникающая в данном случае задача структурной оптимизации является многокритериальной, то эксперту сложно учесть все критерии и проверить большое количество возможных конфигураций сооружений, необходимых при принятии решений [1], то является актуальным создание методов и подходов к автоматизированному выбору конфигураций защитных сооружений с помощью применения генетических алгоритмов оптимизации [2] и гидрометеорологических моделей динамики морской среды.

В данной работе предлагается подход к проектированию шельфовых гидротехнических сооружений, основанный на интеллектуальных методах, использующих эволюционные алгоритмы для решения задач многокритериальной оптимизации. В рамках решения задачи применяется модифицированный алгоритм SPEA2 [3]. Для сравнения также приведены результаты применения однокритериального алгоритма дифференциальной эволюции. В качестве тестового случая выступает задача определения оптимального варианта расположения волнозащитных сооружений, обеспечивающих безопасную стоянку и маневрирование судов в акватории пассажирского порта г. Сочи.

Для обеспечения лучшей сходимости и устойчивости найденных решений в ходе оптимизации, генотип был представлен в качестве набора пар «длина сегмента доп. сооружений - угол поворота сегмента относительно предыдущего» (схожий подход предложен в работе [4]). Такой подход показал себя более эффективно по сравнению с представлением структуры в генотипе с помощью декартовых координат [5]. Для выполнения экспериментальных расчетов, предназначенных для оценки эффективности дополнительных волнозащитных сооружений в рамках решения задачи структурной оптимизации, была использована конфигурация модели ветрового волнения SWAN, настроенная для акватории порта с пространственным разрешением 25 м. В качестве исходных данных для моделирования использовались экстремальные значения скорости ветра и параметров волнения, возможные раз в 50 лет.

В рамках решения поставленной оптимизационной задачи создавались варианты сооружений, которые способствуют улучшению волновой обстановки в акватории порта, а также являются экономически обоснованными и, по возможности, не нарушающими схему маневрирования судов. Оценка качества вариантов сооружений проводилась в нескольких контрольных точках. Для того, чтобы идентифицировать наиболее эффективную структуру дополнительных волнозащитных сооружений, было сформировано три критерия и основанные на них целевые функции [6]: функция для оценки улучшения волновой обстановки (через уменьшение значимой высоты волны); функция оценки стоимости конструкций; функция учета нарушений схемы маневрирования судов в акватории порта.

В ходе проведенных экспериментов было проанализировано несколько полученных с помощью эволюционных алгоритмов вариантов сооружений, выполнен анализ сходимости однокритериаль-

ного и многокритериального эволюционных алгоритмов и оценка полученных их результатов. Для оценки качества полученных результатов были проанализированы все полученные конфигурации и определен набор оптимальных по Парето решений. Полученный набор решений далее может быть передан эксперту для окончательного выбора лучших конфигураций. Результаты экспериментов позволяют сделать вывод, что предложенный подход на основе эволюционных алгоритмов позволяет идентифицировать конфигурации шельфовых защитных сооружений, сравнимые с предложенными экспертами, при значительном ускорении процесса проектирования.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №19-11-00326).

Список литературы

- 1) Rustell M.J.F. et al. Decision Support for Designing New LNG Terminals // Proceedings of the 33rd PIANC World Congress San Francisco. San Francisco, USA. – 2014.
- 2) Бураков К.В., Семенкин Е.С. О решении задач многокритериальной оптимизации генетическими алгоритмами // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2010. – Т. 1. – №. 6.
- 3) Zitzler E., Laumanns M., Thiele L. SPEA2: Improving the strength Pareto evolutionary algorithm // TIK-report. – 2001. – V. 103.
- 4) Diab H., Lafon P., Younes R. Optimisation of breakwaters design to protect offshore terminal area // The 5th IASTED International Conference on Modelling, Simulation and Identification-2014, Banff, Canada. – 2014. – V. 23.
- 5) Elchahal G., Younes R., Lafon P. Optimization of coastal structures: Application on detached breakwaters in ports // Ocean Engineering. – 2013. – V. 63. – P. 35-43.
- 6) Diab H., Younes R., Lafon P. Survey of research on the optimal design of sea harbours // International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering. – 2017. – V. 9. – No. 4. – P. 460-472.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО НАДВОДНОГО АППАРАТА ДЛЯ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ В ПРИБРЕЖНОЙ ОБЛАСТИ МОРЯ

Никишин В.В.¹, Багаев А.В.²

¹Севастопольский государственный университет, г. Севастополь

²Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

a.bagaev1984@gmail.com

Ключевые слова: батиметрия, эхолот, беспилотный надводный аппарат, unmanned surface vehicle, мониторинг, антропогенное загрязнение, кондуктометрия.

В настоящее время активно растет частота применения беспилотных аппаратов в различных областях практической и исследовательской деятельности. Преимущества применения таких аппаратов очевидны: экономичность, компактность, модульность, и минимизация ошибок связанных с усталостью оператора. Большую часть времени аппараты работают в автономном режиме без прямого участия человека [1, 2].

В настоящей работе представлен опыт и результаты применения прототипа беспилотного надводного аппарата (БНА) в задачах построения батиметрии мелководной области и температурных измерений поверхностного слоя воды.

Применяемый БНА представляет собой однокорпусный вариант с водомётным движителем с приводом от бесколлекторного электродвигателя. Габариты аппарата не превышают 1 м. Масса полезной нагрузки до 5 кг. Для БНА разработан собственный автопилот, позволяющий работать как в автоматическом, так и в ручном режимах.

В настоящей работе выполнена разработка системы, позволяющей получать карту глубин с применением однолучевого эхолота Garmin Echomap 42с. Данная модель имеет стандартный интерфейс передачи данных NMEA-0183. Данные эхолота заведены напрямую в автопилот, что позволяет передавать данные о глубине оператору на наземную станцию управления посредством беспроводной телеметрии.

Наземная станция управления выполняет функции отображения параметров БНА таких как напряжения на клеммах аккумуляторов, положения сопла водомёта, текущих координат и некоторых других. Все параметры, включая данные о глубине сохраняются в файл для дальнейшей обработки.

Испытания разработанного БНА и системы построения карт глубин проведены в условиях внутренней бухты Голландия в г. Севастополе и в пресном затопленном карьере Инкерман.

Опыт применения разработанного БНА подтвердил эффективность такого способа проведения батиметрических работ. Стоит также отметить, что благодаря малым габаритам и сверхмалой осадке возможно проведение измерений практически у береговой линии со скалистыми или забетонированными берегами, что в случае с управляемыми плавсредствами с экипажем затруднительно и в некоторых случаях опасно.

Основные ограничения на условия работы применяемого аппарата: безветренная погода и отсутствие волнения.

Дальнейшее совершенствование предполагает установку на БНА STD-зонда, турбидиметра для контроля экологического состояния у мест сбросов сточных вод во внутренних бухтах г. Севастополя. Также планируется к разработке и изготовлению новый корпус с большей грузоподъемностью.

Исследование выполнено при финансовой поддержке внутреннего гранта ФГАОУ ВО "Севастопольский государственный университет" в рамках научного проекта № 516/06-31, при финансовой поддержке РФФИ и города Севастополь. Доклад на конференции и анализ собранных данных о температуре проведены в рамках научного проекта РФФИ и г. Севастополь № 18-48-920018\18 и научного проекта № 20-45-920019 р_а.

Список литературы

- 1) Shishkin I.E., Grekov A.N., Nikishin V.V. Application of USV for environmental monitoring of the Sevastopol Bay // Marine Science and Technology for Sustainable Development: Abstracts of the 26th International Conference of Pacific Congress on Marine Science and Technology (PACON-2019), July 16–19, 2019, Vladivostok, Russia. p. 252.
- 2) Shishkin I.E., Grekov A.N., Nikishin V.V. Intelligent Decision Support System for Detection of Anomalies and Unmanned Surface Vehicle Inertial Navigation Correction // 2019 International Russian Automation Conference (RusAutoCon), 8-14 Sept. 2019, Sochi, Russia. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8867601>

КРАТКОВРЕМЕННЫЙ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В ВОСТОЧНО-СИБИРСКОМ МОРЕ

Новиков М.А., Крылов А.А.

Московский Физико-Технический Институт(НИУ), г. Москва

mihail.novikow@mail.ru

Ключевые слова: сейсмология, сейсмотектоника, шельф, Восточно-Сибирское море, донные сейсмостанции.

В сентябре 2019 года стартовал 78 рейс научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш». Основной задачей была оценка масштабов и динамики эмиссии метана со дна моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря вследствие деградации подводной мерзлоты. Были проведены комплексные исследования региона, в частности нашей командой была установлена сеть донных сейсмостанций для изучения сейсмического режима морей Лаптевых и Восточно-Сибирского в районах массивованного газопроявления и предполагаемого наличия подводной мерзлоты.

Шельф Восточно-Сибирского моря является крайне малоизученной областью с точки зрения сейсмологии. По собранным ранее данным повышенной сейсмичностью обладает лишь самая западная его часть [1].

Недостаток данных по данному району в совокупности с массивованным выходом метана в этой области обуславливают актуальность более подробного изучения.

В рейсе АМК-78 была выполнена тестовая трехдневная постановка донной сейсмостанции в Восточно-Сибирском море вблизи полигона с метановыми сипами. Цель постановки заключалась в том, чтобы выяснить, во-первых, есть ли микросейсмичность в Восточно-Сибирском море, а во-вторых, связана ли она с метановыми выходами.

Постановка была совершена 30 сентября 2019 года к востоку от Новосибирских островов. Использовалась донная сейсмостанция МПССР, установка была совершена по системе притопленного поверхностного буя. Были получены данные с гидрофона и нескольких сейсмических датчиков с суммарным частотным диапазоном 0.01-1000 Гц.

Неожиданным результатом оказался уровень сейсмичности в Восточно-Сибирском море. Выяснилось, что число зарегистрированных в Восточно-Сибирском море микроземлетрясений в сутки вполне сопоставимо с шельфом моря Лаптевых. Этот предварительный результат требует более тщательной проверки, и может стать основанием для пересмотра концепции представления Восточно-Сибирского шельфа как пассивной континентальной окраины.

Список литературы

- 1) Аветисов Г.П., Зинченко А.Г., Мусатов Е.Е., Пискарев А.Л. Сейсмическое районирование Арктического региона // Российская Арктика: геологическая история, минерагения, геоэкология. СПб.: изд-во ВНИИОГ, 2002. С. 162-175.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СГОННО-НАГОННЫХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ МОРЯ В СЕВЕРНОМ КАСПИИ

Павлова А.В., Архипкин В.С., Мысленков С.А.

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

anna.pavlova-16@yandex.ru

Ключевые слова: сгонно-нагонные колебания, Каспийское море, ADCIRC, моделирование, уровень моря.

Акватория Северного Каспия в значительной мере подвержена воздействию сгонно-нагонных колебаний уровня моря, сопровождаемых интенсивными течениями. Глубина моря здесь сравнима с величиной колебаний уровня, что приводит к затоплению обширных территорий при нагонах и осушению дна при сгонах воды [3].

Исследование пространственно-временной изменчивости различных характеристик сгонно-нагонных колебаний уровня моря проводилось при помощи математического моделирования, что позволило охватить всю акваторию Каспийского моря. В данной работе показаны результаты моделирования численной 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 [2]. 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 $\sim 0,2^\circ \times 0,2^\circ$. Также, в качестве входных данных задавалась концентрация морского льда (OSI-450), на основе данных пассивных микроволновых радиометров SMMR, SSM/I и SSMIS и реанализа ECMWF ERA-Interim [1]. Данные охватывают период с 1979 по 2017 гг. с суточным интервалом и пространственным разрешением $\sim 0,2^\circ \times 0,2^\circ$, временной шаг - 1 сутки.

Межгодовой пространственный анализ показал, что наблюдается два очага максимальных высот. Первый приходится на северо-западную часть вдоль взморья р. Волги, а второй на востоке, где наблюдались нагоны до 2,5 и 2,7 м соответственно.

Количественный анализ показал, что в среднем в году наблюдается 7-10 нагонов высотой более 1 метра и суммарной продолжительностью до 20-30 суток в год.

Распределение количества случаев сгонно-нагонных колебаний по годам более 1 метра за период исследования показало, что в западной и северной частях моря количество сгонов превышает количество нагонов. У восточного побережья наблюдается более равномерная картина, где от года к году преобладают либо сгоны, либо нагоны. Данное распределение объясняется прохождением большего количества циклонов которые вызывают значительные колебания уровня моря по сравнению с антициклонами, несмотря на то, что в течение года преобладает антициклоническая деятельность.

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 конца 2000-х наблюдается заметное увеличение числа сгонно-нагонных колебаний. Следует отметить, что подобное распределение отмечается в многолетнем ходе изменения уровня Каспийского моря, что в свою очередь преимущественно зависит от климатических изменений.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ №18-05-80088.

Список литературы

- 1) 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
- 2) Saha S. et al. The NCEP climate forecast system reanalysis // Bull. Am. Meteorol. Soc. 2010. - Vol. 91. - No. 8. - P. 1015–1057.
- 3) Бухарицин П.И. «Учение о гидросфере» (Часть 4. «Гидрология Каспийского моря»): Учебнометодическое пособие для студентов и слушателей всех форм обучения. АГТУ. – Астрахань, 2008. – 120 с.

ВЛИЯНИЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ИНТЕНСИВНЫХ ПОЛЯРНЫХ ЦИКЛОНОВ НА ГИДРОТЕРМОДИНАМИКУ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Панасенкова И.И.¹, Дианский Н.А.^{1,2,3}, Фомин В.В.^{1,3}

¹Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, г. Москва

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

³Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, г. Москва

ipanasenkova@mail.ru

Ключевые слова: полярные циклоны, циркуляция Баренцева моря, аномалии температуры поверхности моря.

Изучение влияния интенсивных полярных циклонов на гидротермодинамические характеристики Баренцева моря (БМ) имеет важное научное и прикладное значение. Полярные циклоны (ПЦ) представляют собой интенсивные мезомасштабные циклонические образования, которые формируются к северу от полярного фронта при перемещении холодной воздушной массы с ледового поля на относительно теплую поверхность моря. Скорость ветра в ПЦ обычно превышает 15 м/с, а время жизни составляет от нескольких часов до трех суток [1]. ПЦ приводят к неблагоприятным метеорологическим условиям, сопровождающимся штормовым ветром и волнением, обледенением судов и сооружений, ухудшением видимости, что представляет опасность для судоходства и ведения хозяйственной деятельности [1]. Как правило, ПЦ наблюдаются в холодный период с октября по апрель.

Для исследования отклика верхнего слоя БМ на прохождение ПЦ проведено численное моделирование гидротермодинамических характеристик с помощью трехмерной σ -модели морской циркуляции INMOM (Institute of Numerical Mathematic Ocean Model) с пространственным разрешением ~ 2.7 км за период с июля 2013 г. по июль 2014 г. В качестве входных данных для расчета потоков тепла, пресной воды и импульса на поверхности моря в модели INMOM использовались атмосферные характеристики (температура и удельная влажность воздуха на высоте 2 м, скорость ветра на высоте 10 м, падающая коротковолновая и длинноволновая радиация, атмосферные осадки, давление на уровне моря), полученные из арктического атмосферного реанализа ASRv2 (Arctic System Reanalysis), рассчитанного по региональной негидростатической атмосферной модели Polar Weather Research and Forecast model (PWRP), с пространственным разрешением 15 км и временной дискретностью 3 ч. (<http://polarmet.osu.edu/ASR/>).

Как правило, воспроизведение полярных циклонов затруднительно в связи с их небольшими размерами и относительно недолгим временем существования. Согласно исследованию, проведенному в [2], в реанализе ASRv2 достаточно реалистично воспроизводится динамика и эволюция полярных циклонов, учитывая его более высокое пространственное разрешение по сравнению с другими существующими на данный момент атмосферными реанализами.

ПЦ идентифицировались в данных реанализа ASRv2 по следующим критериям: характерный диаметр обнаруженного циклона менее 1000 км, а скорости ветра - более 15 м/с. Для валидации отобранных из реанализа ASRv2 ПЦ использовались спутниковые снимки радиометра высокого пространственного разрешения AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), которые находятся в открытом доступе на сайте Dundee Satellite Receiving Station (<https://www.sat.dundee.ac.uk/abin/browse/avhrr>). В целом большинство обнаруженных в реанализе ASRv2 ПЦ присутствует на спутниковых снимках, однако в некоторых случаях характерен небольшой пространственный сдвиг рассчитанных циклонов относительно спутниковых данных.

Анализ циклонической активности за июль 2013 г. - май 2014 г. по данным реанализа ASRv2 показал, что за этот период практически в каждом месяце обнаружено наличие полярных циклонов на акватории БМ, за исключением января и февраля. Наибольшее количество ПЦ, проникших на

акваторию БМ, сформировалось над Норвежским и Гренландским морями. Отмечены случаи зарождения полярных циклонов в области между Шпицбергом и Землей Франца-Иосифа, а также у западных берегов Новой Земли. Наиболее интенсивные циклоны отмечаются в холодный период, однако максимальные скорости ветра в большинстве из них практически не превышают 20 м/с. Интенсификация циклонов существенным образом зависит от местных гидрометеорологических условий [1].

По результатам проведенного анализа реакции верхнего слоя БМ на прохождение ПЦ показано, что за рассматриваемый период 2013-2014 г. происходят существенные изменения приповерхностной скорости течений и температуры поверхности моря (ТПМ) как в местах нахождения циклонов, так и на некотором удалении от них. В большинстве рассмотренных случаев наличие интенсивных ПЦ на акватории БМ приводит к положительным аномалиям ТПМ особенно в холодный период (ноябрь-апрель), которые, в целом, меняются в диапазоне от нескольких десятых градуса до ~ 1 °С. Повышение ТПМ более чем на 1°С отмечено в работе [3], посвященной исследованию отклика верхнего слоя Баренцева моря на прохождение интенсивного ПЦ в начале января 1975 года. Положительные аномалии ТПМ в основном связаны с тем, что в холодный период для БМ характерна инверсия температуры по глубине, на фоне которой за счет индуцированного циклоном апвеллинга и турбулентного перемешивания происходит подъём более теплых атлантических вод из термоклина в верхний перемешанный слой. В свою очередь, интенсивная передача тепла из океана в атмосферу за счет интенсификации притока холодных воздушных масс с суши, индуцируемого ПЦ, приводит к выхолаживанию поверхности моря в прилегающих к материку водах.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант №18-05-60111).

Список литературы

- 1) Нестеров Е.С. Экстремальные циклоны над морями европейской части России // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2018. Т. 376. № 1. С. 97-115.
- 2) Tilinina N., Gulev S.K., Bromwich D.H. New view of Arctic cyclone activity from the Arctic System Reanalysis // Geophysical Research Letters. 2014. Vol. 41. P. 1766–1772.
- 3) Дианский Н.А., Панасенкова И.И., Фомин В.В. Исследование отклика верхнего слоя Баренцева моря на прохождение интенсивного полярного циклона в начале января 1975 года // Морской гидрофизический журнал. 2019. Т. 35. № 6. 2019. С. 530–548.

ИЗМЕРЕНИЕ ДИСПЕРСИИ УКЛОНОВ МОРСКОГО ВОЛНЕНИЯ В СВЧ ДИАПАЗОНЕ ПРИ МАЛЫХ УГЛАХ ПАДЕНИЯ

Панфилова М.А., Шиков А.П., Караев В.Ю.

Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород

marygo@mail.ru

Ключевые слова: дисперсия уклонов морского волнения, СВЧ радиолокатор, дистанционное зондирование морской поверхности из космоса.

Основной объем данных о процессах, происходящих на поверхности океана, на сегодняшний день собран благодаря приборам, установленным на спутниках. Единственный параметр морского волнения, измеряемый из космоса на регулярной основе, - это высота значительного волнения. Она определяется по данным альтиметров, специально разработанных для измерения среднего уровня морской поверхности и высоты значительных волн. Одно из направлений спутниковой океанологии - расширение области применения данных уже существующих приборов для определения новых параметров, например, дополнительный продукт, получаемый по данным альтиметров - скорость приповерхностного ветра. Цель данной работы - расширение области применения данных радиолокатора космического базирования Ku-диапазона (длина волны 2.2 см). Радиолокатор работает в сканирующем режиме при углах падения +/-17 градусов. Шаг по углу падения около 0.7 градусов, пространственное разрешение на поверхности Земли составляет 5 км. Такой радиолокатор работал с 1997 по 2014 годы на спутнике TRMM (Tropical rainfall measuring mission) и с 2014 года - на спутнике GPM (Global precipitation measurement). В состав оборудования на спутниках входит также многоканальный радиометр. Основная задача радиолокатора Ku-диапазона - измерение пространственного распределения осадков (поэтому его называют «дождевым радиолокатором»), также в его данных содержится информация об УЭПР подстилающей поверхности. Эта величина и используется в дальнейшем.

Разработан алгоритм определения дисперсии уклонов морского волнения по зависимости УЭПР от угла падения. Дисперсия уклонов волнения определяется в рамках приближения Кирхгофа для обратного рассеяния. Задача решается однозначно в рамках двухмасштабной модели рассеивающей поверхности [1]. При зондировании на длине волны 2.2 см в рамках данной модели в дисперсии уклонов не учитывается вклад сантиметровых волн спектра морского волнения, что приводит к небольшому занижению дисперсии уклонов по сравнению с хорошо известными данными оптических измерений. Однако использование такой длины волны для дистанционного зондирования позволяет вести мониторинг морской поверхности независимо от облачности и времени суток. В работах [2, 3] получены зависимости дисперсии уклонов по данным в Ku-диапазоне от скорости ветра. При этом дисперсия уклонов определялась лишь в областях вокруг морских буев. В данной работе дисперсия уклонов определяется в полосе обзора шириной 145 км. В исходных данных радиолокатора присутствует как зависимость УЭПР от угла падения, так и вариации УЭПР за счет процессов, происходящих на морской поверхности. Разработанный алгоритм исключает угловой тренд УЭПР, что позволяет «проявить» в полосе обзора процессы, происходящие на морской поверхности, например, конвективные ячейки, атмосферные фронты. Были рассмотрены локальные примеры процессов на морской поверхности: разлив нефти в Мексиканском заливе в 2010 году, развитие ветрового волнения в Персидском заливе в 2016, тайфун Hagibis в октябре 2019 года. Также построены средние за месяц распределения дисперсии уклонов в мировом океане для исследования сезонной изменчивости волнения. Из рассмотрения при определении дисперсии уклонов исключались области с осадками и области, покрытые льдом. Флаг осадков изначально присутствует в данных радиолокатора. Флаг льда был введен в ходе работы по данным многоканального радиометра (радиометры на постоянной основе применяются для картографирования ледяного покрова).

Таким образом, по измерениям дождевого радиолокатора получен новый продукт - дисперсия уклонов морской поверхности. Планируется применение новых данных для глобального мониторинга состояния морской поверхности наряду с данными спутниковой альтиметрии.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 20-05-00462 "а" и 18-35-20057 "мол_а_вед".

Список литературы

- 1) Panfilova M.A., Karaev V.Yu., Guo J. Oil slick observation at low incidence angles in Ku-band // Journal of Geophysical Research, Oceans. 2018. V. 123. P. 1924–1936.
- 2) ChuX., He Y., Karaev V. Y. Relationships between Ku-band radar backscatter and integrated wind and wave parameters at low incidence angles // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2012. V. 50. № 11. P. 4599–4609.
- 3) Freilich M., Vanhoff, B. The relationship between winds, surface roughness, and radar backscatter at low incidence angles from trmm precipitation radar measurements // Journal of Atmospheric and Oceanic Technology. 2003. V. 20. P. 549–562.

СЕЙСМИЧНОСТЬ ЛАПТЕВОМОРСКОГО РЕГИОНА

Подобед А.Ю.¹, Крылов А.А.^{1,2}

¹ Московский физико-технический институт(НИУ), г. Москва

² Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, г. Москва

podobed.ayu@phystech.edu

Ключевые слова: сейсмичность, сейсмотектоника, море Лаптевых, дельта Лены, локальная сейсмическая сеть, база данных.

Море Лаптевых является одним из интереснейших районов взаимодействия срединно-океанического срединного хребта (хребет Гаккеля) с краем континента. Срединно-океанические хребты подходят к краям континентов, помимо моря Лаптевых, только в двух районах: у активной окраины Северной Америки, где спрединг проник в Калифорнийский залив, и на северо-западе Индийского океана, где спрединг распространился в Аденский залив и Красное море [1]. Интерес к сложной сейсмотектонике и геодинамике Лаптевоморского региона с практической точки зрения обусловлен перспективой развития в нем жилищной, производственной и транспортной инфраструктуры для обслуживания функционирования Северного морского пути и разработки месторождений углеводородов на российском арктическом шельфе.

До недавнего времени информация о сейсмичности моря Лаптевых и его обрамления базировалась, в основном, на данных далеких станций. Это обусловлено, прежде всего, труднодоступностью района и дороговизной локальных наземных и морских исследований. Накопленные данные позволяли иметь весьма приближенные представления об особенностях распределения эпицентров. Очевидной была лишь ярко выраженная линейность пояса землетрясений хребта Гаккеля и ее исчезновение при переходе на шельф [2]. Было проведено лишь несколько локальных сейсмологических наблюдений: в 70-х годах в районе Новосибирских островов [3] и в 80-х годах в дельте р. Лена и на побережье губы Буор-Хая [4], донные наблюдения в губе Буор-Хая [5].

В целом, имеющегося объема зарегистрированных сейсмических событий в Лаптевоморском регионе явно недостаточно для полноценного описания его сейсмического режима и геодинамической картины. Поэтому с 2016 года группой сотрудников Института полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера (Германия), Потсдамского университета (Германия), Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН) и Якутского филиала Единой геофизической службы РАН была запущена серия полевых работ по развертыванию временных локальных сетей сеймостанций в окрестности п. Тикси, дельты Лены. Кроме того, осенью 2018 года сотрудниками ИО РАН и МФТИ была установлена временная сеть из 7 широкополосных донных сеймостанций на шельфе моря Лаптевых. Осенью 2019-го года сеть донных сейсмографов была успешно поднята и переустановлена еще на год. Главной целью описанного выше комплекса инструментальных наблюдений является детальное изучение сейсмического режима Лаптевоморского региона, а именно регистрация локальных землетрясений, определение гипоцентра и магнитуды, составление каталога и графика повторяемости.

Первые результаты обработки сейсмических записей на шельфе моря Лаптевых показали, что, во-первых, интенсивность возникновения микроземлетрясений на шельфе моря Лаптевых значительная и составляет около десятка в день. Во-вторых, оценочный кумулятивный график повторяемости землетрясений, произошедших в течение тестовой записи на шельфе моря Лаптевых, в целом соответствует графику повторяемости для сейсмичности хребта Гаккеля. Результаты обработки наземной сети показали, что эпицентры землетрясений образуют кластеры, которые в некоторых случаях соответствуют эпицентральной зонам произошедших землетрясений средней силы и расположению известных разломов. Кроме того, распределение времени в очаге локальных землетрясений также неравномерно, что говорит о наличии роев землетрясений.

Таким образом, обработанный объем записей локальных сетей сеймостанций подтвердил высокий

уровень сейсмичности шельфа моря Лаптевых и в его обрамлении, а также сложность тектонических процессов этого уникального региона. По мере получения новых записей локальных сетей результаты будут уточняться и корректироваться.

Настоящая работа выполнена в рамках государственного задания № 0149-2019-0005 и государственной программы повышения конкурентоспособности ведущих университетов Российской Федерации среди ведущих мировых научно-образовательных центров (программа 5-100) при финансовой поддержке РФФИ (научный проект № 20-05-00533 А).

Список литературы

- 1) Андиева Т.А. Тектоническая позиция и основные структуры моря Лаптевых // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2008. Т.3. №1
- 2) Аветисов Г.П. Еще раз о землетрясениях моря Лаптевых // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. СПб.: ВНИИОкеангеология. 2000. Вып. 3. С. 104-114
- 3) Аветисов Г.П. Сейсмичность моря Лаптевых и ее связь с сейсмичностью Евразийского бассейна // Тектоника Арктики. 1975. № 1. С. 31-36
- 4) Аветисов Г.П. Гипоцентрия и фокальные механизмы землетрясений дельты р. Лены и ее обрамления // Вулканология и сейсмология. 1991. № 6. С. 59-69
- 5) Ковачев С.А., Кузин И.П., Соловьев С.Л. Кратковременное изучение микросейсмичности губы Буор-Хая с помощью донных станций // Физика Земли. 1994. № 7-8. С. 65-76

БАЛАНС ТУРБУЛЕНТНОЙ ЭНЕРГИИ ЧЁРНОГО МОРЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Пузина О.С., Мизюк А.И.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

oksana_puzina@mail.ru

Ключевые слова: Чёрное море, турбулентная кинетическая энергия, генерация вихревой энергии, NEMO.

Для понимания механизмов образования вихрей одним из подходов является оценка компонент уравнения баланса турбулентной кинетической энергии. Существует ряд работ, посвящённых оценке энергетических характеристик для всего Мирового океана и для его различных регионов. В работе [1] был построен энергетический цикл Лоренца для всего океана на основе расчёта модели OMP с пространственным разрешением $1/10^\circ$. Для района расширения течения Куроиси анализировалась декадная изменчивость вихревой кинетической энергии и преобразование средней энергии к турбулентной [2]. Аналогичные исследования [3, 4] проводились и для Чёрного моря, где на основе модели МГИ оценивались составляющие бюджета кинетической и потенциальной энергии. В работе [3] рассматривалась пространственно-временная изменчивость данных компонент для отдельных регионов Чёрного моря. В [4] кинетическая и потенциальная энергии расписываются в виде средней и вихревой компоненты. В результате чего было выяснено, что развитие прибрежных вихрей связано с баротропной неустойчивостью при интенсивном течении и с баротропной и бароклинной неустойчивостью в случае слабого прибрежного течения.

Настоящая работа посвящена исследованию компонент уравнения баланса турбулентной энергии на основе результатов численного моделирования посредством модельного комплекса NEMO [5] для бассейнов Эвксинского каскада (Азовское, Черное, Мраморное моря) с различным пространственным разрешением ($1/9^\circ$, $1/24^\circ$).

Ниже приведено уравнение баланса турбулентной энергии, которое включает в себя турбулентную кинетическую энергию (ТКЭ) и вихревую доступную потенциальную энергию (ВДПЭ) [6]:

$$\frac{d}{dt} \left[\frac{\overline{u_i'^2}}{2} + \frac{g^2}{2N^2} \frac{\overline{\rho'^2}}{\rho_0^2} \right] = -\nabla \cdot \left(\frac{\overline{v'p'}}{\rho_0} \right) - \overline{u_i' u_j'} \frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} - \frac{g^2}{\rho_0^2 N^2} \left(\overline{u_i' \rho'} \frac{\partial \rho}{\partial x_i} \right) - \left(\overline{w' u_i'} \frac{\partial u_i}{\partial z} \right) \quad (1)$$

Где $\frac{\overline{u_i'^2}}{2}$ - это ТКЭ и $\frac{g^2}{2N^2} \frac{\overline{\rho'^2}}{\rho_0^2}$ - ВДПЭ, $N^2 = -\frac{g}{\rho} \frac{d\rho}{dz}$ - частота Брента - Вайсяля. Первый член в правой части обозначает работу за счёт пульсации давления. Второй (A) представляет преобразование энергии при баротропной неустойчивости. Отметим, что A отвечает за обмен между осредненным и пульсационным движениями. Если $A > 0$, то вихревая кинетическая энергия растёт за счёт энергии осредненного движения. При $A < 0$ средняя энергия движения повышается за счёт энергии пульсаций. Третий член — бароклинное преобразование (B). B имеет второе толкование, как преобразование между кинетической и потенциальной энергиями. Если $B > 0$, то растёт ВДПЭ благодаря средней доступной потенциальной энергии (СДПЭ) и наоборот в случае отрицательного B. Последний компонент — неустойчивость Кельвина-Гельмгольца (КГ). КГ зависит от средних вертикальных сдвигов и напряжения Рейнольдса в вертикальной плоскости. Следовательно, A и КГ являются компонентами генерации ТКЭ, в то время как B генерирует ВДПЭ.

Также существует слагаемое $T = -\frac{g}{\rho_0} (\overline{\rho' w'})$, описывающее взаимное превращение энергии между ТКЭ и ВДПЭ. Если T положительно, то растёт ТКЭ за счёт ВДПЭ и наоборот, в случае отрицательного значения T.

Выше описанные компоненты уравнения баланса турбулентной энергии были оценены на основе результатов численного моделирования с различным пространственным разрешением. В результа-

те чего определено какой механизм вносит больший вклад в генерацию вихрей и меандрирования течений. Также была выявлена пространственно-временная изменчивость компонент уравнения баланса турбулентной энергии и их зависимость от пространственного разрешения модельного расчёта.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания № 0555-2019-0002 «Междисциплинарное численное моделирование и высокопроизводительные вычисления».

Список литературы

- 1) von Storch J.-S. An estimate of the Lorenz energy cycle for the World Ocean Based on the 1/10° STORM/NCEP simulation/ J.-S. von Storch , C. Eden, I. Fast, H. Haak, D. Hernández-Deckers, E. Maier-Reimer, J. Marotzke, D. Stammer // Journal of physical oceanography. — 2012. — Vol. 42. — P. 2185–2205.
- 2) Yang Y. On the Decadal Variability of the Eddy Kinetic Energy in the Kuroshio Extension / Y. Yang, X. S. Liang, B. Qiu, S. Chen // Journal of physical oceanography. — 2017. — Vol. 47. — P. 1169–1187.
- 3) Демьшев С.Г. Расчет и анализ энергетики циркуляции вод в прибрежных районах Черного моря / С.Г. Демьшев, О.А. Дымова // Морской Гидрофизический Журнал. — 2017. — № 3.
- 4) Demyshev S.G. Numerical analysis of the Black Sea currents and mesoscale eddies in 2006 and 2011 / S.G. Demyshev, O.A. Dymova // Ocean Dynamics. — 2018. — Vol. 68. — P. 1335–1352.
- 5) Madec G. NEMO ocean engine / G. Madec // IPSL. — 2016. — 386 p. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.nemo-ocean.eu/doc/>. (Дата обращения: 10.09.2019).
- 6) Oey L-Y. Loop Current and Deep Eddies / L-Y. Oey // Journal of physical oceanography. — 2008. — Vol. 38. — P.1426–1449.

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ И ДАННЫМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

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

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

valenru93@mail.ru

Ключевые слова: температура поверхностного слоя моря, Черное море, NEMO, SEVIRI, суточный ход температуры, дневной прогрев, стратификация.

Исследование суточного хода температуры вод Черного моря является одной из наиболее важных и интересных задач по ряду причин. Колебания температуры вод приповерхностного слоя влияют на формирование ветров, оказывают значительное воздействие на обмен теплом и импульсом между океаном и атмосферой, а изменения стратификации вод, связанные с суточными колебаниями потоков тепла, влияют на ряд физических и биогеохимических процессов в верхних слоях моря [1]. Температура поверхностного слоя моря (далее ТПМ) оказывает существенное воздействие на точность восстановления параметров атмосферы и океана в микроволновом диапазоне спутниковых измерений, таких как скорости ветра, солености, содержания водяного пара и др. Поскольку Черное море является практически замкнутым, мониторинг ТПМ особенно важен, так как высокочастотные колебания ТПМ воздействуют на бризовые ветры.

Данная работа посвящена исследованию суточного хода температуры вод Черного моря по данным сканера SEVIRI (радиометр, установленный на геостационарных спутниках Meteosat) и модели NEMO.

В работе выполнен анализ суточных, пространственных и сезонных особенностей распределения температуры вод Черноморского бассейна. Проведено сопоставление ТПМ по данным SEVIRI и температуры на первом горизонте (1,3 м) по данным NEMO для Черного моря. Наблюдается хорошее совпадение сопоставленных данных.

Проанализирована также зависимость амплитуды суточного хода ТПМ по данным SEVIRI от скорости ветра, сезона года, самой ТПМ за длительный период (с 2005 г. по 2016 г.). Выявлена следующая закономерность: максимальные амплитуды суточного хода наблюдаются при низких значениях скорости ветра, что согласуется с результатами, полученными в работах [2] и [3], а также при высоких значениях ТПМ. Также наибольшие амплитуды суточного хода приходятся на теплый период года (с апреля по октябрь).

Выполнено исследование случаев значительного дневного прогрева, их пространственного распределения и вертикальной структуры по данным NEMO. В холодный период года (январь) в отдельных точках вдоль разреза (рассматриваемый район прогрева) скачок температуры достиг $0,4^{\circ}\text{C}$ на первом горизонте (1,3 м), прогрев $0,3^{\circ}\text{C}$ проник под поверхность на глубину около 5 м. В отдельных точках приповерхностного слоя Черного моря разница максимального и минимального значений температуры за сутки достигла $1-1,3^{\circ}\text{C}$. Весной (апрель) для отдельных точек вдоль разреза скачок температуры достиг $0,9^{\circ}\text{C}$ на первом горизонте, прогрев на $0,4^{\circ}\text{C}$ проник на глубину 9 м. Амплитуда суточного хода для отдельных точек приповерхностного слоя достигла $1,5-2^{\circ}\text{C}$.

В работе также проведена оценка стратификации вод Черного моря и глубины залегания верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) для различных сезонов года по данным NEMO о полях температуры и солености на различных горизонтах.

Глубина залегания ВКС оценивалась по значению параметра потенциальной плотности. Выявлено наличие суточного хода глубины залегания ВКС для всех сезонов года. Он непосредственно связан с суточным ходом температуры. В холодный период года глубина залегания ВКС составляет 26-29 м. Наименьшая глубина приходится на 14-16 ч. Весной глубина залегания ВКС изменяется

от 23-27 (март) до 3,5-6 м (май). Минимальная глубина в течение суток приходится на 13-15 ч. В летний период глубина залегания ВКС находится в пределах 3,5-7 м. Минимальное ее значение приходится на 13-16 часов. Осенью наблюдается заглубление ВКС. Глубина залегания ВКС варьируется от 5,5 м (сентябрь) до 20 м (ноябрь). Минимальная глубина залегания ВКС - в 14-17 ч.

Оценка стратификации вод выполнялась по значению частоты Брента-Вяйсяля (N). С января по март устойчивая стратификация не наблюдается. Тем не менее, в отдельные дни, можно отметить наличие максимумов N в 16.00-17.00. Это свидетельствует об образовании дневного термоклина. Весной (в апреле-мае) наблюдается развитие стратификации на горизонтах 5-25 м. Наименьшие значения N отмечены в утренние часы - проявление наличия ночной конвекции. Летом (июнь-август) отмечена устойчивая стратификация на горизонтах 10-20 м. На горизонтах от поверхности до 7-10 м значения N наименьшие, минимум - в 5.00-7.00, что также является проявлением ночной конвекции. С сентября по декабрь происходит заглубление ВКС («опускание» стратифицированных слоев).

Исследование особенностей суточного и сезонного хода, а также пространственного распределения температуры выполнено при поддержке гранта РФФИ 19-05-00752. Оценка стратификации вод Черного моря и глубины залегания верхнего квазиоднородного слоя выполнена в рамках государственного задания по теме №0555-2020-0001. Валидация результатов моделирования и данных дистанционного зондирования выполнено 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. 2019. Т.35. №5. С. 449-468.
- 2) 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. 2019. №. 2. С. 171–184.
- 3) 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. 2019. Т.16. № 5. С. 268–281.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ СПЛОЧЕННОСТИ ЛЬДОВ СЕВЕРО-ЕВРОПЕЙСКОГО БАССЕЙНА

Сафонова К.А.

Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург

ksenisaf@gmail.com

Ключевые слова: сплоченность морских льдов, изменение климата, Северный Ледовитый океан, Гренландское море, Баренцево море, Норвежское море.

Глобальное изменение климата, наблюдающееся в последние десятилетия, оказывает значительное влияние на Северный Ледовитый океан, приводя к сокращению площади морских льдов.

Особенностью структуры ледяного покрова Северного Ледовитого океана является наличие нескольких ледяных массивов, обусловленное географическими и метеорологическими факторами. Изменчивость состояния этих массивов — часть общей тенденции изменчивости ледяного покрова Арктики, но на распределение морских льдов на локальных акваториях оказывают влияние термические факторы, ветровой режим и морские течения.[1]

Основным исследуемым параметром в данной работе является сплоченность льда, величина, показывающая какую часть единичной площади поверхности моря занимает лед, выраженная в долях единицы. Информация о сплоченности льда в области 82°-65°с.ш., 32°з.д.-68°в.д., охватывающей Гренландское, Норвежское и Баренцево море, выбиралась из базы ERA-Interim[2] за период времени с января 1979 по декабрь 2018 года в сетке 0.75° на 0.75°. Из этой же базы были получены данные о меридиональной и зональной компоненте скорости ветра на высоте 10 м и температуре воздуха на высоте 2 м над исследуемой акваторией.

В качестве источника глубоководных данных использовалась база данных ORAS4[3] — оперативная система реанализа океана, откуда была получена информация о меридиональной компоненте скоростей течения на разрезе от 20°з.д. до 15°в.д. на широте 79.5°с.ш. на 18 горизонтах до глубины 200 метров.

Исходный массив данных представлял собой большой объем информации и для выявления сезонных особенностей было принято решение разделить временной ряд сплоченности льда в каждой точки на «зимнюю» и «летнюю» составляющие.

Для этого был осуществлен переход от астрономического года (январь—декабрь) к гидрологическому (октябрь—сентябрь), так как период нарастания и таяния льда описывается внутри гидрологического года наилучшим образом, из исходных данных были удалены все точки, в которых лед не наблюдался никогда, наблюдался изредка (средняя сплоченность за весь период составила меньше 0.1), и точки, в которых хотя бы единожды лед отсутствовал весь гидрологический год. Далее в рамках каждого гидрологического года был определен месяц начала нарастания — момент, когда сплоченность льда в следующем месяце становится больше, чем в текущем. Так как период максимальной сплоченности продолжается несколько месяцев, но при этом характеризуется колебаниями значений сплоченности, момент начала таяния определялся как месяц, после которого сплоченность льдов уменьшалась на величину, равную 5% от размаха колебания сплоченности в текущем гидрологическом году.

На акватории Северо-Европейского бассейна было выявлено уменьшение продолжительности зимы (периода большой сплоченности льдов) на 1-2 месяца по акватории в среднем, сокращение областей с длительной (9 месяцев) зимой. В полярных районах к 2018 г. средняя продолжительность зимы составила 6-8 месяцев, в приатлантических — 3-4 месяца.

Было выявлено существование районов, характеризующихся различной изменчивостью сплоченности льда. В результате классификации сплоченности льдов методом Уорда [4] с метрикой 1-г в теплый сезон были выявлены Баренцевоморский, Северогренландский и Южногренландский

классы, в холодный — Гренландский, Южнобаренцевоморский и Северобаренцевоморский. Изменчивость сплоченности льдов в выделенных классах имеет различный характер. В теплое время года сплоченность льдов за период с 1979 по 2018 гг. Северогренландского класса характеризуется медленным ростом (0.003 год^{-1}), Южногренландского - медленным убыванием (-0.002 год^{-1}), так же как и Баренцевоморского класса (-0.005 год^{-1}). То есть, сплоченность льдов в Баренцевом море за исследуемый период характеризуется непрерывным уменьшением, а в Гренландском море присутствуют области с противоположным характером изменчивости. Во всех районах отмечаются циклические колебания с периодом 5-6 лет.

В зимнее время в изменчивости сплоченности льдов Северобаренцевоморского бассейна за 1979-2018 гг. было выявлено два локальных тренда: отсутствие изменчивости в период с начала исследования до 1998 года, после которого последовало быстрое (-0.013 год^{-1}) уменьшение сплоченности льда. В Южнобаренцевоморском районе за весь период исследования сплоченность уменьшалась со скоростью -0.005 год^{-1} , в Гренландском районе тренд выявлен не был. Таким образом, несмотря на сокращение длительности зимнего периода, сплоченность льдов в бассейне Гренландского моря практически не изменяется, а на акватории Баренцева моря средняя сплоченность за исследуемый период сократилась на четверть. В изменчивости льдов Северобаренцевоморского и Гренландского классов были обнаружены колебания с периодом 4 и 10 лет, соответственно.

Результаты поиска связей между сплоченностью льда и гидрометеорологическими характеристиками на акватории Северо-Европейского бассейна показали, что зимой сплоченность льдов Гренландского класса преимущественно возрастает из-за отрицательных аномалий температуры воздуха, затем при усилении восточных ветров и росте расхода через пролив Фрама. В Северобаренцевоморском классе сплоченность льдов также в основном увеличивается при отрицательных аномалиях температуры воздуха и, во вторую очередь, при усилении северного ветра. В Южнобаренцевоморском классе сплоченность льдов возрастает при интенсификации ветра северного направления.

Летом сплоченность льдов Северогренландского и Южногренландского класса показала рост преимущественно при увеличении расхода через пролив Фрама. Положительные аномалии температуры воздуха, а также усиление западного ветра уменьшают сплоченность льда. В Баренцевоморском классе значимая связь с гидрометеорологическими параметрами не выявлена.

Список литературы

- 1) В.А. Волков, А.В. Мушта, Д.М. Демчев, А.Я. Коржиков, С. Сандвен Связь крупномасштабной изменчивости поля дрейфа льда в Северном Ледовитом океане с климатическими изменениями общей ледовитости, происходящими в течение последних десятилетий // Проблемы Арктики и Антарктики. 2016. №2(108). С. 50-63
- 2) ERA Interim, Monthly Means of Daily Means [Электронный ресурс] // ECMWF URL: <https://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-mods/levtype=sfc/> (дата обращения: 29.04.2019)
- 3) ORAS4 [Электронный ресурс] // ECMWF URL: <http://www.ecmwf.int/products/forecasts/d/charts/oras4/> (дата обращения: 29.04.2019)
- 4) J.H. Ward Jr. Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function // Journal of the American Statistical Association. 1963. №58. P. 236-244

КОРОТКОПЕРИОДНЫЕ ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ НА ШЕЛЬФЕ БЕРИНГОВА МОРЯ ПО ДАННЫМ СОВРЕМЕННЫХ СПУТНИКОВЫХ РАДИОЛОКАТОРОВ С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ

Свергун Е.И.^{1,2}, Козлов И.Е.^{3,4}

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

²Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

³Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

⁴Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург

egor-svergun@yandex.ru

Ключевые слова: короткопериодные внутренние волны, радиолокационные изображения морской поверхности, Берингово море, шельф.

Берингово море характеризуется наличием ярко-выраженного полусуточного прилива, энергия которого диссипирует на его шельфе [1]. Особенность рельефа дна Берингова моря состоит в неодинаковой ширине континентальной окраины на западном и восточном побережьях: у берегов Камчатки и Чукотки шельф узкий и крутой, а у берегов Аляски простирается на многие километры в открытое море и является пологим. Указанные физико-географические особенности Берингова моря приводят к высокой вероятности возникновения очагов генерации короткопериодного внутреннего волнения на шельфе моря. Проявления короткопериодных внутренних волн (КВВ) ранее были зарегистрированы у берегов Камчатки и в Аляскинском заливе [2], однако сведения о них носят отрывочный характер. Данная работа является одной из первых попыток систематизации сведений о проявлениях КВВ на шельфе Берингова моря с использованием высокоразрешающих спутниковых радиолокационных наблюдений.

Для определения характеристик КВВ на акватории Берингова моря были использованы спутниковые радиолокационные изображения (РЛИ), охватывающие летний период 2007, 2011 и 2019 годов. Для анализа характеристик КВВ с июня по октябрь 2007 и 2011 годов использованы РЛИ ENVISAT ASAR с пространственным разрешением 150 и 25 метров. Всего за рассматриваемый период проанализировано 176 РЛИ. Для анализа характеристик КВВ с июля по сентябрь 2019 года использованы РЛИ Sentinel 1 (А, В) в С-диапазоне с режимами съемки IW и EW с разрешением 20 и 40 метров, соответственно. Всего за рассматриваемый период проанализировано 567 РЛИ. Для поверхностных проявлений КВВ определялись такие характеристики как: положение проявления, длина волны, длина дуги лидирующего гребня в пакете, направление распространения, количество волн в пакете. Характеристики проявлений на РЛИ ENVISAT ASAR определялись в полуавтоматическом режиме с использованием алгоритма, разработанного в среде Matlab [3, 4]. Характеристики проявлений на РЛИ Sentinel 1 (А, В) определялись в ПО ESA SNAP.

В общей сложности за 2007 и 2011 годы на проанализированных РЛИ зарегистрировано 120 пакетов проявлений КВВ, которые содержат от 2 до 10 волн (в среднем 4) длиной от 230 до 1500 метров при среднем значении в 680 метров. Длина лидирующего гребня в пакетах варьируется от 4 до 39 км, в среднем составляя 18 км. Наибольшее число волн зарегистрировано в августе и начале сентября. Особенность пространственного положения зарегистрированных КВВ на акватории Берингова моря заключается в их концентрации вдоль западных берегов моря, непосредственно на границе шельфа. Вероятнее всего такая особенность связана с характером покрытия акватории Берингова моря РЛИ: на западное побережье моря приходится в среднем в 2-3 раза больше снимков, чем на восточное. Вероятнее всего причина такой неравномерности покрытия заключается во внутренней политике Европейского космического агентства.

По результатам анализа РЛИ Sentinel 1 (А, В) за 2019 год можно сказать, что акватория Берингова моря покрыта спутниковыми снимками более равномерно, чем в 2007 и 2011 году. Проявления

волн на снимках в 2019 году имеют, в целом, большую протяженность, более отчетливо проявляются на морской поверхности, чем в 2007 и 2011 годах. Проявления КВВ в 2019 году встречаются чаще, чем в 2007 и 2011 годах: в 2019 году КВВ проявляются в среднем на каждом четвертом снимке, а в 2007 и 2011 годах - на каждом десятом снимке. Более детальные характеристики КВВ по результатам анализа РЛИ за летний период 2019 года будут представлены в докладе.

Данная работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-35-20078 мол_а_вед.

Список литературы

- 1) Foreman M., Cummins P., Cherniawsky J., Staben, P. Tidal energy in the Bering Sea // J. Mar. Res. 2006. V.64. P.797–818.
- 2) An Atlas of Internal Solitary-like Waves and their Properties [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.internalwaveatlas.com/Atlas2_index.html, свободный (09.01.2020)
- 3) Kozlov, I. E., Kudryavtsev, V. N., Zubkova, E. V., Zimin, A. V., Chapron, B., Characteristics of short-period internal waves in the Kara Sea inferred from satellite SAR data // Izv. Atmos. Ocean. Phys. 2015. V.58. №9. P.1073–1087
- 4) Kozlov I.E., Zubkova E.V., Kudryavtsev V.N. Internal solitary waves in the Laptev Sea: first results of spaceborne SAR observations // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. 2017. P.99

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ХАЛИННОЙ СТРУКТУРЫ ЧЕРНОГО МОРЯ

Сендеров М.В., Мизюк А.И.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

senderovmaxim@gmail.com

Ключевые слова: вертикальная халинная структура, Черное море, численное моделирование, пролив Босфор.

Для исследования факторов влияющих на формирование вертикальной халинной структуры Черного моря были проведены численные эксперименты. Идея этих расчетов опирается на гипотезу [1]. В соответствии с гипотезой в работе численно моделировалась халинная стратификация Черного моря на различных этапах его эволюции от пресноводного озера до текущего состояния. Циркуляция вод и их вертикальная стратификация формировались только за счет речного стока и поступления высокосолёных мраморноморских вод в Черноморский бассейн.

Для проведения численных экспериментов использовалась конфигурации модельного комплекса NEMO [2] с регулярной географической сеткой, покрывающей бассейны Черного, Азовского и Мраморного морей с шагом по горизонтали порядка 20 км. В качестве начальных условий для Черного и Азовского морей была выбрана равномерно распределенная по вертикали и горизонтали начальная солёность со значениями 8; 12; 16; 18 и 22 ‰. Температура в начальный момент везде однородна и равна 6 °С. В Мраморном море используется открытая граница, на которой задаются профили температуры и солёности (максимально приближены к натурным данным) и ставится условие свободного протекания. В начальный момент времени во всех расчетах уровень в морях задается однородным по пространству: нет перепада между Мраморным и Черным морями. В используемой конфигурации учитываются климатические расходы 11 рек.

В исследовании формирования вертикальной халинной структуры Черного моря важную роль играет водообмен через пролив Босфор. Через пролив поступает высокосолёная мраморноморская вода - нижнебосфорское течение. Верхнебосфорское течение образуется из-за положительного пресноводного баланса (превышение стока рек и осадков над испарением), который вызывает перепад уровней. В настоящее время баланс соли Черного моря близок к равновесному состоянию. В связи с этим, поступление соли, с нижнебосфорским течением, в среднем компенсируется ее выносом верхнебосфорским. Так как солёность вод Мраморного моря приблизительно в два раза выше солёности поверхностных вод Черного моря, то расход верхнебосфорского течения должен быть в два раза больше нижнебосфорского. Такое отношение расходов подтверждается в работе [3], где был проведен ряд численных экспериментов с разной начальной солёностью в черноморском бассейне. Также эти расчеты показали, что при всех начальных условиях в первую очередь устанавливается водообмен между Черным и Мраморным морем. Затем формируется вертикальная стратификация с выраженным халоклином, которая в дальнейшем медленно эволюционирует [4].

Наличие положительного пресноводного баланса и поступление соли через пролив формируют резкую стратификацию вод Черного моря. Распределение солёности по вертикали слабо изменяется до глубин 70-90 м. Ниже, на глубинах 90-300 м, располагается довольно резкий халоклин, ниже вплоть до дна бассейна солёность опять меняется незначительно. Основной вклад в пресноводный баланс вносит речной сток. Чтобы исследовать его влияние на водообмен через Босфор были проведены численные эксперименты. В них климатическое значение расходов рек было умножено на 0,5; 0,75; 1,5; 2. Результаты численного моделирования показывают, что в связи с изменением речного стока значительно меняется вертикальная халинная структура в верхнем слое 0 - 50 м. В проведенных экспериментах глубина залегания галоклина имеет максимальные значения в расчетах, где расходы рек были увеличены. В них же галоклин находится на характерной глубине

залегания для Черного моря, которая составляет 50 — 100 м, потому что происходит распреснение большего слоя. Средние значения отношения расхода верхнего течения к расходу нижнего поставлены в однозначное соответствие со стоком рек. Такое сопоставление показало, что расход в Босфоре линейно зависит от изменения стока рек.

Ранее описанные эксперименты проводились без учета ветрового воздействия. Чтобы изучить влияние поля ветра на формирование халинной стратификации было сгенерировано модельное поле циклонической завихренности, которое учитывалось в качестве граничных условий. Результаты расчетов показали, что при наличии ветрового воздействия кинетическая энергия дольше выходит на квазистационарный уровень. В этих экспериментах галоклин стал более выражен, изза усиления вертикального перемешивания. Также ветровое воздействие повлияло на расход через пролив: произошло запираание высокосоленных Мраморноморских вод. Что повлияло на расход нижнебосфорского течения и привело к большему распреснению, по сравнению с расчетом без ветровой циркуляции на аналогичный период времени.

Работа выполнена по теме гос. задания № 0555-2019-0002 «Междисциплинарное численное моделирование и высокопроизводительные вычисления».

Список литературы

- 1) Ryan W. B., Pitman W. C. Noah's Flood: The new scientific discoveries about the event that changed history. New York : Simon and Schuster, 1999. 319 p.
- 2) NEMO ocean engine / G. Madec [et al.]. IPSL, 2016. 386 p. (Note du Pôle de modélisation de l'Institut Pierre-Simon Laplace No. 27). URL: <http://www.nemo-ocean.eu/doc/> (date of access: 07.05.2019).
- 3) Сендеров М.В., Мизюк А. И. Влияние начальных условий на водообмен через Босфор и формирование вертикальной халинной структуры Черного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. Севастополь: Морской гидрофизический институт РАН, 2017. Вып.2. С. 82–89.
- 4) Мизюк А.И., Сендеров М.В., Коротяев Г.К Основные закономерности долговременной эволюции халинной стратификации Черного моря // Морской гидрофизический журнал. 2019. Т. 35. № 6. С. 646-661

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОСТАНОВКИ ЗАЯКОРЕННЫХ ТЕРМОКОС В ПРОЛИВЕ ВИЛЬКИЦКОГО ОСЕНЬЮ 2019 Г.

Сильвестрова К.П., Фрей Д.И., Осадчиев А.А., Мысленков С.А.

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

ksberry@mail.ru

Ключевые слова: пролив Вилькицкого, Арктика, термокосы.

В осенний сезон 2019 г. во время 78-го рейса НИС Академик Мстислав Келдыш в проливе Вилькицкого было установлено 3 термокосы, которые представляют собой заякоренную линию с размещенными на ней автономными регистраторами температуры (Starmon mini и Centi-T производства фирмы Star-Oddi), а также давления (DST, milli TD Star-Oddi) и солености (DST CT Star-Oddi) в поверхностном и придонном слое. Автономные регистраторы в зависимости от типа имеют точность измерения температуры 0.013°C или 0.1°C , солености ± 1 ЕПС (проводится автоматический пересчет электропроводности) и давления $\pm 0.4\%$ в зависимости от рабочего диапазона (100/500 м). Дискретность измерений установлена 10 секунд для датчиков Starmon mini и 10 минут для остальных датчиков. 24 сентября установлены две заякоренных линии в прибрежной зоне в южной части пролива (в 7 км от маяка Ермак) и одна на глубине 200 м в центральной части пролива. Термокосы были сняты 14 октября, таким образом в работе представлен предсварительный анализ трехнедельного временного ряда распределения температуры по глубине.

Подобные измерения являются уникальными для русского сектора Арктики, т.к. здесь практически не используются долговременные постановки. В условиях атлантификации [6] и активного изучения и освоения региона [5] продолжительные временные ряды данных о температуре воды позволяют решать такие задачи, как: изменение термической структуры вод (например, в данном случае осеннее выхолаживание), изучение переноса плюмов сибирских рек через пролив, формирование внутренних волн, анализ проявлений приливных колебаний в термической структуре и многие другие. Долговременные постановки термокос успешно проводятся при изучении схожих процессов в других морях России, например в Черном море [2] и в Балтийском [1]

Во время экспедиции наблюдался эффект осеннего выхолаживания, при котором падение температуры воздуха вызывает падение температуры воды на поверхности. В арктических условиях, при наличии более распресненного ВКС (верхнего квазиоднородного слоя) и резкого пикноклина, при отсутствии сильного ветрового перемешивания в верхней части пикноклина сохраняется более теплый подповерхностный слой. Такой теплый подповерхностный слой был зафиксирован по данным заякоренных термокос. Разница температур составляет более 0.3°C .

Согласно проведенному предварительному анализу на записи термодатчиков были обнаружены колебания с периодом от 7 минут до 3 часов, которые могут быть отнесены к внутренним волнам, а также с периодом 12 часов, которые вызваны приливами. Согласно публикациям [3] внутренние волны в данном регионе существуют и фиксируются по данным спутниковых снимков, механизм их образования вероятно связан с совместным эффектом влияния батиметрии и приливных колебаний [4].

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-35-70039.

Список литературы

- 1) Мысленков С.А., Кречик В.А., Соловьев Д.М. Анализ температуры воды в прибрежной зоне Балтийского моря по спутниковым данным и измерениям термокосы // Труды Гидрометцентра России. 2017. Вып.364. С. 159-169
- 2) Очередник В.В., Баранов В.И., Зацепин А.Г., Куклев С.Б. Термокосы ЮО ИО РАН: конструкция, методика и результаты метрологического исследования датчиков // Океанология. 2018. Т. 58. № 1. С. 719–730.

- 3) Kozlov I. et al. SAR observations of internal waves in the Russian Arctic seas //2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). IEEE. 2015. P. 947-949.
- 4) Morozov E.G., Paka V.T. Internal waves in a high-latitude region //Oceanology. 2010. V. 50. №. 5. P. 668-674.
- 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. doi:10.1002/2016JC012603
- 6) Polyakov I.V., Pnyushkov A.V., Alkire M.B., Ashik I.M., Baumann T.M., Carmack E.C., Goszczko I., Guthrie J., Ivanov V.V., Kanzow T., Krishfield R., Kwok R., Sundfjord A., Morison J., Rember R., Yulin A. Greater role for Atlantic inflows on sea-ice loss in the Eurasian Basin of the Arctic Ocean// Science. 2017. V. 356(6335). P. 285-291.

ПОИСК КРИТЕРИЯ ВЫДЕЛЕНИЯ СТРУКТУРЫ ХОЛОДНОГО ПРОМЕЖУТОЧНОГО СЛОЯ В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ

Собаева Д.А.^{1,2}, Степанова Н.Б.^{1,2}

¹Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), г. Долгопрудный

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

dasha.sobaeva@mail.ru

Ключевые слова: термохалинная структура, холодный промежуточный слой, Балтийское море.

Сезонное изменение температуры и глобальный водообмен - основные факторы, определяющие термохалинную структуру водного бассейна. На стратификацию Балтийского моря влияет связь с плотными - солеными и тёплыми водами Атлантического происхождения в его юго-западной оконечности и большой сток пресноводных вод из рек в северной части. Ежегодно в летний период в Балтийском море наблюдается холодный промежуточный слой (ХПС). По данным натурных измерений [1] он формируется в марте и после формирования сезонного термоклина отчётливо наблюдается с начала мая и до середины октября, пока граница между прогретыми поверхностными и промежуточными водами не стирается ветровым перемешиванием и сезонным выхолаживанием.

Под холодным промежуточным слоем в данной работе понимается слой между глубинами, где температура воды максимально быстро падает и максимально быстро растёт с глубиной [2]. В работе [2], выделяя таким образом ХПС в поле температуры, на основе натурных измерений из юго-восточной части Балтийского моря была отмечена внутри ХПС ежегодно повторяющаяся структура в поле солёности. В структуре ХПС наблюдался квазиоднородный подслой, где вариации солёности (плотности) по вертикали незначительны, и градиентный подслой, в котором солёность (плотность) меняется с глубиной в десятки раз быстрее. Отмеченная структура была подтверждена на примере натурных данных 2006 г. по всему Балтийскому морю [3]. Данная работа продолжает проверку наличия подобных подслоев на акватории всего собственно Балтийского моря на примере данных 2010 г., а также предлагает выбор математического критерия выделения границы между этими подслоями.

Для анализа ХПС в бассейнах Балтийского моря и выделения его подслоев был использован массив гидрофизических натурных данных по продольному разрезу собственно Балтийского моря - от Арконского бассейна до Финского залива. В работе использовались STD данные, полученные в экспедиции на НИС «Алькор» (Forschungsschiff Alkor) с 30 июня по 13 июля 2010 г. (Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde) [4]. Данные 23 станций в Борнхольмском, Восточном, Северном и Западном Готландских бассейнах и Гданском заливе, имели дискретность 4 измерения на метр.

В данной работе проводится проверка 4 возможных критериев выделения подслоев ХПС. Для определения были исследованы следующие способы: 1) определение глубины, на которой вторая производная условной плотности равна нулю; 2) определение глубины максимального значения частоты Вьяйсяля-Брента; 3) определение глубины максимального отрицательного градиента частоты Вьяйсяля-Брента; 4) определение глубины первого значительного отклонения графика солёности от прямой в пределах ХПС.

В результате анализа вертикальных профилей солёности и условной плотности из различных бассейнов Балтийского моря, наиболее точный результат получен именно с помощью четвертого из вышеперечисленных способов - определения глубины значительного отклонения. Остальные же дают либо завышенные, либо заниженные значения глубины, которые выходят за пределы области поиска границы между подслоями, а критерии поиска глубины по частоте Вьяйсяля-Брента в большинстве случаев дают глубину верхней границы ХПС.

Проведённый анализ структуры подслоёв ХПС по данным за летний период 2010 года, подтвердил наличие квазиоднородного и градиентного подслоёв по всей акватории собственно Балтийского моря.

Сбор и обработка данных выполнены в рамках государственного задания тема № 0149-2019-0004. Анализ данных выполнен при поддержке РФФИ проект № 18-35-00453 мол_а.

Список литературы

- 1) Stepanova N. B., Chubarenko I. P., and Shchuka S. A. (2015). Structure and Evolution of the Cold Intermediate Layer in the Southeastern Part of the Baltic Sea by the Field Measurement Data of 2004–2008. *Oceanology*. Vol. 55, No. 1, pp. 25–35.
- 2) Stepanova N. B. Vertical structure and seasonal evolution of the cold intermediate layer in the Baltic Sea // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. – 2017. – Vol. 195. – P. 34-40.
- 3) Степанова Н. Б., Собаева Д. А. Элементы структуры холодного промежуточного слоя Балтийского моря на примере натуральных данных 2006 г. // *Материалы конференции КИМО-2019, 22-26 апреля* – С. 167-168.
- 4) *Oceanographic Database Search with Interactive Navigation*. [Электронный ресурс]. Режим доступа: odin2.io-warnemuende.de. (Дата обращения: 15.11.2019).

АДВЕКЦИЯ ТЕПЛА В БАРЕНЦЕВО МОРЕ

Соколов А.А.¹, Гордеева С.М.²

¹Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург

²Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург

a.sokolov@aari.ru

Ключевые слова: Баренцево море, адвекция тепла, атлантические воды.

В настоящее время приток теплых атлантических вод в Баренцево море влияет на изменение площади его ледяного покрова. В работе осуществляется оценка и анализ адвективного потока тепла, поступающего через меридиональный разрез по 16,5° в.д. в бассейн Баренцева моря до глубины 540 метров за период 1980-2015 гг. на основании данных реанализа ORAS4 (<http://apdrc.soest.hawaii.edu/>). Тепловой поток рассчитывался для каждой ячейки вертикального разреза отдельно с учетом температуры замерзания. Выявлено, что поток тепла, поступающий в Баренцево море, распространяется тремя основными струями (южной, центральной и северной), располагающимися в углублениях рельефа дна на входе в бассейн. Преобладающим потоком воды, проходящим через меридиональный разрез, является струя в его центральной части, поток воды в которой в среднем составляет 2,1 Св. За счет повышенных значений температуры воды в прибрежной зоне Норвегии мощным потоком тепла является южный поток (62 ТВт). Общий поток тепла в бассейн Баренцева моря имеет значимый положительный тренд с величиной 0,80 ТВт/год. Так же, оценки изменчивости горизонтальных потоков тепла в океане и атмосфере в регионе Баренцева моря рассматриваются в многочисленных научных исследованиях, например [1-3]. По оценкам тренда оказалось, что за исследуемый период центральный поток тепла увеличился на 31%, наиболее значительно усилился северный поток тепла - на 42%, что свидетельствует о переносе ядра тепловой активности на границе моря к северу, с чем может быть связано уменьшение площади ледяного покрова в Баренцевом море. В межгодовой изменчивости потоков тепла центральной и северной струй выявляются значительные положительные тренды, обусловленные как усилением течений, так и потеплением воды. Всё это свидетельствует о том, что для правильной оценки теплового баланса Баренцева моря необходимо принимать во внимание динамику вод как в южной, прилегающей к Норвегии, так и в северной, прилегающей к Шпицбергену, границам моря.

Список литературы

- 1) Балкин А.А., Алексеев Г.В., Богородский П.В., Харитонов В.В., Соколов В.Т. Вертикальные потоки тепла в верхнем 400 – метровом слое Арктического бассейна по данным наблюдений на дрейфующей станции «СЕВЕРНЫЙ ПОЛЮС-38» // Проблема Арктики и Антарктики. 2014. №2. С. 41 – 56
- 2) Trenberth K.E., Carton J. M. Estimates of Meridional Atmosphere and Ocean Heat Transports // J. Clim. 2001. V. 14. № 16. P. 3433 – 3443.
- 3) Farneti R., Vallis G.K. Meridional Energy Transport in the Coupled Atmosphere – Ocean System: Compensation and Partitioning // J. Clim. 2013. V. 26. № 18. P. 7151 – 7166.

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ НА КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В АРКТИКЕ

Соловьев Д.А.

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

solovev@guies.ru

Ключевые слова: Арктика, климатические изменения, региональные механизмы, климатические риски.

Климатическая изменчивость Арктики в значительной степени определяется региональными и локальными механизмами, многие из которых могут играть определяющую роль. Наличие таких механизмов связано с очень большим количеством обратных связей, регулирующих климатические процессы в Арктике.

В работе исследована обобщенная схема обратных связей в Арктике, характеризующая степень воздействия отдельных региональных механизмов на климат Арктики. Выполнена оценка роли и воздействия одного из ключевых механизмов, связанных с влиянием Атлантического океана, в частности Атлантической мультидекадной осцилляции (АМО), являющейся собственной модой океанской климатической изменчивости [1]. Влияние этого механизма на Арктический климат реализуется, в частности, через адвекцию Атлантических вод [2]. Для определения и сравнения термохалинного состояния вод Северной Атлантики в различные фазы АМО по различным массивам данных были выбраны глобальные поля температуры и солёности по двум объективным анализам EN4 [3] и WOA2013 [4,5]. На основе изучения отклика характеристик Арктического климата на притоки Атлантических вод на 60° с.ш. и в Северно-европейском бассейне, подтверждено предположение, что мультидекадные (10-ти летний период) изменения климата во многом порождаются долгопериодными собственными изменениями в термохалинной циркуляции Северной Атлантики (область Атлантического океана от экватора до 70° с.ш.), природа которых до сих пор до конца не достаточно изучена [6].

Выполненные оценки показали, что климатические изменения, вызываемые собственными изменениями в термохалинной циркуляции Северной Атлантики, могут иметь существенное значение в формировании климата Арктического региона, которое сравнимо с современным долгопериодным трендом потепления климата Земли, в свою очередь вызванным внешними, в основном, антропогенными факторами. Термохалинная циркуляция в Северной Атлантики способствует переносу поверхностных вод с юга на север, которые на широте 60° с.ш. опускаются и на глубину и движутся далее обратно на юг. При этом верхний слой теплой воды отдаёт свое тепло атмосфере, оказывая воздействие на климат региона.

Актуальность работы определяется тем, что мониторинг, диагностика и физическое описание основных региональных механизмов климатической изменчивости (климатических циклов) в высоких широтах Северного полушария позволит минимизировать технологические и экологические риски, повысить эффективность и безопасность производственных процессов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-60252.

Список литературы

- 1) Gulev S.K., Latif M. The origins of a climate oscillation // Nature. 2015. Т. 521. С. 428–430.
- 2) Gladyshev S. V., Gladyshev V. S., Sokov A.V. et al. Average annual structure and transport of waters eastward of Greenland by the system of western boundary currents. 2017. Т. 473, № 1. С. 313–317.

- 3) Good S.A., Martin M.J., Rayner N.A. EN4: Quality controlled ocean temperature and salinity profiles and monthly objective analyses with uncertainty estimates // J. Geophys. Res. Ocean. Wiley Online Library, 2013. Т. 118, № 12. С. 6704–6716.
- 4) Locarnini R.A., Mishonov A.V., Antonov J.I. et al. World ocean atlas 2013. Volume 1, Temperature. 2013.
- 5) Zweng M.M., Reagan, J.R., Antonov J.I. et al. World ocean atlas 2013. volume 2, Salinity. 2013.
- 6) Дианский Н.А. Моделирование циркуляции океана и исследование его реакции на короткопериодные и долгопериодные атмосферные воздействия // М. Физматлит. 2013. Т. 271.

РЕЗУЛЬТАТЫ СОПОСТАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА И СОСТАВЛЯЮЩИХ РАДИАЦИОННОГО БАЛАНСА ЗЕМЛИ В ТРОПИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА ВО ВРЕМЯ СОБЫТИЙ ЭЛЬ НИНЬО ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Спиряхина А.А., Червяков М.Ю.

*Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского,
г.Саратов*

sprhna@gmail.com

Ключевые слова: Эль-Ниньо, ИКОР-М, альbedo, поглощенная солнечная радиация, температура поверхности океана.

Во время событий Эль-Ниньо (Ла-Нинья) в тропической части Тихого океана наблюдается повышение температуры поверхности океана (ТПО) и изменение циркуляционных условий атмосферы. Вследствие таких изменений происходит увеличение количества конвективных облаков в одних районах и ее уменьшение в других, что, в свою очередь, обуславливает изменение энергетического режима. Используя данные потоков поглощенной солнечной радиации и альbedo, полученных с помощью радиометра ИКОР-М, была оценена возможность обнаружения этого явления в Тихом океане с 2010 по 2019 гг. [1–6].

По результатам проведенных расчетов были построены графики, на которых показано как проявляется Эль-Ниньо в поле поглощенной радиации и альbedo.

В настоящей работе было произведено сопоставление данных среднемесячных величин составляющих радиационного баланса Земли по данным ИКОР-М со среднемесячными значениями ТПО из архива ERSST (Extended Reconstructed Sea Surface Temperature).

При выявлении Эль-Ниньо принято выделять следующие территории: Nino 1+2 (0–10° ю.ш., 90–80° з.д.), Nino 3 (5° с.ш. – 5° ю.ш., 150–90° з.д.), Nino 3.4 (5° с.ш. – 5° ю.ш., 170–120° з.д.), Nino 4 (5° с.ш. – 5° ю.ш., 160° в.д. – 150° з.д.) Для каждого региона Nino были рассчитаны коэффициенты корреляции (R) между альbedo и ТПО, а также между поглощенной радиацией и ТПО для всего рассматриваемого периода времени.

Стоит отметить, что максимальное значение R в 2010 году отмечалось в регионе Nino 1+2 и было отрицательным $R = -0,88$. Это связано с тем, что в данном регионе при росте значений ТПО величины альbedo не возрастали. В данном регионе значения ТПО в среднем колебались от 20 до 26 °C, следовательно, здесь сильная конвекция не образовывалась. ТПО в остальных регионах достигала 30 °C, что приводило к образованию конвективной облачности и увеличению альbedo.

Составляющие радиационного баланса имеют существенный отклик вследствие изменения ТПО в экваториальной части Тихого океана. В различные годы для рассматриваемого периода коэффициенты корреляции между величинами альbedo и ТПО достигали 0,85–0,90, а между величинами поглощенной радиации и ТПО достигали от -0,86 до -0,91. Наибольшие взаимосвязи обнаружены для регионов Nino 4, Nino 3.4 и Nino 1+2. Для региона Nino 3 не было выявлено существенной взаимосвязи ТПО ни с величинами альbedo, ни с поглощенной солнечной радиацией.

Список литературы

- 1) Богданов М.Б., Воробьев В.А., Котума А.И., Червяков М.Ю. Связь шкал измерителей коротковолновой отраженной радиации ИКОР-М ИСЗ "Метеор-М" № 1 и № 2 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 4. С. 252.

- 2) Скляров Ю.А., Воробьёв В.А., Котума А.И., Червяков М.Ю., Фейгин В.М. Алгоритм обработки данных наблюдений уходящей коротковолновой радиации с ИСЗ "Метеор-М" № 1 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т.9. №3. С. 83–90.
- 3) Червяков М.Ю., Богданов М.Б., Котума А.И., Шишкина Е.В., Спирихина А.А., Суркова Я.В., Кулькова Е.В., Великанов В.С. Особенности пространственно-временных вариаций альbedo и поглощённой солнечной радиации по данным измерений радиометров ИКОР-М // Сборник тезисов докладов Четырнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». М.: ИКИ РАН. 2016. С. 207
- 4) Червяков М.Ю., Спирихина А.А., Суркова Я.В. Пространственно-временное распределение поглощенной солнечной радиации над океанами // Тезисы докладов Всероссийской научной конференции «Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды. Основные результаты и пути развития». Москва: 2018.
- 5) Cherviakov M., Spiryakhina A., Surkova Ya., Kulkova E., Shishkina E. Short Wave Part of Earth's Energy Budget at Top of Atmosphere During 2009-2017 from Radiometer IKOR-M Data // AGU Fall Meeting 11-15 December 2017. New Orleans, USA.
- 6) Червяков М.Ю., Котума А.И., Спирихина А.А. Атлас альbedo по данным измерений отраженных потоков коротковолновой радиации, полученных с помощью гидрометеорологического спутника «Метеор-М» № 1 // Саратов: Изд-во Саратов. ун-та. 2017. 57 с.

КОНВЕКТИВНЫЙ ТЕПЛОПЕРЕНОС В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ МОРСКОГО ЛЬДА

Сумкина А.А.^{1,2}, Богородский П.В.³

¹Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, г. Москва

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

³Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург

alexandrasumkina@gmail.com

Ключевые слова: снежный покров морского льда, конвекция, море Лаптевых, критические числа Рэлея.

Природные льды, как правило, покрыты слоем снега, состоящего из ледяного скелета и наполненных паровоздушной смесью пор [1]. Температурное поле в снежном покрове морского льда является неоднородным. При наличии градиента температуры в нём возникает конвекция, значительно интенсифицирующая энерго- и массообмен с граничащими средами. Особенно благоприятные условия для возникновения неустойчивости воздуха создаются в снежном покрове дрейфующих льдов, нахождение которых на поверхности воды в холодное время года обеспечивает необходимый перепад температуры на его внешних границах.

Задача устойчивости равновесия воздуха в однородном слое снега рассматривалась в ряде работ [1–3], однако её океанологический аспект до сих пор малоизучен. В данной работе исследуется условие возникновения макроскопического движения воздуха в снежном покрове морского льда и возможности протекания в естественных условиях.

Было получено аналитическое решение линеаризованной задачи устойчивости, описываемое общей системой уравнений гидродинамики, включающей уравнения движения, переноса тепла и неразрывности [4–5]. Для различных типов граничных условий, оценены критические параметры основного уровня неустойчивости равновесия воздуха с учётом тепло- и массообмена поверхности снега с атмосферой и льдом.

Показано, что при типичных значениях теплофизических параметров воздуха, льда и воды основной вклад в изменение критерия неустойчивости (фильтрационного числа Рэлея) вносит энергообмен снежного покрова с атмосферой, а влияние естественных вариаций плотности снега и толщины льда незначительно. С помощью расчётов по термодинамической модели и данным ледовых и метеорологических наблюдений на стационаре ААНИИ «Мыс Баранова» (арх. Северная Земля, западная часть моря Лаптевых) зимой 2015–2016 гг. оценены значения и временная изменчивость чисел Рэлея.

Критические числа Рэлея, полученные из решения линеаризованной задачи для основного уровня неустойчивости, не превышают известного для горизонтального пористого слоя с непроницаемыми изотермическими границами значения $4\rho^2$. Значения критических чисел Рэлея, полученных по данным экспериментальных и теоретических расчетов, близки друг к другу, что подтверждает реальность возникновения конвективного режима теплопереноса в снежном покрове морского льда и необходимость его учета в расчетах теплового и массового баланса морских льдов.

Список литературы

- 1) Жекамухов М.К., Жекамухова И.М. О конвективной неустойчивости воздуха в снежном покрове // Инж.-физ.журнал. 2002. Т. 75. № 4. С. 65–72.
- 2) Гершуни Г.З., Жуховицкий Е.М. Конвективная устойчивость несжимаемой жидкости. М.: Изд-во Наука, 1972. 392 с.

- 3) Жекамухов М.К., Шухова Л.З. Конвективная неустойчивость воздуха в снеге // ПМТФ. 1999. Т. 40. № 6. С. 54–59.
- 4) Colbeck S.C. Air movement in snow due to windpumping // J. Glaciology. 1989. Vol. 35. № 120. P. 209–213.
- 5) Powers D., O'Neill K., Colbeck S.C. Theory of natural convection in snow // J. Geophys. Res. 1985. Vol. 90. № D6. P. 10641–10649.

СЕВЕРОАТЛАНТИЧЕСКОЕ КОЛЕБАНИЕ И ТЕПЛОВЫЙ БАЛАНС ВЕРХНЕГО ПЕРЕМЕШАННОГО СЛОЯ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ

Сухонос П.А., Сухонос О.Ю.

Институт природно-технических систем, г. Севастополь

pasukhonis@mail.ru

Ключевые слова: Североатлантическое колебание, межгодовая изменчивость, баланс тепла, Северная Атлантика.

Североатлантическое колебание (САК) - один из основных климатических сигналов в атмосфере Северного полушария (см. например, [1] и библиографию в ней). В поле аномалий температуры верхнего перемешанного слоя (ВПС) Северной Атлантики САК проявляется в виде трипольной структуры. Этой структуре характерны синфазные аномалии температуры ВПС в низких и высоких широтах Северной Атлантики и противофазные аномалии в субтропиках, формирующиеся в периоды с высокими и низкими значениями индекса САК.

В настоящей работе проводится анализ изменений компонентов теплового баланса ВПС, формирующих аномалии температуры ВПС трипольного типа в Северной Атлантике, под влиянием САК в зимний период. Методика расчета составляющих теплового баланса ВПС и оценка погрешностей, возникающих при этом, изложена в статье [2]. Среднемесячные величины индекса САК взяты с сайта Национального центра прогнозирования климата, США (CRS, NOAA) [3].

Корреляционный анализ между временными рядами индекса САК, температуры и толщины ВПС, а также суммарного потока тепла на поверхности океана в январе за период 1959-2011 гг. показал следующее. Высокие значения индекса САК (усиление интенсивности зональной циркуляции атмосферы) сопровождаются аномальным выхолаживанием и заглублением ВПС в тропической и субполярной зонах Северной Атлантики. В эти периоды здесь отмечается повышенная отдача тепла океаном в атмосферу. В субтропической зоне, наоборот, охлаждение ВПС замедляется вместе с уменьшением толщины ВПС и пониженной отдачей тепла океаном в атмосферу. Это подтверждает важность локальных процессов теплообмена в системе океан-атмосфера в формировании межгодовой изменчивости характеристик ВПС под влиянием САК. Вместе с тем, описанная закономерность нарушается в некоторых регионах Северной Атлантики.

Для анализа роли различных физических процессов в формировании аномалий характеристик ВПС, связанных с САК, выполнена оценка величин всех слагаемых замкнутого уравнения теплового баланса ВПС на межгодовом масштабе и проведено сопоставление их со слагаемыми, описывающими локальное взаимодействие океана с атмосферой. Получено, что при усилении САК отрицательная аномалия температуры ВПС в западной части тропической зоны обусловлена аномалиями горизонтальной адвекции тепла и вихревой диффузии тепла, а также аномальными потоками тепла на поверхности океана. Противофазные изменения температуры ВПС в восточной части тропической зоны и западной части субтропической зоны сопровождаются аномалиями компонентов теплового баланса противоположного знака. В субполярной зоне аномалии горизонтальной адвекции тепла и вихревой диффузии тепла также вносят существенный вклад в синфазное с тропиками изменение температуры ВПС. В областях глубокой конвекции в высоких широтах важны также аномальные потоки тепла на нижней границе ВПС, а в восточной части субполярного круговорота - аномалии суммарных потоков тепла на поверхности океана. Таким образом, в разных частях Северной Атлантики эволюция характеристик ВПС, обусловленная САК, определяется разными слагаемыми уравнения теплового баланса.

Список литературы

- 1) Нестеров Е.С. Североатлантическое колебание: атмосфера и океан. М.: Триада, 2013. 144 с.

- 2) Полонский А.Б., Сухонос П.А. О вкладе вихревого переноса в среднегодовой бюджет тепла верхнего слоя Северной Атлантики // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2018. Т. 54. № 5. С. 597–606.
- 3) http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/nao_ts.shtml

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ СОСТОЯНИЯ АРКТИЧЕСКОГО ХАЛОКЛИНА НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

Тарханова М.А.

Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск

m.tarkhanova@g.nsu.ru

Ключевые слова: Северный Ледовитый океан, арктический халоклин, ледяной покров, стратификация океана, термохалинная циркуляция.

Термохалинная структура Северного Ледовитого океана формируется за счет поступления соленых атлантических, менее соленых тихоокеанских и пресных речных вод, процессов формирования и таяния льда [1]. В Канадском и Евразийском бассейнах Северного Ледовитого океана наблюдаются выраженные халоклинные структуры. Поверхностный слой с низкой соленостью формируется вследствие притока рек и вод Берингова пролива, циклов роста / таяния морского льда и обменных процессов с атмосферой. Арктический халоклин, охватывающий глубины от 50 до 250 м между поверхностным перемешанным слоем и слоем атлантических вод, характеризуется сильным увеличением солености (и потенциальной плотности) и изменением температурных структур. Слой холодного халоклина, изолируя поверхностные воды от тепла нижележащих вод атлантического слоя, позволяет поддерживать состояние ледяного покрова Северного Ледовитого океана.

Данные наблюдений показывают, что состояние арктического халоклина может меняться, что может оказывать влияние на ледяной покров. В работе [2] показано, что в течение последних 40 лет происходит опреснение халоклина в Канадском бассейне, в то время как в Евразийском бассейне с конца 1990-х годов ярко выражена тенденция к осолонению. По данным, собранным во время научных ледовых экспедиций Oden'91, SCICEX'93 и SCICEX'95, слой холодного халоклина Евразийского бассейна сократился в течение 1990-х годов и охватил значительно меньшую площадь, чем в предыдущие годы. Изменения также наблюдаются в теплосодержании и глубине атлантического водного слоя [3].

В настоящем докладе обсуждаются вопросы, связанные с анализом состояния арктического халоклина в течение последних десятилетий. Для проведения исследования использовалась трехмерная численная модель океана и морского льда SibCIOM (Siberian Coupled Ice-Ocean Model) [4, 5], разработанная в ИВМиМГ СО РАН для исследования климатической изменчивости Северного Ледовитого океана. С использованием данных реанализа атмосферы CORE-II [6] проведена серия численных экспериментов, направленная на исследование чувствительности модельного распределения гидрологических характеристик к вариациям атмосферного воздействия (интенсивности антициклонической циркуляции в Канадском бассейне) и увеличению речного стока сибирских рек. Основное внимание уделяется анализу модельного распределения солености вод 250-метрового слоя и ее изменчивости. Выделены области Арктического бассейна, в которых изменчивость арктического халоклина наиболее выражена.

Исследование проводится в соответствии с проектом РФФИ 20-05-00536 А.

Список литературы

- 1) Никифоров Е.Г., Шпайхер А.О. Закономерности формирования крупномасштабных колебаний гидрологического режима Северного Ледовитого океана // Л: Гидрометеиздат. 1980. 270 с.

- 2) Polyakov I.V., Pnyushkov A.V., Carmack E. Stability of the arctic halocline: a new indicator of arctic climate change // Environmental Research Letters. 2018. Vol. 13. № 12. P. 125008.
- 3) Steele, M., Boyd T. Retreat of the cold halocline layer in the Arctic Ocean // J. Geophys. Res. 1998. Vol. 103. № C5, P. 10419-10435.
- 4) Golubeva E.N., Platov G.A. On improving the simulation of Atlantic Water circulation in the Arctic Ocean // J. Geophys. Res. 2007. Vol. 112. P. C04S05.
- 5) Golubeva E.N., Platov G.A. Numerical Modeling of the Arctic Ocean Ice System Response to Variations in the Atmospheric Circulation from 1948 to 2007 // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2009. Vol. 45. № 1. P. 137–151.
- 6) Large W.G., Yeager S.G. Diurnal to decadal global forcing for ocean and sea-ice models: The data sets and flux climatologies // NCAR Technical note NCAR/TN-4601STR. 2004.

МЕЖГОДОВАЯ И СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК МЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЫ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Травкин В.С., Белоненко Т.В.

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

vtavkin99@gmail.com

Ключевые слова: спутниковые данные, Лофотенская котловина, Лофотенский вихрь, межгодовая изменчивость, сезонная изменчивость.

Лофотенская котловина, расположенная в центральной части Норвежского моря, является «горячей точкой Норвежского моря», т.к. характеризуется локальным максимумом вихревой кинетической энергии и является важнейшим транспортным регионом для теплых и соленых вод Атлантики на их пути в Арктический бассейн. В ходе океанологических экспедиций с начала 60-х годов XX века в районе Лофотенской котловины на глубинах порядка 300–1000 м была обнаружена внутрипикноклинная антициклоническая линза - Лофотенский вихрь с центром в районе 70° с.ш. и 4° в.д. Установлено, что вихрь имеет средний радиус порядка 37 км, а также орбитальную скорость 30 см/с. Кроме того, зафиксировано колебание пространственного положения ядра данного вихря в течение года, достигающее значений 130 км [1].

Зимняя глубокая конвекция является необходимым условием существования этого уникального природного феномена, так как она создает благоприятные условия его ежегодной регенерации Лофотенского вихря. Другим механизмом, позволяющим поддерживать в центре котловины высокую антициклоническую завихренность, является захват мезомасштабных вихрей, отрывающихся от Норвежского течения. Мезомасштабные вихри представляют наиболее важную составляющую динамики Лофотенской котловины.

Целью нашей работы является изучение межгодовой и сезонной изменчивости характеристик мезомасштабных вихрей Лофотенской котловины по данным дистанционного зондирования.

Указанная цель достигается путем использования данных за период 1993–2016 гг. массивов «Mesoscale Eddies in Altimeter Observations of SSH» и «GLOBAL_REANALYSIS_PHY_001_030».

Первый массив базируется на алгоритме, который основан на методе идентификации и трекинга вихрей посредством аномалий уровня поверхности океана (SLA), за счет анализа альтиметрических снимков, описанного в работе [2]. Для создания этого массива применялся специально разработанный алгоритм автоматической идентификации и трекинга вихрей в поле аномалий уровня моря (SLA), основанный на анализе альтиметрических снимков [3]. Описание алгоритма дано в работе [4].

В основу данного алгоритма заложено разделение анализируемого поля аномалий уровня с дискретностью, равной 1 суткам на пиксели (квадраты со стороной 0,25°) и последующее выделение на их основе мезомасштабных вихрей. Алгоритм выделяет вихри как скопления пикселей (максимальный размер - 2000 пикселей), которые удовлетворяют определенному набору критериев (компактность, наличие экстремума аномалии уровня внутри этого скопления, а также равнозначность значений аномалий внутри контура этого скопления со знаком его экстремума).

Данный массив содержит информацию о следующих параметрах:

- амплитуда (см) - амплитуда определялась как разность между значением экстремума аномалии уровня внутри замкнутого контура SSH и средним значением аномалии уровня внутри данного контура. Для вихря любой полярности амплитуда представляет собой положительную величину.

- радиус (км) - определялся как величина, равная радиусу окружности, площадь которой совпадает с площадью пограничного замкнутого контура SSH, на котором орбитальная скорость вихря максимальна.

- орбитальная скорость (см/с) - значение средней геострофической скорости, приуроченное к наиболее удаленному от центра вихря замкнутому контуру SSH;
- время существования вихря – количество дней, в течение которых данный вихрь фиксировался в поле аномалий уровня

Второй массив представлен глобальным реанализом на основе спутниковых наблюдений с горизонтальной дискретностью равной $1/12^\circ$ и вертикальной дискретностью равной 50 уровням. Данный массив основан на глобальной системе прогнозирования CMEMS (Copernicus Marine Environment Monitoring Service) в реальном времени. Компонентом модели является платформа NEMO, базирующаяся на анализе поверхности океана ECMWF ERA–Interim. Спутниковые наблюдения ассимилируются с помощью фильтра Калмана пониженного порядка. Массив включает в себя среднесуточные и среднемесячные данные по температуре, солености, направлению морских течений, уровню моря, глубине перемешанного слоя и параметрах морского льда. Полученные результаты свидетельствуют о наличии сезонной изменчивости - в зимний и весенний период число вихрей антициклонического и циклонического типа минимально, однако орбитальные скорости в данные сезоны максимальны, а также о наличии межгодовой изменчивости, выраженной изменением таких характеристик, как амплитуды, радиусы и орбитальные скорости мезомасштабных вихрей обоих типов.

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. 2014. № 7. С. 108-114.
- 2) Schlax M.G., Chelton D.B., The “Growing Method” of eddy Identification and Tracking in Two and Three Dimensions// 2016. p. 1–7.
- 3) Chelton D.B., Schlax M.G., Samelson R.M., Global observations of nonlinear mesoscale eddies// Progress in Oceanography. 2011. № 91. p. 196–214.
- 4) Williams S., Petersen M., Bremer P.–T., Hecht M. et al., Adaptive extraction and quantification of geophysical vortices// IEEE T. Vis. Comput. Gr. 2011. № 17. p. 2088–2095.

КАЧЕСТВЕННАЯ И КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА КАСКАДИНГА ПО МОДЕЛЬНЫМ ДАННЫМ ДЛЯ БАССЕЙНА СЛО

Тузов Ф.К.

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

fedor-tuz@mail.ru

Ключевые слова: каскадинг, Северный ледовитый океан.

Каскадинг — это течение, в котором уплотненная поверхностная вода, образованная вследствие охлаждения или осолонения при испарении или ледообразовании в области континентального шельфа проникает в придонные горизонты и, затем, стекает вниз по континентальному склону на большую глубину [1]. Этот процесс является важным физическим механизмом обновления промежуточных и абиссальных вод, что влияет на термохалинную циркуляцию и глобальный климат.

Несмотря на глобальное распространение, каскадинг является локальным процессом с короткой продолжительностью по времени (дни или недели). Наиболее интенсивное стекание уплотненных вод на шельфе СЛО в основном происходит в придонном пограничном слое в зимний и весенний сезоны. В это время условия проведения контактных измерений неблагоприятны, и, как следствие их количество мало. Эту проблему может помочь решить численное моделирование с достаточным временным и пространственным разрешением. Благодаря ему становится возможным выявить области, в которых происходит каскадинг.

В данной работе была использована модель NEMO (Nucleus of European Modelling of the Ocean), адаптированная для арктического региона, с пространственным шагом $1/12^\circ$ и временным интервалом выдачи результатов расчета 5 суток. 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, 3].

Для выявления каскадинга по манным моделирования был разработан алгоритм проверки данных в узлах модельной сетки, на условия наличия каскадинга:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho(i, j, k, q)_{bot} \geq \rho(i, j, k - 1) \\ \rho(i, j, k, q)_{bot} \geq \rho(i \pm 1, j \pm 1, k)_{bot} \\ D(i, j) < D(i \pm 1, j \pm 1) \\ q \geq n \\ D_{min} \leq D(i, j) \leq D_{max} \end{array} \right.$$

Где $\rho(i, j, k, q)_{bot}$ – плотность на придонном горизонте в исследуемом узле сетки, $\rho(i, j, k - 1)$ – плотность на горизонте над придонным, $\rho(i \pm 1, j \pm 1, k)_{bot}$ – плотность на придонном горизонте в следующем исследуемом узле сетки, $D(i, j)$ – глубина исследуемого узла сетки, $D(i \pm 1, j \pm 1)$ – глубина в следующем исследуемом узле сетки, q – номер узла сетки в последовательности узлов, для которых выполняются приведенные условия, n – минимально возможное количество узлов сетки в последовательности, задается перед началом работы алгоритма, D_{min} , D_{max} – минимальная и максимальная глубины, ограничивающие область поиска на континентальном склоне.

В статье [3] данный модельный расчет был проанализирован в районах предполагаемого каскадинга в Чукотском море и море Бофорта, однако, анализ проводился без применения алгоритма по заранее заданным координатам разрезов, где фиксировался каскадинг, и в этих координатах удалось идентифицировать каскадинг по модельным данным. Кроме этого, расчеты [4] также показали возможность воспроизведения каскадинга моделью NEMO в Гренландском море.

Благодаря применению описанного алгоритма удалось не только подтвердить наличие каскадинга в местах экспедиционных исследований, но и определить границы районов, где происходит

каскадинг, а также определить новые районы, где каскадинг по разрезам по экспедиционным данным нет.

В докладе представлены результаты обработки модельных данных описанным выше алгоритмом. Будут показаны районы каскадинга, начинающегося до глубины 500м на континентальном склоне. Для 2008 года (73 временных интервала по 5 дней) при параметре $q > 4$ каскадинг условия для развития каскадинга на значительную глубину обнаружены в море Бофорта, Чукотском море, и на континентальном склоне вдоль Северной земли.

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) Тузов Ф. Исследование каскадинга на арктических шельфах по данным численного моделирования // Тезисы докладов всероссийской научной конференции моря России: фундаментальные и прикладные исследования. Севастополь: ФГБУН ФИЦ МГИ. 2019. С. 301-302.
- 3) 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. Available at: <https://jgr-oceans-submit.agu.org/cgi-bin/main.plex?el=A2FO2GKDa3A4HkoQ3F5A9ftdxbs9xJ6P27OjbhstKC29AZ> (under review). (accessed 07.03.2020).
- 4) Marson J.M., Myers P.J., Xianmin H. et al. Cascading off the West Greenland Shelf: A numerical perspective // Journal of Geophysical Research: Oceans. 2017. Vol. 122, iss. 7. P. 5316-5328. doi:10.1002/2017JC012801

ВЕЛИЧИНА ИНТЕГРАЛЬНОГО КЛИМАТИЧЕСКОГО ИНДЕКСА ДЛЯ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ: ФАКТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРОГНОЗА

Тюлькина Д.С., Хаймина О.В.

Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург

darya120896@mail.ru

Ключевые слова: Балтийское море, интегральный климатический индекс, прогнозирование.

С середины восьмидесятых годов все более активно обсуждается вопрос о том, является ли наблюдаемое сейчас потепление климата результатом воздействия человека и неизбежность потепления представляет собой линейный тренд с далеко идущими последствиями или это проявление циклических колебаний, присущих климату Земли на протяжении всей ее геологической истории. Наиболее актуален ответ на этот вопрос для высокоширотных регионов, где по прогнозам полагают, что потепление обусловлено главным образом ростом положительной части теплового баланса Земли из-за увеличения в атмосфере концентрации парниковых газов вследствие промышленных выбросов [1].

Для мониторинга климатических изменений используются как продолжительные временные ряды измеряемых гидрометеорологических величин, так и различные индексы, учитывающие изменчивость климатообразующих факторов. Например, для анализа колебаний климата в районе Баренцева моря В.Д. Бойцовым был предложен среднегодовой интегральный климатический индекс (ИКЛ), который учитывает суммарную изменчивость тепловых климатообразующих факторов, какими являются температуры воздуха и воды, а также ледовитость моря [2].

В 2012 году были опубликованы результаты анализа изменчивости ИКЛ для Балтийского моря и прогноз значений ИКЛ до 2020 года [3]. Целью данной работы являлись анализ изменчивости интегрального климатического индекса для Балтийского моря за последние 10 лет и оценка качества сделанного ранее прогноза тенденции его изменения.

Исходными данными для выполнения исследований являлись временные ряды следующих характеристик за период с 2000 года по 2018 год: среднемесячные значения температуры воздуха в Балтийском регионе (Хапаранда, Санкт-Петербург, Калининград), среднемесячные значения температуры поверхности воды (ТПО) в сетке $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ акватории Балтийского моря (12 узлов) [4, 5], максимальная за зимний период ледовитость Балтийского моря, выраженная в % площади занятой льдом. На основе исходных данных были рассчитаны среднегодовые значения температур воды и воздуха. Для определения ИКЛ все ряды нормировались на средние значения за период 1900-2009 годы, аналогично работе [3], что позволило сформировать непрерывные временные ряды ИКЛ за период с 1900 по 2018 гг.

Результаты исследования показали, что наибольшее изменение среднегодовых значений ИКЛ наблюдалось в 2008-2010 годах и составило ~ 5 единиц (в 2008 году значение ИКЛ было максимальным (6,2 единицы) за весь период, начиная с 1900 года), после 2012 года размах колебаний ИКЛ не превышал 2,6 единиц. При этом в период 2010-2018 годы абсолютные величины ИКЛ колебались относительно значения ~ 4 единицы.

Сравнение нелинейных трендовых составляющих, рассчитанных в пакете «Призма» [6], для периодов 1900-2009 гг. и 1900-2018 гг. выявило различия абсолютных величин в пределах 0,5 единиц при сохранении общих закономерностей изменчивости (коэффициент корреляции для рядов долгопериодных составляющих ИКЛ по данным за 110 лет равен 0,99). Исключением являлся период с 1934 по 1943 гг., когда разница значений возросла до 0,65 единиц.

Для прогнозирования долгопериодных изменений ИКЛ в работе [3], была использована экстраполяция значений индекса на основе выявленного линейного тренда с учетом 70-летней квазигармоники, характерной для изменчивости гидрометеорологических характеристик Балтийского

моря. Совместный анализ межгодовой динамики фактических значений ИКЛ и опубликованных прогностических значений за период 2010-2018 гг. показал, что среднее значение фактических величин ИКЛ составило 3,7 единиц, в то же время по прогнозу долгопериодной составляющей среднее значение ожидалось равным 3,2 единицы. Таким образом, прогностические значения оказались несколько занижены (на 0,5 единиц) относительно фактических величин. При этом следует обратить внимание на тот факт, что ожидаемая тенденция снижения темпов роста и некоторая стабилизация значений ИКЛ в 2010-2020 годах, оправдались. Это позволяет считать прогноз тенденции изменения ИКЛ на 2010-2020 годы в целом оправдавшимся, а высказанный ранее тезис относительно возможной близости переломного момента в наблюдающейся тенденции потепления [3], сохраняет свою актуальность.

Список литературы

- 1) Solomon S., Qin D., Manning M., Z. Chen. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change // Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, 2007. Режим доступа: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/
- 2) Бойцов В.Д. Изменчивость температуры воды в Баренцевом море и ее прогнозирование. М.: ПИНРО, 2006. С. 292-293.
- 3) Хаймина О.В, Бойцов В.Д., Карпова И.П. Вековые колебания климата морей северо-запада России // Ученые записки РГГМУ. 2012. № 24. С. 62-74.
- 4) http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCEP-NCAR/.CDAS-1/.MONTHLY/.Diagnostic/.above_ground/.temp/
- 5) <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCDC/.ERSST/.version5/.sst/T/>
- 6) Аверкиев А.С., Булаева В.М., Густоев Д.В., Карпова И.П. Методические рекомендации по использованию метода сверхдолгосрочного прогнозирования гидрометеорологических элементов (МСПГЭ) и программного комплекса «Призма» // М.: ПИНРО, 1997. 40 с.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕРМОХАЛИННОЙ СТРУКТУРЫ ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЫ НОРВЕЖСКОГО МОРЯ

Федоров А.М.^{1,2}, Белоненко Т.В.¹

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

² Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Хансена, г. Санкт-Петербург

aandmofficially@gmail.com

Ключевые слова: Лофотенский бассейн, вихревая динамика, происхождение вод, лагранжевый трекинг частиц.

Динамика Лофотенской котловины, которая находится в центральной части Норвежского моря, выступает объектом изучения исследователей со всего мира. Главной особенностью является антициклонический Лофотенский вихрь (ЛВ), в полях температуры и солёности которого наблюдаются положительные аномалии [1]. Динамические особенности Лофотенской котловины представлены множеством мезомасштабных вихрей, которые образуются, либо зарождаются в самой котловине, либо являясь результатом бароклинной неустойчивости огибающих ее ветвей крупномасштабных течений, взаимодействуя друг с другом тем или иным способом [2].

Используемые данные:

1) Продукт GLORYS12V1 вихреразрешающий реанализ глобального океана с разрешением $1/12^\circ$ (около 8 км) на 50 горизонтах для периода, в который имеются альтиметрические наблюдения - 1993-2016 гг..

2) Результаты лагранжевого трекинга частиц, были предоставлены Лабораторией нелинейных динамических систем Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН [3]. Анализируются 2 типа карт: длин траекторий частиц - S-карты и распределений вод в зависимости от происхождения - O-карты.

По всей области исследования, каждые три дня распределялись искусственные частицы для 2014 года. Траектории в поле скоростей GLORYS получены интегрированием уравнений адвекции назад во времени, за периоды 180 (на поверхности и на горизонте 266 метров) и 360 суток (только на горизонте 266 метров). Карты для каждой даты рассчитываются независимо, так как начальные условия для траекторий принимаются в разные моменты времени. Ячейки, которые касаются земли двумя и более углами удалены из анализа, для исключения артефактов [4].

Результаты лагранжевого трекинга частиц используются для наглядной демонстрации транспорта вод мезомасштабными вихрями из восточной части котловины в центральную, где расположен Лофотенский квазипостоянный вихрь. При этом воды переносятся не отдельным изолированным вихрем, а проходят через серию слияний и дипольных структур. Наиболее информативным трассером из стандартных океанических параметров является солёность, ее пониженные значения позволяют продемонстрировать транспорт прибрежных вод в центральную часть Лофотенского бассейна.

Мы выделили 3 основных источника вод в Лофотенском бассейне: Норвежское Атлантическое фронтальное течение (НАФТ), Норвежское Атлантическое склоновое течение (НАСТ), Норвежское прибрежное течение (НПТ). Воды НАФТ и НАСТ несут Атлантическую воду Северо-Атлантического течения, они достаточно теплые и соленые, воды НПТ прибрежного происхождения они преснее вод Атлантического происхождения на 1.5-2‰, а также в зависимости от сезона теплее (бореальным летом) и холоднее (бореальной зимой).

Благодарность за предоставленные данные М.В. Будянскому, М.Ю. Улейскому, С.В. Францу. Лаборатория нелинейных динамических систем Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН.

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

Список литературы

- 1) Белоненко Т.В., Термохалинная структура Лофотенского вихря Норвежского моря на основе экспедиционных исследований и по данным гидродинамического моделирования // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. Т. 63. №4. 2018. С. 502-519
- 2) Isachsen P. E. Baroclinic instability and the mesoscale eddy field around the Lofoten Basin // J. Geophys. Res. 2015. Т. 120. №4. С. 2884-2903.
- 3) Пранц С.В., Будянский М.В., Улейский М.Ю. Порядок в хаосе океанских течений. // Природа. №3. 2013. С. 3-13.
- 4) Prants S.V., Budyansky M.V., Uleysky M.Y. How eddies gain, retain, and release water: A case study of a Hokkaido anticyclone // Journal of Geophysical Research: Oceans. 2018. Vol. 123. P. 2081–2096.

СИСТЕМА КРАТКОСРОЧНОГО ДИАГНОЗА И ПРОГНОЗА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАСПИЙСКОГО МОРЯ И ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПРОГНОЗОВ ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Фомин В.В.^{1,3}, Дианский Н.А.^{1,2,3}, Коршенко Е.А.¹, Выручалкина Т.Ю.⁴

¹ ФГБУ «Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова», г. Москва

² МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

³ Институт вычислительной математики РАН, г. Москва

⁴ Институт водных проблем РАН, г. Москва

vladimirfomin@live.com

Ключевые слова: численное моделирование, прогноз, скорость ветра, уровень моря, температура воды, сплоченность льда, Каспийское море.

Акватория Каспийского моря (КМ) имеет важное хозяйственное значение ввиду ее активного как промышленного (рыбное хозяйство, водный транспорт, нефтегазодобывающая и химическая промышленность и др.), так и рекреационного использования. Поэтому задача воспроизведения и прогнозирования всего спектра гидротермодинамических характеристик крайне важна при планировании и ведении хозяйственной деятельности. С развитием высокопроизводительных вычислительных систем в последнее время появилась возможность использовать физически полных численных моделей атмосферы и океана высокого пространственного разрешения для решения подобных задач. В работе представлена разработанная в ФГБУ «ГОИН» система оперативного диагноза и прогноза (СОДИП) гидрометеорологических и ледовых характеристик для КМ. Акватория КМ характеризуется высокой частотой возникновения штормовых ветров, вызывающих значительные сгонно-нагонные колебания уровня моря, при которых максимальные нагоны могут достигать 4.5 м, а сгоны -2.5 м [1]. Расчет динамики КМ затрудняется наличием ледового покрова в зимний период в северной части моря.

Главными компонентами представленной версии СОДИП являются региональная негидростатическая атмосферная модель WRF (Weather Research and Forecasting Model) [2] с пространственным разрешением 7 км и 35-ю вертикальными уровнями и модель морской циркуляции INMOM (Institute of Numerical Mathematics Ocean Model) [3] с пространственным разрешением ~1.5 км и 20-ю неравномерно распределенными уровнями по глубине. В модели INMOM наряду с возможностью расчета гидрологических характеристик (температура, соленость морской воды, скорость течений и колебания уровня моря) реализована возможность расчета и ледовых характеристик (сплоченность, толщина, скорость дрейфа льда) с использованием встроенной модели термодинамики и динамики морского льда [4]. Для инициализации модели WRF используются глобальные атмосферные данные GFS (Global Forecast System) [5]. Заблаговременность прогноза составляет 72 часа.

Оценка качества работы системы проводилась за период с 1 января по 31 марта 2017 года путем сравнения прогнозов гидрометеорологических характеристик с наблюдениями на гидрометеорологических станциях. Оценка проводилась для скорости и направления ветра, температуры воздуха, давления на уровне моря, колебаний уровня моря и температуры воды. Оценка воспроизведения метеорологических характеристик показала, что, согласно Наставлениям Росгидромета РФ, они прогнозируются с удовлетворительной степенью точности. При этом получаемые результаты с помощью СОДИП в целом существенно лучше инерционного прогноза. Результаты оценки точности воспроизведения колебаний уровня моря показали, что оправдываемость в воспроизведении характеристик уровня моря превышает 68% для станции Махачкала при заблаговременности

прогноза на одни - трое суток и для станции о. Тюлений при заблаговременности до двух суток. Для температуры воды оправдываемость составляет 90-92%, но при этом точность ее инерционного прогноза более высокая, чем точность рассматриваемого метода, что говорит о необходимости реализации алгоритмов усвоения спутниковых данных о температуре поверхности моря.

Точность прогноза характеристик морского льда ввиду отсутствия фактических наблюдений проводилась по данным объективного анализа ЕСИМО. Показано, что кромка льда воспроизводится достаточно точно в прибрежной зоне, в то же время в центральной части наблюдается различие. Для устранения этой ошибки разрабатывается методика усвоения спутниковых данных карт ледовых полей.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 20-17-00195.

Список литературы

- 1) Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Проект «Моря СССР», т. 5. Каспийское море. СПб, Гидрометеоздат, 1992, 359 с.
- 2) Skamarock A. Description of the Advanced Research WRF, Version 3. NCAR Technical Notes, 2008.
- 3) Дианский Н.А. Моделирование циркуляции океана и исследование его реакции на короткопериодные и долгопериодные атмосферные воздействия. М., Физматлит, 2013, 272 с.
- 4) Яковлев Н.Г. Восстановление крупномасштабного состояния вод и морского льда Северного Ледовитого океана в 1948-2002 гг. Часть 1: Численная модель и среднее состояние. Известия РАН, ФАО, 2009, т. 45, № 3, с. 1-16.
- 5) Powers et al. "The Weather Research and Forecasting Model: Overview, System Efforts, and future directions", BAMS, 2017, V. 98, P.1717-1737.

ВОЛНОВОД ДЛЯ ВОЛН РОССБИ И ЕГО ГРАНИЦЫ В АНТАРКТИЧЕСКОМ ЦИРКУМПОЛЯРНОМ ТЕЧЕНИИ

Фролова А.В., Белоненко Т.В

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

nastiafrolova@mail.ru

Ключевые слова: волны Россби, данные альтиметрии, волновод, Антарктическое циркумполярное течение, метод Радона, метод кросс-корреляции.

Антарктическое циркумполярное течение (АЦТ) является одним из мощнейших течений Мирового океана. Значительно влияя на климатические процессы на Земле, АЦТ действует не только как барьер между холодной водой, окружающей Антарктику, и субтропической водой на севере, но и существенно влияет на глобальный океанский конвейер [1]. Волны Россби также играют важную роль в крупномасштабной циркуляции океана и климата: они являются одним из основных динамических механизмов адаптации океана к крупномасштабным изменениям атмосферного форсинга. Их существование обусловлено вращением Земли и ее сферичностью. Однако взаимодействие волн Россби с крупномасштабными течениями, такими как АЦТ, пока относительно мало изучено.

Хьюс [2] исследовал взаимодействие волн Россби с АЦТ, используя Антарктическую модель FRAM (Fine Resolution Antarctic Model) [3]. Согласно результатам моделирования, большая часть вихревой активности внутри АЦТ направлена на восток. Результаты FRAM в Южном океане были впоследствии подтверждены анализом с использованием альтиметрии. Фу [4] показал, что некоторые мелкомасштабные особенности в АЦТ, полученные в результате моделирования вихревой модели общей циркуляции океана, хорошо воспроизводятся с помощью альтиметрии. Он заметил, что мезомасштабные вихри в АЦТ могут перемещаться на восток, несмотря на планетарный β -эффект, при котором вихри обычно перемещаются на запад. Фу [4] объяснил восточное направление вихрей наличием достаточно сильного тока, которым является АЦТ.

Одним из важнейших и сильных механизмов взаимодействия волн Россби с крупномасштабными потоками является трансформация волн в критическом слое, где фазовая скорость волн сопоставима с локальным значением поля скоростей крупномасштабного потока. Однако важной особенностью волн Россби в океане (и атмосфере) является их низкая скорость распространения. Диапазон характерных фазовых скоростей волн Россби практически полностью перекрывается диапазоном скоростей, присущим крупномасштабному потоку. Это делает явление "критического слоя" вездесущим, как механизм взаимодействия волн и течений.

Хьюс [2] был первым, кто открыл волновод для волн Россби в АЦТ, где кинетическая энергия волн изменяется струями. Однако, линейная теория, использованная Хьюс [2], не работает внутри волновода, потому что она не может объяснить распространение волн Россби на восток. Гневышев и др. [5] предложили модель длинноволнового асимптотического поведения нелинейных волн Россби, которая может объяснить распространение волн Россби на восток в волноводе. В рамках этой теории нелинейность в длинноволновом приближении точно компенсирует доплеровский сдвиг.

Для исследования распространения волн Россби в АЦТ мы применяем два различных метода для данных альтиметрии (SLA). Мы оцениваем "эмпирические" скорости волн с помощью метода Радона и метода кросс-корреляции. Мы демонстрируем, что оба метода дают схожие оценки скоростей, несмотря на различия в их методиках. Сравниваем полученные "эмпирические" скорости с теоретическими фазовыми скоростями волн Россби, полученными дисперсионным уравнением в рамках как линейной, так и нелинейной теории. Также мы показали, что нелинейное дисперсионное соотношение больше подходит для описания волн Россби в волноводе.

При помощи данных методов мы смогли определить географическое положение границ волноводов и сравнить их с расположением трех основных фронтов АЦТ. По итогу было выявлено, что Полярный фронт, а также северная и южная ветви Субантарктического фронта расположены в основном внутри волновода в Южном океане, за исключением индийских секторов (30-90° в.д.).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 20-05-00066).

Список литературы

- 1) Munk W. H., Palmén E. Note on the dynamics of the Antarctic Circumpolar Current // *Tellus*. 1951. № 3(1). P. 53-55. <https://doi.org/10.1111/j.2153-3490.1951.tb00776.x>.
- 2) Hughes C. W. The Antarctic Circumpolar Current as a waveguide for Rossby waves // *Journal of Physical Oceanography*. 1995. № 26 (7). P. 1375-1387.
- 3) FRAM Group. An eddy-resolving model of the Southern Ocean // *Eos Trans. Amer. Geophys. Union*. 1991. № 72 (15). P. 169-170. <https://doi.org/10.1029/90EO00128>.
- 4) Fu L.-L. Pattern and velocity of propagation of the global ocean eddy variability // *J. Geophys. Res* 2009. №114(C11). <https://doi.org/10.1029/2009JC005349>.
- 5) Gnevyshev V. G., Frolova A. V., Kubryakov A. A., Sobko Yu. V., Belonenko T.V. Interaction of Rossby waves with a jet stream: basic equations and their verification for the Antarctic circumpolar current // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics* 2019. № 55(5). P. 412-422. <https://doi.org/10.1134/S0001433819050074>.

МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ВОД НА АБХАЗСКОМ ШЕЛЬФЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

Химченко Е.Е.¹, Серебряный А.Н.^{1,2}, Попов О.Е.³, Кенигсбергер Г.В.⁴, Медведевский В.В.⁴

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

² *Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева, г. Москва*

³ *Институт физики атмосферы РАН, г. Москва* ⁴ *Институт экологии Академии наук Абхазии, г. Сухум, Абхазия*

ekhytchenko@gmail.com

Ключевые слова: вертикальная структура температуры, температурный режим, шельф, Черное море.

В последние несколько десятилетий все большее внимание уделяется изучению многолетней изменчивости параметров гидрофизических полей как в отдельных частях Мирового океана, так и в Черном море в частности. Основной из причин наблюдаемой тенденции является глобальное потепление. Для района Черного моря накоплено достаточно много информации о температурных изменениях в прибрежной зоне, которая по данным до 1985 г. приводится в монографии [1], данные более позднего периода представлены в отдельных работах (например, [2-4]). Для абхазской акватории Черного моря оценка регионального потепления поверхностной температуры воды за период от 1991 по 2017 гг. дана в работах [5-6].

Данная работа выполнена на основе натуральных наблюдений за вертикальным профилем температуры, выполненных с 1957 по 1964 гг., а также современных наблюдений с 2013 по 2019 гг. на абхазском шельфе Черного моря. Измерения в 60-х годах велись при помощи ручного стрелочного прибора ЭПП-09, путем зондирования водной толщи от поверхности до дна, в точке на глубине 100 м, расположенной в 350 м от морского павильона Института экологии АНА (ИЭ АНА). При выполнении современных работ проводились как ежечасные зондирования с эстакады ИЭ АНА, так и непрерывная регистрация температуры точечными датчиками на заякоренных станциях, установленных в нескольких точках на глубинах 35 м, 50 м и 80 м на удалении от платформы.

В работе представлено сравнение температурного режима вод для двух периодов наблюдений. Примечательно, что измерения, выполненные в середине XX в., проводились во время явно выраженного отрицательного тренда температуры. Современные наблюдения 2013-2019 гг. выполнены на фоне устойчивого положительного тренда температуры воды, наблюдаемое в последние 35 лет. В отличие от работ [5-6], проведено сопоставление не только поверхностной температуры воды, но и характера вертикальной изменчивости распределения температуры весеннего и осеннего сезонов 2000-х годов с наблюдениями в 60-х годах. Представлены как среднемесячные значения температуры на отдельных горизонтах, так и среднемесячные профили вертикального распределения температуры в наблюдаемом районе.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОРАН (тема № 0149-2019-0011), а также поддержана грантом РФФИ № 19-52-40007_Абх_а.

Список литературы

- 1) Проект "Моря СССР". Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. – Т. IV. Черное море. – Вып.1. Гидрометеорологические условия. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 429 с.
- 2) Гинзбург А.И., Костяной А.Г., Шеремет Н.А. Сезонная и межгодовая изменчивость температуры поверхности Черного моря по спутниковым данным (1981–2000 гг.). // Комплексные исследования северо-восточной части Черного моря; Под ред. Зацепина А.Г., Флинта М.В. – М: Наука, 2002. – С. 20–26.

- 3) Ильин Ю.П., Репетин Л.Н. Вековые изменения температуры воздуха в Черноморском регионе и их сезонные особенности // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. – вып. 14. – С. 444–456.
- 4) Еремеев В.Н., Ефимов В.В., Суворов А.М., Шокуров М.В. Аномальная климатическая тенденция изменения температуры Черного моря // Доп. НАН України. – 2001. – № 11. – С. 91–95.
- 5) Гицба Я.В., Эмба Я.А. Особенности гидротермического режима абхазской акватории Чёрного моря // Прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий. – 2015. – С. 105–114.
- 6) Гицба Я.В., Строчан Т.П. Пространственное распределение поверхностной температуры воды в морской акватории Абхазии // Материалы XIII международного симпозиума проблемы экоинформатики. – 2018. – С. 75–79.

ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВОД ЗАЛИВА ПРЮДС ПО ДАННЫМ СУДОВЫХ И АВТОНОМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Чистяков И.А.

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

chistiv@gmail.com

Ключевые слова: Южный океан, залив Прюдс, временная изменчивость, антарктическая донная вода, донная вода залива Прюдс, шельф, материковый склон, Российская Антарктическая экспедиция, МЕОР.

Залив Прюдс расположен в южной части моря Содружества, относящегося к Индийскому сектору Южного океана. Рельеф дна залива представляет собой широкую шельфовую область, которая занимает треть по площади место для всего антарктического побережья (после морей Уэдделла и Росса). Её прорезает котловина Эймери, с глубинами более 600 метров, соединённая с глубоководным океаном через канал Прюдс (71-73° в.д.) [1].

Широкий континентальный шельф играет важную роль в формировании антарктической донной воды (АДВ) [2], создавая условия для насыщения антарктических шельфовых вод (АШВ) достаточным количеством соли, что приводит к увеличению их плотности. Источником тепла в области шельфа и материкового склона Антарктики является циркумполярная глубинная вода (ЦГВ). Её поступление обеспечивается системой крупномасштабных циклонических круговоротов, южные ветви которых связаны с направленным на запад антарктическим прибрежным течением.

Образование и распространение АШВ состоит из нескольких стадий. На первой конвективные процессы, вызываемые поверхностным охлаждением и режекцией соли при формировании льда на шельфе, приводят к образованию плотной воды, которая затем может модифицироваться за счёт таяния шельфовых ледников. Она стремится накапливаться в топографических депрессиях. На второй стадии сформировавшаяся водная масса распространяется на шельфе, что приводит к образованию в районе его бровки пограничного фронта. При значительном накоплении АШВ может спускаться вниз по склону, перемешиваясь с соседними водными массами. На третьей стадии геострофический поток может быть направлен прямо вниз по склону по подводным каньонам, либо происходит перенос посредством гравитации и трения плотной воды вниз по склону в тонком слое у дна [3]. По мере опускания эта смесь пополняет АДВ или ЦГВ на уровнях, соответствующих её плотности [1].

Предположения о роли залива Прюдс как источника АДВ высказывались как советскими, так и зарубежными учёными ещё в 1970-х годах, а исследования АНИИ, регулярно проводимые в рамках сезонных работ РАЭ, начиная с 1997 года, подтвердили этот факт [4]. В 2004-2007 годах была разработана система меридиональных разрезов, пересекающих шельф и материковый склон. Особое внимание уделяется разрезу по 70° в.д., который до недавнего времени выполнялся по возможности ежегодно, поскольку именно на нём прослеживаются стоковые процессы в области континентального склона. Кроме того, в створе разрезов по 70° и 71° в.д. был обнаружен процесс формирования региональной водной массы, расположенной в области материкового склона и названной донной водой залива Прюдс (ДВЗП) [4]. Для более детального изучения этого процесса в январе 2016 года была проведена площадная съёмка в этом меридиональном диапазоне. Выполненные наблюдения позволили получить подробную картину мезомасштабной структуры вод над материковым склоном и шельфовой областью в рамках полигона. В его восточной части, где переход между шельфом и материковым склоном более резкий, было обнаружено распространение холодной и солёной АШВ до бровки шельфа. Там она перемешивается и участвует в образовании ДВЗП, обнаруженной на материковом склоне в западной части полигона [5].

Существенным недостатком судовых измерений в заливе Прюдс является то, что большая их часть была выполнена в период с ноября по апрель, тогда как плотная АШВ формируется в

первую очередь в осенне-зимний период [4]. Получаемые в ходе гидрологических работ зимовочного состава станции Прогресс данные имеют недостаточный пространственный охват и временное разрешение.

Ценным и зачастую единственным источником океанографической информации о зимнем периоде стал созданный в 2008 году международный проект "Marine Mammals Exploring the Oceans Pole to Pole" (МЕОР) по установке регистрирующих датчиков CTD-SRDL на глубоководных и проплывающих большие расстояния виды морских млекопитающих. Благодаря этим данным появилась возможность составить полноценное представление о внутригодовой изменчивости структуры и характеристик вод залива Прюдс. Было показано, что в зимний период хорошо выражено распространение по акватории модифицированной ЦГВ, поступающей в изучаемый район с востока и поставляющей соль для формирования АШВ. Кроме того, повышенная по сравнению с летним периодом солёность шельфовых вод связана с существованием на территории акватории прибрежных полыней (бухты Барриеревика, Дейвиса, залива МакКензи и мыса Дарнли). Первые три образуют «конвейерную ленту» по производству плотной шельфовой воды [6], двигающуюся с востока на запад по направлению циклонического круговорота залива Прюдс. Большая часть этой образовавшейся воды вытекает через канал Прюдс и спускается по материковому склону, пополняя ДВЗП. Кроме того, некоторая её часть может перемещаться дальше на запад в район мыса Дарнли, что даёт дополнительный приток соли и способствует образованию местной донной воды.

Список литературы

- 1) Антипов Н.Н. Особенности океанографического режима залива Прюдс по данным экспедиций ААНИИ / Н.Н. Антипов, А.В. Клепиков // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2007. – Вып. 76. – С. 36-48.
- 2) Fahrbach E. Suppression of bottom water formation in the southeastern Weddell Sea / E. Fahrbach, R.G. Peterson, G. Rohardt, P. Schlosser, R. Bayer // Deep-Sea Research I. – 1994. – Vol. 41. – No. 2. – P. 389-411.
- 3) Baines P.G. Observations and modeling of Antarctic downslope flows: A review / P.G. Baines, S.A. Condie // Ocean, Ice, and Atmosphere: Interactions at the Antarctic Continental Margin / Antarctic Research series. – 1998. – Vol. 75. – P. 29-49.
- 4) Антипов Н.Н. Межгодовая изменчивость водных масс в области формирования донных вод в заливе Прюдс / Н.Н. Антипов, А.В. Клепиков // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2017. – Вып. 113. – С. 87-106.
- 5) Чистяков И.А. Структура водных масс в области взаимодействия шельфовых и склоновых вод в заливе Прюдс по данным океанографических исследований 61-й РАЭ (за 2015-16 гг.) / И.А. Чистяков // Процессы в геосредах. – 2018. - №3 (17). – С. 326-327.
- 6) Williams G.D. The suppression of Antarctic bottom water formation by melting ice shelves in Prydz Bay / G.D. Williams, L. Herraiz-Borreguero, F. Roquet, T. Tamura, K.I. Ohshima, Y. Fukamachi, A.D. Fraser, L. Gao, H. Chen, C.R. McMahon, R. Harcourt, M. Hindell // Nature Communications. – 2016. – Vol. 7. – P. 12577.

СЕЗОННЫЕ И ДОЛГОПЕРИОДНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ В РАЙОНЕ АРХИПЕЛАГОВ ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА И ШПИЦБЕРГЕН В XX–XXI ВЕКАХ

Шапкин Б.С.¹, Рубченя А.В.¹, Иванов Б.В.^{1,2,3}, Смоляницкий В.М.^{2,3}, Федорова А.Д.²

¹Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

²Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург

³Институт физики атмосферы РАН, г. Москва

shap99boris@gmail.com

Ключевые слова: Шпицберген, Земля Франца-Иосифа, ледовитость, изменения, изменчивость.

Особенности распространения морского ледяного покрова в районе архипелагов Земля Франца-Иосифа (ЗФИ) и Шпицберген связаны с их географическим положением, местными особенностями циркуляции атмосферы и океана. Важнейшую роль в формировании ледовых условий к северу от архипелагов играет вынос многолетних льдов из центральной части Арктического бассейна (ЦАБ) в системе трансполярного выносного течения. Западно-Шпицбергенское течение основной источник поступления теплых атлантических вод в районы к западу и к северу от архипелага Шпицберген [1]. Трансформированные промежуточные атлантические воды (ТПАВ), проникающие в Баренцево море, оказывают заметное отепляющее влияние на районы к югу от архипелага ЗФИ [2].

Сезонные изменения распространения морского ледяного покрова в районе обоих архипелагов в целом схожи с ледовым режимом арктических морей Сибирского шельфа. Одной из характерных особенностей является образование припая в фьордах (заливах), проливах между островами и вдоль побережья, а также наличие заприпайных и стационарных полыней [1, 2].

Максимальная многолетняя изменчивость ледовитости в районе архипелага ЗФИ наблюдается в период с мая по октябрь. В августе—сентябре наблюдается минимальное распространение ледяного покрова. Необходимо отметить, что в последние годы все чаще наблюдается ситуация полного освобождения ото льда района ЗФИ в августе—сентябре [2]. В работе [1] было проведено исследование особенностей сезонной и многолетней изменчивости ледовитости в акватории соседнего арктического архипелага Шпицберген. Было выявлено, что с ноября по апрель в водах, омывающих архипелаг Шпицберген, наблюдается максимальная изменчивость ледовых условий, тогда как в районе ЗФИ, по полученными нами данным, наоборот наблюдается наименьшая изменчивость ледовитости. В период с августа по сентябрь в районе архипелага Шпицберген разница максимального и минимального значений ледовитости в два раза меньше, чем в районе ЗФИ. В тоже время, были выявлены некоторые особенности, характерные для обоих районов. Например, временная структура многолетней изменчивости имеет очень близкий характер, что указывает на общую внешнюю причину наблюдаемых изменений.

Анализ особенностей пространственно-временного распределения льдов в исследуемых районах и динамики межгодовой и сезонной изменчивости основных элементов ледового режима был проведен на основе информации, предоставленной Мировым центром данных по морскому льду Арктического и антарктического научно-исследовательского института (МЦД МЛ АНИИ) [3]. Источником данных являются архивные и квазиоперативные (задержка 1–2 дня) ежедневные матрицы (поля распределения) оценок ледовитости и общей сплоченности для Северной Полярной области (севернее 45° с.ш.) [4]. Матрицы формируются на основе обработанных по алгоритму NASATEAM [5] данных многоканальных микроволновых радиометров SSMR-SSM/I-SSMIS ИСЗ NIMBUS-7 и DMSP за период с 26.10.1978 г. по настоящее время, копируемые с сервера Национального центра данных по снегу и льду (National Snow and Ice Data Center, США).

В данной работе выполнена попытка разделения акватории вокруг архипелага ЗФИ на три квазигомогенных района. Восточный район, на который значительное влияние оказывают льды,

выносимые из Карского моря. Южный, который подвержен воздействию ТПАВ, распространяющихся в северо-восточной части Баренцева моря. Северный, на который оказывает влияние вынос многолетних льдов из ЦАБ. В работе [1] было также проведено разделение акватории вокруг архипелага Шпицберген на 6 районов (названия условны): 1 — «восточный Шпицберген», 2 — «Баренцевоморский», 3 — «южный Шпицберген», 4 — «западный Шпицберген», 5 — «пролив Фрама», 6 — «северный Шпицберген» («Китовая бухта»).

В своем сравнительном анализе мы использовали два условных сезона: зимний сезон (ноябрь—апрель) и летний сезон (май—октябрь).

Во всех выделенных районах архипелага Земля Франца-Иосифа, а также в районах 1 и 2 архипелага Шпицберген с 2006 г. амплитуда межгодовых колебаний ледовитости значительно увеличилась. Зафиксированы колебания ледовитости с периодом 5–6 лет, характерные как для зимнего, так и летнего сезонов для всех выделенных районов архипелага ЗФИ, а также восточных районов (1, 2) архипелага Шпицберген. Однако в западных районах (4, 5) период колебаний ледовитости составляет 7–8 лет. По результатам исследований выявлен отрицательный тренд в изменении ледовых условий (уменьшение ледовитости) в окрестности обоих архипелагов, при этом, одновременное увеличение межгодовых колебаний ледовитости, начиная с 2006 г., свидетельствует квазисинхронной смене ледового режима и , что может быть связано с перестройкой атмосферной или океанической циркуляции в западном секторе Арктики.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования грант №05.616.21.0109 (075-15-2019-1487) (RFMEFI61619X0109) и российско-норвежского Соглашения о совместной деятельности ««Сотрудничество в области анализа климатических данных и данных по морскому льду в северной части Баренцева моря», 2019–2020 гг.

Список литературы

- 1) Тисленко Д.И., Иванов Б.В., Смоляницкий В.М. и др. Сезонные и многолетние изменения ледовитости в районе архипелага Шпицберген за период 1979–2015 гг // Проблемы Арктики и Антарктики. 2016. №. 3. С. 50–59.
- 2) Жичкин А.П. Ледовые условия в районе архипелага Земля Франца-Иосифа // Труды Кольского научного центра РАН, 2014. С. 82–89.
- 3) Смоляницкий В.М. Мировой центр данных по морскому льду, Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. 2019.
- 4) Maslanik J., Stroeve J. Near-Real-Time DMSP SSMIS Daily Polar Gridded Sea Ice Concentrations, Version 1, NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center, Boulder, Colorado, USA. 1999. [Электронный ресурс]. (Режим доступа: <https://nsidc.org/data/NSIDC-0081/versions/1>).
- 5) Cavalieri D. J. Sea ice algorithm // NASA Sea Ice Variation Program for the Defense Meteorological Satellite Program Special Sensor Microwave Imager: Final Report, NASA Technical Memorandum. 1992. Vol. 104559. P. 25–31.

О ШИРИНЕ АНТАРКТИЧЕСКОГО ЦИРКУМПОЛЯРНОГО ТЕЧЕНИЯ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ АЛЬТИМЕТРИИ И ТОПОГРАФИИ ДНА ОКЕАНА

Шпак П.М.¹, Тараканов Р.Ю.²

¹Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет),
г. Долгопрудный

²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

polina30reg@gmail.com

Ключевые слова: физика океана, спутниковая альтиметрия, Антарктическое циркумполярное течение.

Одним из важнейших компонентов климатической системы планеты является Южный океан. Геострофическое по своей природе Антарктическое циркумполярное течение (АЦТ) - самое мощное не только в Южном, но и во всем Мировом океане течение, его расход оценивается в 173 Св (1 Св=10⁶ м³/с) [1]. АЦТ опоясывает Антарктиду в направлении с запада на восток и обеспечивает водообмен между тремя главным океанами планеты, связывая их единым кольцом. Единственный район, где АЦТ распространяется по ширине от одного континентального склона до другого - пролив Дрейка. Согласно оценкам [2] для пролива Дрейка Антарктическое циркумполярное течение распространяется до глубины 2500 м в центральной части полосы течения и 1000-1500 м на южной и северной перифериях.

Спутниковые альтиметры позволяют измерять форму поверхности океана, которая представляет собой сумму равновесной формы геоида (эквипотенциальной поверхности Земли, которая совпадает со средним уровнем невозмущенного океана, продолженного над материками) и отклонения от него. В силу геострофической природы океанских течений изолинии этого отклонения (Абсолютной динамической топографии, АДТ) являются линиями тока геострофических течений на поверхности океана. В свою очередь АДТ является суммой мгновенной аномалии уровня океана и некоторой средней (по времени) динамической топографии, которая восстанавливается на основе самых разных данных измерений, как спутниковых за поверхностью океана, так и в его толще.

Вне экваториальной зоны АДТ представляет собой такую часть превышения уровня океана над геоидом (эквипотенциальной поверхностью поля силы тяжести), которая обусловлена геострофическим балансом (напр. [3]). В каждой точке на поверхности океана в каждый момент времени t данные по АДТ представляют собой сумму аномалии и средней (по времени) АДТ. Современные спутниковые альтиметры в каждый момент времени меряют расстояние от спутника до поверхности океана с точностью до 1-2 см. Аномалия АДТ вычисляется на основе измерений спутниковых альтиметров. Осреднение таких измерений за значительный промежуток времени дает среднюю форму поверхности океана. Отклонение указанного расстояния в каждый момент времени от среднего дает аномалию уровня океана. Считается, что для открытого океана эта аномалия практически эквивалентна аномалии АДТ. Поскольку узлы сетки, на которой даются значения АДТ, не совпадают с трассами спутников, в этих узлах значения аномалии АДТ вычисляются путем интерполяции с трасс спутников. Разрешение карт - $\frac{1}{4}^\circ \times \frac{1}{4}^\circ$ Интерполяция осуществляется также и по времени, поскольку период полного облета одним спутником всех трасс составляет около 10 суток, а карты публикуются агентством CLS за каждые сутки.

В работе предлагается использовать среднюю АДТ для Мирового океана, предложенную французским агентством CLS [4]. Она рассчитывается путем усвоения всех доступных данных измерений в океане - STD-измерения в толще океана, ХВТ-зонды (обрывные термозонды), данные

поплавков Argo, различные другие поплавки и т.д. Раз в несколько лет агентством CLS предлагается новый вариант средней АДТ, в котором учитывается все больше данных и используются новые, более совершенные методы их усвоения.

Данные по рельефу дна [5] рассчитаны на основе спутниковых альтиметрических измерений с учетом прямых измерений глубины с помощью эхолотных промеров. Альтиметрические данные позволяют рассчитывать ускорение свободного падения, из которых затем в виде обратной задачи вычисляется глубина океана. Поскольку одно и то же поле ускорения свободного падения на поверхности океана может быть создано разным рельефом, такая обратная задача, строго говоря, не имеет решения с необходимой точностью (таким способом можно восстановить элементы топографии дна горизонтальный размер которых того же порядка, что и глубина океана). Ситуация меняется, если для этой обратной задачи существует точное решение в виде судового промера (линейный эхолот, измеряющий глубину непосредственно под судном, или многолучевой эхолот, измеряющий глубину в довольно широкой полосе по ходу движения судна). Измерения, сделанные эхолотом, уточняют топографию рельефа дна, вычисляемую по данным альтиметрии. Для расчетов планируется использовать данные топографии дна [5] V19.1, опубликованные в марте 2019 г. Эти данные приведены на сетку $1/60^\circ/\cos\phi$ ш. \times $1/60^\circ$ д., где ϕ - широта.

В ходе работы предполагается сделать расчет коридора АДТ, характерного для АЦТ, за многолетний период. Затем расчет будет расширен для оценки изменчивости диапазона АДТ за 26 лет (отметим в этой связи, что уровень океана вырос за 26 лет спутниковых альтиметрических измерений на 6-7 см). Для этого будут вычислены средние за каждый год АДТ, и для каждого года будет определен диапазон. Далее будет возможность расширить расчет для каждых суток с исключением из расчета вихрей в поле АДТ, а затем проводить осреднение полученных ежесуточных значений граничных АДТ за каждый год. В этом случае будет необходимо подключить данные по Формальной ошибке картирования (ФЭК), а также учесть ошибки вычислений, связанные с дискретностью сетки АДТ.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-05-00283).

Список литературы

- 1) Donohue K.A., Tracey K.L., Watts D.R., Chidichimo M.P., Chereskin T.K. Mean Antarctic Circumpolar Current transport measured in Drake Passage // *Geophys. Res. Lett.* 2016. Vol. 43. P. 11760–11767.
- 2) Тараканов Р.Ю. Море Скотия и пролив Дрейка как орографический барьер для Антарктического циркумполярного течения // *Океанология.* 2012. Т. 52. № 2. С. 176–189.
- 3) Кошляков М.Н., Тараканов Р.Ю. Введение в физическую океанографию // Москва: МФТИ. 2014. С.142
- 4) Rio M.H., Mulet S., Picot N. New Global Mean Dynamic Topography from A GOCE Geoid Model, Altimeter Measurements and Oceanographic in-situ Data // *Proceedings of the ESA Living Planet Symposium, Edinburg.* 2013.
- 5) Smith W.H.F., Sandwell D.T. Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings // *Science.* 1997. Vol. 277. P. 1957–1962.

ВЕРИФИКАЦИЯ ДАННЫХ РЕАНАЛИЗА ERA5 ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ВОЛНЕНИЕМ С ПОМОЩЬЮ ВОЛНОИЗМЕРИТЕЛЬНОГО БУЯ SPOONDRIFT SPOTTER

Штремель М.Н.

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

6805919@mail.ru

Ключевые слова: волны, реанализ ERA5, реанализ ERA-Interim, волноизмерительный буй, натурные данные, Балтийское море, Spoondrift Spotter.

Учитывая, что натуральных данных о параметрах волн всегда не хватает, привлекательность использования реанализа для различного рода исследовательских и прикладных задач очень велика. Поэтому вопрос соответствия данных о волнении ERA5 натурным наблюдениям в различных ситуациях крайне актуален. К примеру, в работе [1] приводится сравнение данных о ветре и волнении реанализа с результатами измерений волномерных буйев и спутниковыми данными в тропических тайфунах и показано, что реанализ ERA5 занижает значения высот волн в экстремальных штормах (при высотах волн более 6 м) по сравнению с альтиметрическими данными. Однако, авторы также показывают, что в целом предсказания ERA5 соответствуют данным альтиметрии (среднее отклонение данных реанализа от результатов измерения составляет -0.8, среднеквадратическая ошибка — 0.3, коэффициент корреляции — 0.98).

В данной работе обсуждается соответствие данных о волнении реанализа ERA5 измерениям волн в прибрежных районах.

3 декабря 2019 года ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, Европейский центр среднесрочных прогнозов) выпустил оперативный вариант реанализа ERA5 (ECMWF Re-Analysis) — ERA5T (буква "Т" означает предварительные данные), обновляющийся ежедневно с задержкой по времени всего 5 дней от текущего момента (в отличие от ERA5, где данные доступны с задержкой около 2–3 месяцев). Согласно документации [2], ERA5T ничем не отличается от ERA5, доступного за период с 1979 по текущий момент, за исключением случаев, когда в процессе проверки в ERA5T обнаруживаются ошибки, о которых авторы затем обязуются уведомлять пользователей [3].

Параметры волн рассчитываются по прогностической спектральной модели WAM (WAve Model), разработанной в 1988 WAMDI Group (The Wave Model Development and Implementation) [4], в версии ECMWF [5]. Пространственное разрешение вывода волновой модели — 0.5 градуса, временное — 1 ч.

Измерение волновых параметров производилось с помощью буйа Spotter [6], выпущенного компанией Spoondrift. Буй регистрирует собственное движение по трем осям: на восток, на север и вертикальное перемещение с помощью блока инерциальных датчиков (IMU) с частотой 2.5 Гц, а также положение в пространстве с помощью модуля GPS. Диапазон частот волн, регистрируемых буйем — от 0.03 до 1 Гц, точность измерения перемещений — 2 см. Также на устройстве вычисляются статистические параметры волнения (значимая высота волны, период пика спектра волн, средний период волн, направление распространения волн) с шагом по времени 30 мин. Эти данные и были использованы для сравнения.

В период с 11 июля (14:00 GMT) по 27 июля (14:00 GMT) 2019 года волноизмерительный буй был установлен в 5.3 км от побережья Балтийской косы на глубине 20 м (координаты точки установки — 54.63° с.ш. 19.77° в.д.). Было получено 768 значений высоты волны.

Расстояние между местом установки буйа и ближайшей к нему точкой вывода данных о волнении реанализа ERA5 (54.5° с.ш. 19.5° в.д.) — 22 км. Глубина Балтийского моря в этой точке составляет 60 м, расстояние от Балтийской косы — 9.3 км. Длина ряда значений высот волн, использованного для анализа — 384.

За период наблюдений произошло два штормовых события с максимальной высотой волн 1.45 м. Сравнение данных ERA5 в вышеуказанной точке и измерений волнения с помощью буя показало сильное занижение значения высоты волн в период шторма (до 2.5 раз) по данным реанализа (среднеквадратическая ошибка за весь период наблюдения — 0.239 м, коэффициент корреляции — 0.88), тогда как значения высот волн, воспроизведенные в старой версии реанализа ERA-Interim в той же точке показывают лучшее соответствие измеренным (среднеквадратическая ошибка — 0.123, коэффициент корреляции — 0.93), однако эти данные доступны только до августа 2019 года и с шагом по времени 6 ч (66 значений высоты волн за период наблюдения).

Вторая ближайшая к месту установки буя точка располагается в 30 км от м. Таран на глубине 100 м (55° с.ш., 19.5° в.д., расстояние до места постановки буя — 46 км). Для этой точки соответствие данных реанализа ERA5 измерениям буя выше (среднеквадратическая ошибка — 0.115, коэффициент корреляции — 0.94).

Основной вывод работы — использование данных о волнении ERA5 в районах, располагающихся близко к берегу, может приводить к очень значительным ошибкам (наблюдается расхождение результатов натурных наблюдений с данными реанализа ERA5 в высотах волн в 2 раза во время штормового события), и стоит выбирать для анализа точки, располагающиеся на значительном расстоянии от берегов и проводить дополнительные расчеты для определения параметров волн в представляющей интерес области, либо перед использованием верифицировать данные реанализа в прибрежных точках по натурным наблюдениям.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Института Океанологии РАН (тема №0149-2019-0005) и при финансовой поддержке РФФИ (проект №18-05-00741 и проект №18-55-45026)

Список литературы

- 1) Parsons, M.J., A.R. Crosby, L. Orelup, M. Ferguson and A.T. Cox. Evaluation of ERA5 Reanalysis Wind Forcing for Use in Ocean Response Modeling [электронный ресурс] / Parsons, M.J., A.R. Crosby, L. Orelup, M. Ferguson and A.T. Cox. - Tel Aviv University, Tel Aviv, Israel: Waves In Shallow Environments (WISE), 2018. – режим доступа: <https://www.oceanweather.com/about/papers/Evaluation%20of%20ERA5%20Reanalysis%20Wind%20Forcing%20WISE%202018.pdf>
- 2) Hennermann, K. ERA5: data documentation [электронный ресурс] / К. Hennermann, M. Giusti. – Электрон. текстовые дан. - ECMWF, 2020. - режим доступа: <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5%3A+data+documentation>
- 3) Giusti, M. Release of ERA5T [электронный ресурс] / M. Giusti. – Электрон. текстовые дан. - ECMWF, 2020. - режим доступа: <https://confluence.ecmwf.int/display/CUSF/Release+of+ERA5T>
- 4) The WAM Model - A Third Generation Ocean Wave Prediction Model / The WAMDI Group // Journal of Physical Oceanography. – 1988. - №18. – P. 1775-1810
- 5) ECMWF. Part VII: ECMWF Wave Model / ECMWF // IFS Documentation CY41R2. – ECMWF, 2016. – 83 p.
- 6) Spotter Buoy [электронный ресурс] / Sofar, 2020. - режим доступа: <https://www.sofaroccean.com/products/spotter>

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН В УРАГАНЕ

Юровская М.В.^{1,2}, Кудрявцев В.Н.^{1,2}, Шапрон Б.^{2,3}

¹Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

²Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург

³IFREMER, Брест, Франция

mvkosnik@gmail.com

Ключевые слова: моделирование волнения, развитие волн, теория подобия, ураганы.

Исследование основано на простой параметрической модели, являющейся обобщением теории подобия для поверхностных волн, генерируемых ветровым полем. Согласно оригинальной концепции теории подобия, развитие ветровых волн (их энергии и частоты спектрального пика) может быть полностью описано с использованием масштаба длины или времени разгона и скорости ветра. Целью работы является развитие параметрической модели [1] для ее использования при описании генерации волн при произвольных пространственно-временных изменениях скорости ветра.

Предполагается, что при развитии волн в поле ветра неоднородного в пространстве и во времени также выполняются законы подобия, т.е. скорость изменения частоты и волновой энергии спектрального пика, нормированных на скорость ветра и ускорение свободного падения, полностью определяется возрастом волн. Функция источника в соответствующем одномерном уравнении определяется таким образом, чтобы стационарное решение соответствовало известному закону разгона волн, подтвержденному в многочисленных экспериментах.

Чтобы распространить уравнения для скорости изменения частоты и энергии волн на двумерный случай, когда ветер изменяется в обоих направлениях, предполагается, что соотношения выполняются, если заменить скорость ветра на ее компоненту в направлении распространения волн спектрального пика. В этом случае система уравнений должна быть дополнена уравнением для эволюции направления волн спектрального пика: если скорость ветра меняется в пространстве, то направление спектрального пика также должно меняться, подстраиваясь под направление ветра.

Алгоритм решения полной системы уравнений для описания эволюции высоты волн, частоты спектрального пика, его направления распространения и фокусировки/дефокусировки волновой энергии, основывается на методе характеристик. Для моделирования эволюции волн в урагане использовался расчет в нестационарной системе отсчета, связанной с ураганом. Вдоль траектории каждого луча в каждый момент времени проводится расчёт приращения координат, частоты, направления и энергии волн. Для повышения устойчивости численной схемы используется неявная схема Рунге-Кутты 4-го порядка (см., например, [2]).

Проведены расчеты для модельного поля ветра для случая развития волн от берега при однородном ветре со скоростями от 5 до 20 м/с и для неоднородного циклонического поля ветра с различными характерными размерами, максимальными скоростями ветра и при различных скоростях перемещения урагана. Расчеты воспроизводят анизотропию распределения энергии внутри урагана и эффект захвата волн движущимся циклоном. Сопоставление результатов с доступными натурными измерениями пространственного распределения параметров волн в тропических циклонах [3] показало их хорошее соответствие. Предложенный алгоритм и разработанные программы могут быть использованы в моделях прогноза волнения.

Работа выполнена в рамках гранта РНФ №17-77-30019 и государственного задания №0827-2018-0003.

Список литературы

- 1) Kitaigorodskii, S. A. Applications of the theory of similarity to the analysis of wind-generated water waves as a stochastic process // Bull. Acad. Sci. USSR Geophys. – 1962. – 1. – P. 105–117.
- 2) Демченко В.В. Метод Рунге-Кутты решения задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка: Учебно-методическое пособие по курсу Вычислительная математика. – М.: изд. МФТИ, 2004. – 20 с.
- 3) Hwang, P.A. Ocean Surface Wave Spectra inside Tropical Cyclones // J. Phys. Oceanogr. – 2017. – 47. – P. 2393–2417. - <https://doi.org/10.1175/JPO-D-17-0066.1>

МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ГЛУБОКОЙ КОНВЕКЦИИ В МОРЕ ИРМИНГЕРА

Яковлева Д.А.¹, Башмачников И.Л.^{1,2}, Голубкин П.А.²

¹Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

²Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена,
г. Санкт-Петербург
dianayak47@mail.ru

Ключевые слова: море Ирмингера, глубокая конвекция, теплосодержание, потоки тепла.

Море Ирмингера - один из районов глубокой зимней конвекции в Северной Атлантике. В ходе конвекции происходит образование глубинных водных масс, которые участвуют в формировании возвратного глубинного потока Атлантической меридиональной океанической циркуляции. Максимальная глубина конвекции наблюдалась в начале и в конце периода исследования (1993-2015 гг.) [1]. Максимальной глубины (часто свыше 1000 м) конвекция в море Ирмингера, как правило, достигает в марте [2].

Для расчета океанических потоков тепла, теплосодержания и вертикального потока тепла на границе 500-600 м был использован массив натуральных и спутниковых ежемесячных данных ARMOR-3D ($0.25 \times 0.25^\circ$, с 1993 г.) [3]. Потоки тепла океан-атмосфера получены по базе ежемесячных данных OAFflux ($1 \times 1^\circ$) [4], радиационный баланс - по данным реанализа ERA-Interim ($0.25 \times 0.25^\circ$) [5]. Расчет океанической адвекции тепла проводился по 4-м разрезам, ограничивающим центральную и западную области моря Ирмингера ($58.125-62.125^\circ$ с.ш. и $36.125-44.125^\circ$ з.д.). Внутри этой области также рассчитывалось теплосодержание верхнего 500-м слоя океана. Тепловой баланс верхнего слоя океана был рассчитан как сумма всех потоков: потоков тепла на границе океан-атмосфера (скрытого и явного), радиационного баланса, дивергенции океанических потоков тепла, интегрального вертикального турбулентного потока тепла на 500-м.

Средние среднегодовых значений были максимальны для океанического потока тепла (36.76 ТВт) и скрытого потока тепла (-21.06 ТВт, знак «-» означает, что поток направлен в океан). Средние значения радиационного баланса (8.01 ТВт), явного потока тепла (-4.96 ТВт) и вертикального турбулентного потока тепла на нижней границе слоя (-0.12 ТВт) существенно меньше. В среднем, тепловой баланс верхнего 500-м слоя положителен, что говорит о том, что не все слагаемые были учтены. Так, например, не был учтен вклад горизонтального турбулентного обмена (вихрей) и др. Однако амплитуда долгопериодной изменчивости теплового баланса (около 15 ТВт) по порядку величины схожа с долгопериодной изменчивостью теплосодержания (порядка 20 ТВт), и они значимо коррелируют между собой (0.79). Это говорит о том, что учтены все основные потоки тепла, определяющие межгодовую изменчивость теплосодержания верхнего слоя океана.

В свою очередь, межгодовая изменчивость теплосодержания (сентябрь-ноябрь) верхнего слоя океана значимо отрицательно коррелирует с максимальной глубиной конвекции (-0.73) и имеет схожие долгопериодные тенденции. Корреляции содержания пресной воды (сентябрь-ноябрь) и глубины конвекции существенно меньше и положительна (0.49), что противоречит ожидаемому уменьшению глубины конвекции с уменьшением солености верхнего слоя океана. Эта связь предположительно является следствием отрицательной корреляции теплосодержания и содержания пресной воды (сентябрь-ноябрь) в верхнем слое моря Ирмингера (-0.64).

В результате анализа обнаружено, что долгопериодная изменчивость глубокой конвекции в море Ирмингера формируется изменчивостью океанических потоков тепла в регион, а также изменчивостью скрытого потока тепла из океана в атмосферу.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 17-17-01151).

Список литературы

- 1) Гладышев С.В., Гладышев В.С., Гулев С.К., Соков А.В. Аномально глубокая конвекция в море Ирмингера зимой 2014–2015 гг // Докл. АН. 2016. Т. 469. № 3. С. 351-355.
- 2) Башмачников И.Л., Федоров А.М, Весман А.В. и др. 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. 2018. Т 15. № 7. С. 184-194.
- 3) Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS): [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://marine.copernicus.eu/>. (Дата обращения: 15.11.2019).
- 4) Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI) Objectively Analyzed air-sea Fluxes (OAFlux) Project: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://oaflux.whoi.edu/>. (Дата обращения: 15.11.2019).
- 5) European Centre for Medium-Range Weather Forecasts: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ecmwf.int/>. (Дата обращения: 15.11.2019).

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БИООПТИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ВОД
НА ТРАНСАТЛАНТИЧЕСКОМ РАЗРЕЗЕ В 2019-2020 ГГ.

Глуховец Д.И.^{1,2}, Салюк П.А.³, Артемьев В.А.¹, Салинг И.В.¹, Штрайхерт Е.А.³

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

²Московский физико-технический институт (НИУ), г. Долгопрудный

³Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток

glukhovets@ocean.ru

Ключевые слова: биооптические характеристики, флуоресценция морской воды, показатель поглощения, хлорофилл *a*, растворенное органическое вещество, поверхностный слой, трансатлантический разрез.

Цель работы - получение новых данных о биооптических характеристиках поверхностного слоя на трансатлантическом разрезе от Калининграда до Монтевидео в 79-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в период с 30 ноября 2019 г. по 7 января 2020 г. Измерения выполнялись на ходу судна, а также на станциях в районе экватора и канала Вима. Полученные данные необходимы для валидации результатов работы биооптических спутниковых алгоритмов, используемых для расчета концентрации хлорофилла *a* (Хл), взвешенного вещества, содержания окрашенного растворенного органического вещества (ОРОВ) и оценки первичной продукции фитопланктона, что входит в число актуальных задач современной оптики океана.

Непрерывные измерения с помощью проточных измерительных комплексов ИО РАН и ТОИ ДВО РАН [1, 2] позволили получить пространственные распределения интенсивностей флуоресценции (I_{fl} , R.U.) ОРОВ и Хл при возбуждении излучением 355 нм, 373 нм и 532 нм, показателя ослабления света морской водой на длине волны 530 нм (c , m^{-1}), а также температуры (T , °C) и солености (S , eps) морской воды. Вода поступала в лабораторию из штатной водозаборной системы судна с глубины около 5-6 м. Для калибровки измерений интенсивностей флуоресценции, выполненных с помощью проточного флуориметра, использовалась проточная модификация двухканального лазерного флуориметра. В результате калибровки значения I_{fl} приводятся к абсолютным (рамановским) единицам (R.U.). Измерения спектров поглощения морской воды, фильтрата и взвешенных частиц выполнялись с помощью портативного спектрофотометра с интегрирующей сферой ICAM (Integrating Cavity Absorption Meter) [3] на пробах, отобранных на дрейфовых станциях, а также на пробах, регулярно отбиравшихся из проточной системы. В методику измерений [4] внесен ряд дополнений, что позволило увеличить чувствительность прибора для работы в водах первого типа и приблизить качество измерений к мировым стандартам [5]. Также в рейсе выполнялись прямые определения концентрации Хл и взвешенного вещества.

Для полноты исследования биооптических характеристик поверхностного слоя и происходящих в нем процессов использовались спутниковые данные, позволяющие наблюдать распределения в широких пространственных и временных масштабах. Во время проведения экспедиции на судне выполнялся прием спутниковых карт концентраций хлорофилла и взвешенного вещества, показателя поглощения ОРОВ, а также температуры, полученных со сканеров цвета MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) и OLCI (Ocean and Land Colour Instrument).

Исследованы районы с различными значениями биооптических характеристик и разными типами корреляции между их распределениями, распределениями поверхностной температуры и солености морской воды. В области Канарского апвеллинга зонам понижения температуры соответствуют пики I_{fl} Хл и ОРОВ. При этом интенсивности флуоресценции в обоих каналах изменяются

согласовано. В поверхностном слое тропических и субтропических районов Атлантики зарегистрированы низкие значения интенсивностей флуоресценции Хл и ОРОВ, показателей ослабления и поглощения, что характерно для ультраолиготрофных вод. Эти распределения хорошо согласуются с полученными спутниковыми картами. На подходе к заливу Ла-Плата зарегистрирована серия фронтальных разделов, а также ярко выраженная отрицательная корреляция I_{fl} ОРОВ и S ($R^2 = 0,98$), вызванная влиянием стока впадающих в залив рек. Ранее подобная отрицательная корреляция исследовалась в Карском море [6].

В работе представлены предварительные результаты выполненных измерений. В дальнейшем будет проведено сопоставление полученных распределений с интерполированными по времени и пространству спутниковыми данными VIIRS.

Экспедиционные исследования выполнены в рамках государственного задания по темам № 0128-2019-0008 и № FWMM-2019-0007. Обработка и анализ данных выполнены в рамках проекта РФФИ № 18-35-00525. Грант предоставлен через Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Авторы выражают благодарность к.т.н. Б.А. Гурееву за помощь в подготовке проточного измерительного комплекса ИО РАН и профессору д.б.н. С.И. Погосяну за предоставленную возможность использования измерителя поглощения ICAM.

Список литературы

- 1) Гольдин Ю.А., Шатравин А.В., Левченко В.А., Венцкут Ю.И., Гуреев Б.А., Копелевич О.В. Исследования пространственной изменчивости интенсивности флуоресценции морской воды в западной части Черного моря // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2015. Т.8. № 1. С.17-26.
- 2) Нагорный И.Г., Салюк П.А., Майор А.Ю., Дорошенко И.М. Мобильный комплекс для оперативного исследования водных акваторий и приземной атмосферы // *Приборы и техника эксперимента*. 2014. № 1. С. 103-106.
- 3) 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) 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.
- 5) Mannino A., Novak M.G., Nelson N.B. et al. Measurement protocol of absorption by chromophoric dissolved organic matter (CDOM) and other dissolved materials // *In Inherent Optical Property Measurements and Protocols: Absorption Coefficient, IOCCG Ocean Optics and Biogeochemistry Protocols for Satellite Ocean Colour Sensor Validation*. IOCCG. 2019. 77 p.
- 6) Глуховец Д.И., Гольдин Ю.А. Исследование связи солености и флуоресценции желтого вещества в Карском море // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2018. Т. 11. № 3. С. 34-39.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХЛОРОФИЛЛА «А», ТЕМПЕРАТУРЫ И СОЛЕННОСТИ ВОДЫ НА РАЗРЕЗАХ В ФИНСКОМ ЗАЛИВЕ В ИЮЛЕ 2019 ГОДА

Гущина А.С., Юркин Р.А.

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

sashamolly99@mail.ru

Ключевые слова: Финский залив, Балтийское море, хлорофилл «а», температура воды, соленость воды.

Финский залив является стратегически важной акваторией, состояние которой оказывает огромное влияние на прибрежную зону, в которой расположен г. Санкт-Петербург. Поэтому, в настоящее время, в связи с активной её эксплуатацией в постоянно меняющихся условиях, важно своевременно обновлять гидрометеорологические данные и следить за состоянием акватории. В этом направлении было сделано много исследований: проведены масштабные изыскания в рамках проекта "Моря СССР" [1], а также выполнено много чуть меньших по масштабам, но оттого не менее значимых исследований [2-4], которые косвенно включали в себя гидрохимические изменения - в основном, это важно для биологических исследований в упомянутом районе.

Целью данной работы является описание пространственной изменчивости, а также установление взаимосвязи между физическими параметрами воды (температура, соленость) и распределением хлорофилла «а» в акватории Финского залива в июле 2019 г.

Учебная экспедиция проходила в период с 6 по 10 июля 2019 года на шхуне «Надежда». Маршрут экспедиции пролегал по акватории Финского залива. Первичная обработка данных экспедиции проводилась прямо на шхуне, в полевой лаборатории. За время экспедиции были получены данные по солености, температуре, флуоресценции хлорофилла «а» с помощью STD-зонда. Промеры были сделаны на каждой из 13 станций до дна. Из полученных станций было сделано 3 разреза. Первый разрез (Разрез №1) сделанный 7 июля, проходит от глубинной части Финского залива к берегу, в северо-восточном направлении. Второй разрез (Разрез №2) - 8 июля, в центральной части акватории. Третий (Разрез №3) - 9 июля, в прибрежной части акватории, на юге Финского залива.

При рассмотрении Разреза №1 можно заметить, что при движении от мористой части к берегу количество хлорофилла «а» в верхних слоях увеличивается почти в два раза. Максимальные значения флуоресценции хлорофилла «а» в точке, максимально удаленной от берега, равна $2,5 \text{ мг/м}^3$, в прибрежной $4,9 \text{ мг/м}^3$. Глубина, после которой распределение хлорофилла «а» в воде становится примерно равномерным, уменьшается. Если в мористой части эта глубина равна примерно 25 м, то в прибрежной она около 17 м. Распределение хлорофилла «а» с глубиной от поверхности ко дну уменьшается, но есть слой скачка на каждой станции. Если рассмотреть, как меняется температура, то можно заметить, что она повышается в поверхностном слое при приближении к берегу. При рассмотрении распределения температуры с глубиной, можно заметить, что она убывает при движении ко дну. На максимально удаленных от берега точках можно заметить, что на глубине около 40 м она начинает незначительно увеличиваться. Температура на Разрезе №1 изменялась от 3,6 до 16,1 °С. Верхняя граница термоклина располагается в среднем в слое около 17-23 м, но при движении от берега, глубина залегания термоклина увеличивается. Финский залив является солоноватой акваторией, поэтому здесь не наблюдается высоких значений солёности. Соленость на Разрезе №1 изменялась от 2,9 до 7,9 ‰. При движении к прибрежной зоне она в поверхностном слое уменьшалась. Галоклин в среднем располагался на уровне 17-20 м, но при движении от берега глубина залегания галоклина увеличивалась.

Разрез №2 расположен в центральной части на средней глубине (от 20 до 35 м). Распределение солености достаточно стандартное: минимальные величины у поверхности, почти не изменяется

до 20 м (где, предположительно, находится галоклин), а затем достаточно плавно повышается до максимального значения, достигающего около 5,5-6 ‰. Термоклин в данной области находится примерно на такой же глубине, как и галоклин. Температура равномерно понижается с глубиной и на глубине около 20 м резко падает на 4-5 градусов. Хлорофилл «а» в данной области имеет два пика, расположенных на глубине 0-5 м первый и 15-20 м - второй. Похожая ситуация наблюдается также на Разрезе №3, однако в зоне, расположенной ближе к устью р. Невы, эти значения зафиксировать невозможно, так как глубина в данном месте слишком мала. Подобные пики могут быть связаны с постепенным опусканием и оседанием фитопланктона в верхней границе термоклина и галоклина, на так называемом «жидком грунте» (т.е. глубине (в данном случае - около 20 м), на которой наблюдается большой градиент плотности воды). Касательно остальных характеристик, на Разрез №3 чёткого галоклина не наблюдается, зато хорошо видна распресненная зона, зафиксированная на станциях, расположенных ближе к устью р. Невы, что, соответственно, указывает на распресняющий эффект речных вод. Температура в этой зоне повышена по сравнению с более мористыми водами, равномерно понижается с глубиной, выраженного термоклина не наблюдается.

Таким образом, проанализировав все три разреза, можно заключить, что более высокие концентрации хлорофилла «а» в Финском заливе в июле 2019 г. наблюдались в водах с более высокими температурами и меньшей солёностью, характерные для прибрежных частей залива и приустьевой области, что может свидетельствовать о том, что процессы роста фитопланктона в этот период были обусловлены выносом биогенных элементов речным стоком.

Данные были получены в ходе учебной практики студентов СПбГУ на шхуне «Надежда» в рамках проекта «Надежда морей».

Список литературы

- 1) Терзиев Ф.С., Рожков В.А., Смирнова А.И. Проект «Моря СССР», гидрометеорология и гидрохимия морей СССР, том III «Балтийское море» - Л: Гидрометиздат, Санкт-Петербург, 1992. 450 с.
- 2) Каурова З. Г., Резниченко О. П. Мониторинговые исследования литоральной зоны Финского залива в районе города Ломоносов // Национальная безопасность и стратегическое планирование. № 1. Т. 17. 2017. С. 99–101
- 3) Максимов А. А. Закономерности межгодовой и многолетней динамики макрзообентоса (на примере вершины Финского залива) // Диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук. - Санкт-Петербург, 2018. 265 с.
- 4) Шатрова О.В., Ерёмина Т.Р., Ланге Е.К. Анализ изменчивости параметров эвтрофирования в Финском заливе по данным натурных наблюдений // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. № 44. 2016. С. 129-140

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БАКТЕРИОХЛОРОФИЛЛА ЗЕЛЕННЫХ СЕРОБАКТЕРИЙ В ВОДОЕМАХ, ОТДЕЛЯЮЩИХСЯ ОТ БЕЛОГО МОРЯ: МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Емельянцеv П.С.¹, Жильцова А.А.¹, Воронов Д.А.^{2,3}, Краснова Е.Д.⁴, Рымарь В.В.¹,
Пацаева С.В.¹

¹Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, физический факультет, кафедра общей физики, г. Москва

²Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, г. Москва

³Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Институт физико-химической биологии имени А.Н. Белозерского, г. Москва

⁴Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, биологический факультет, Беломорская биологическая станция имени Н.А. Перцова, Мурманская область, Кандалакшский район
emelyantsev97@mail.ru

Ключевые слова: абсорбционная спектроскопия, оптические измерения, бактериохлорофилл, зеленые серные бактерии, меромиктические водоемы, хемоклин.

В работе описывается безэкстракционный метод [1] определения концентрации хлоросомных бактериохлорофиллов (Бхл *d* и *e*) зеленых серных бактерий (ЗСБ) в пробах воды с использованием спектроскопии поглощения, а также результаты его применения. В качестве объектов исследования выбраны пробы природной воды с ЗСБ, отобранные из нескольких водоемов, находящихся на побережье Кандалакшского залива Белого моря. Изучаемые реликтовые водоемы (бывшие морские лагуны, которые называют «отделяющимися» от Белого моря водоемами) находятся на разной стадии изоляции от моря вследствие постепенного поднятия морского дна и изменения береговой линии. В процессе эволюции такие водоемы становятся сильно стратифицированными: из-за микробной деятельности образуется богатый сероводородом нижний слой, в котором сохраняется морская вода, а поверхностная вода опреснена из-за постоянного притока воды из разных источников. На границе между верхним кислородным и нижним бескислородным (сероводородным) слоями при достаточном проникновении солнечного света создаются благоприятные условия для массового развития аноксигенных фототрофов, преимущественно ЗСБ, использующих сероводород в процессе фотосинтеза. В связи со специфическими условиями, необходимыми для жизни ЗСБ, их присутствие в воде говорит о наличии сероводородного заражения водоема, что является серьезной экологической проблемой. Это делает актуальными исследования в области разработки оптических экспресс-методов исследования пигментов ЗСБ в водных экосистемах.

В зависимости от содержания пигментов, ЗСБ могут быть зеленоокрашенными, содержащими Бхл *d*, или коричневоокрашенными, содержащими Бхл *e* в свето-собирающем комплексе (хлоросомах). До настоящего времени для определения концентраций Бхл *d* и *e* у аноксигенных фототрофов широко использовалась эмпирическая формула [2], в которую входят значения оптической плотности на 651 и 663 нм в спектре поглощения пигментов в ацетоновом экстракте. Однако для применения данного метода необходима пробоподготовка, включающая концентрирование бактерий, экстрагирование пигментов токсичными растворителями и выдерживание проб в течение суток. Новый метод заключается в определении концентрации хлоросомных Бхл по площади длинноволновой полосы поглощения в спектрах оптической плотности исходных проб воды. Для расчета площади под длинноволновым пиком поглощения выбран диапазон длин волн от 650 до 800 нм; линия светорассеяния под пиком поглощения аппроксимируется прямой линией. При разработке метода для разных серий проб, отобранных из отделяющихся водоемов Беломорского региона в 2018 г., получены пропорциональные зависимости концентрации Бхл, рассчитанной по спектрометрическим формулам для ацетонового экстракта, от площади *D* длинноволновой полосы в спектрах поглощения воды с ЗСБ. Для каждой зависимости получен коэффициент линейной

регрессии K [$\text{нм м}^3/\text{мг}$] и вычислен коэффициент A [$\text{мг}/(\text{нм м}^3)$], обратный K . Значения A для зеленоокрашенных, коричневоокрашенных бактерий и проб воды со смешанным микробным сообществом ЗСБ оказались близкими: среднее значение A по девяти исследованным сериям составило 336 ± 9 $\text{мг}/(\text{нм м}^3)$. Запишем итоговую эмпирическую формулу для расчета концентрации Бхл по спектрам поглощения воды:

$$C (\text{Бхл } d, e) [\text{мг}/\text{м}^3] = 336 [\text{мг}/(\text{нм м}^3)] \bullet D [\text{нм}]$$

По данной формуле и спектрам поглощения проб воды из нескольких меромиктических водоемов, отделяющихся от акватории Кандалакшского залива Белого моря, рассчитаны концентрации Бхл d и e для ряда реликтовых водоемов. Пробы отобраны в сентябре 2019 г. из оз. Трехцветного, Елового, Большие Хрусломены и лагуны на Зеленом мысе с различной глубины с помощью погружаемого насоса или многошприцевого пробоотборника [3]. Разрешение по глубине в случае многошприцевого пробоотборника составляло 25 мм при точности позиционирования иглы шприца 2 мм. Одновременно рядом с точкой отбора проб проводилось зондирование с помощью кондуктометра YSI и оптического оксиметра YSI Pro ODO; освещенность на разной глубине определялась погружным люксметром. Спектры оптической плотности проб воды и экстрактов измерялись в лаборатории при помощи спектрофотометров Solar PB 2201 и PV 1251 в спектральном диапазоне 200-900 нм.

Полученные распределения концентрации хлоросомного Бхл по глубине хорошо коррелируют с данными освещенности и распределения по глубине растворенного в воде кислорода. Резкое падение уровня кислорода и отрицательные значения окислительно-восстановительного потенциала при низкой освещенности соответствуют резкому возрастанию концентрации Бхл в области хемоклина. В сентябре 2019 г. в исследованных водоемах максимальные концентрации Бхл наблюдались на следующих глубинах: в оз. Трехцветном на 2.05 м ($14300 \text{ мг}/\text{м}^3$), в оз. Еловом на 3.1 м ($10400 \text{ мг}/\text{м}^3$), в оз. Большие Хрусломены на 4.1 м ($2600 \text{ мг}/\text{м}^3$), в лагуне на Зеленом мысе на 5.3 м ($1140 \text{ мг}/\text{м}^3$). Слой с ЗСБ в каждом из исследованных водоемов находится на границе кислородной и бескислородной зон при очень низкой освещенности.

Таким образом, разработанный спектральный метод позволяет без экстрагирования пигментов определить картину распределения бактериохлорофилла ЗСБ по глубине в водоемах. Метод применим к изучению не только исследованных в данной работе водоемов, но и любой природной воде с массовым развитием ЗСБ, причем может применяться непосредственно в воде без отбора проб при использовании погружаемого спектрофотометра.

Работа выполнена с использованием финансовых средств гранта РФФИ № 19-05-00377а и Министерства науки и высшего образования РФ.

Список литературы

- 1) Kharcheva A., Zhiltsova A., Emelyantsev P., et al. Spectrophotometric quantification of chlorosomal bacteriochlorophyll in intact cells of green sulphur bacteria: Monocultures and natural water // EARSel eProceedings. 2018. Vol. 17. № 1. P. 7-15.
- 2) Overmann J., Tilzer M. Control of primary productivity and the significance of photosynthetic bacteria in a meromictic kettle lake Mittlerer Buchensee, West-Germany // Aquatic Sciences. 1989. Vol. 51. № 4. P. 261-278.
- 3) Воронов Д.А., Краснова Е.Д. Исследования мелкомасштабного распределения микроорганизмов в хемоклине прибрежных стратифицированных водоемов, отделяющихся от Белого моря // Морские исследования и образование (MARESEDU-2018). Т IV (IV). Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2019. С. 103-107.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАЗВИТИЕ ПЛАНКТОНА В ГЕЛЕНДЖИКСКОЙ БУХТЕ ЛЕТОМ 2019 Г.

Казакова У.А., Куликова Ж.М.

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

ulya_kazakova_2910@mail.ru

Ключевые слова: планктон, Геленджикская бухта, биогенные элементы, растворенный кислород.

Живые организмы являются одним из важнейших показателей экологической ситуации в пределах акваторий, поэтому косвенным образом гидробиологические съемки, посвященные исследованию распределения и развития планктона, могут помочь при экологическом мониторинге различных акваторий.

Данная работа направлена на изучение гидробиологической структуры вод Геленджикской бухты. Основной целью данной работы было провести исследование биоразнообразия фито- и зоопланктона в соответствии с абиотическими факторами, а также проанализировать соотношения основных семейств и проследить связи между распределениями фито- и зоопланктона.

На развитие фитопланктона сильное влияние оказывают температура и содержание в воде биогенных элементов: минеральных соединений фосфора, азота и кремния. Наличие и развитие зоопланктона имеет прямую связь с распределением фитопланктона в исследуемой акватории. Таким образом, полноценный анализ гидробиологической съемки был дополнен данными по гидрохимическим и гидрологическим показателями воды. Важнейшим показателем развития фитопланктона является его первичная продукция, представленная в виде растворенного кислорода. В результате обработки проб было обнаружено 39 видов фитопланктона, относящихся к 4 систематическим группам: *Deatomeae*, *Peridineae*, *Euglenoidea*, *Silicoflagellata*. В восточной части бухты наблюдалось максимально количество организмов, обусловленное благоприятными условиями среды (достаточное содержание биогенных элементов). Поскольку растворенный кислород является продуктом жизнедеятельности фитопланктона, то недостаточное насыщение кислородом (менее 100%) в водной толще является следствием минимального значения численности и биомассы фитопланктона в рассматриваемой акватории. Достаточно высокие показатели содержания биогенных элементов в районе недостаточного насыщения кислородом морской воды свидетельствуют о том, что биогенные элементы не потребляются фитопланктоном в следствие его минимального развития.

При анализе данных по распределению численности фито- и зоопланктона можно наблюдать корреляцию между количеством фито- и зоопланктона: максимальные значения численности наблюдаются на станциях с минимальным содержанием биогенных элементов, что свидетельствует об активной жизнедеятельности планктонных организмов в Геленджикской бухте. При этом, наблюдается межгодовая изменчивость в развитии и распространении планктона.

При сравнении гидробиологических показателей за летний период 2018 и 2019 года можно проследить смещение локальных максимумов в численности фито- и зоопланктона. Юго-восточная часть бухты остается так же наиболее заселенной фитопланктоном, поскольку именно в эту часть бухты попадает наибольшее количество речных вод, которые богаты силикатами, необходимыми для построения своего панциря диатомовыми водорослями. В распределении фитопланктона по акватории бухты в течение двух периодов наблюдается некое меридиональное распределение локальных максимумов: с северной оконечности до юго-восточного края бухты - что объясняется общим характером распределения гидрохимических и гидрофизических характеристик в данные

два периода. Стоит отметить, что абсолютные значения численности фитопланктона в летний период 2019 года превышают то же показатель за летний период 2018 года (абсолютные значения максимумов - почти в полтора раза). Это различие в абсолютных показателях объясняется различными метеорологическими условиями во время гидробиологических съемок и влиянием человеческого фактора при обработке гидробиологических проб.

Межгодовая изменчивость в распределении численности зоопланктона более ярко выражена: уменьшение абсолютного значения численности почти в полтора раза и смещение максимума с западной части бухты в юго-восточную. Большие показатели численности зоопланктона в 2018 году объясняют более низкие показатели численности фитопланктона в этот же период, поскольку фитопланктон является пищей для зоопланктона. Смещение локального максимума связано с условиями обитания планктонных организмов, включая биогенные элементы и температуру воды.

Таким образом, распространение и развитие планктона напрямую связано с абиотическими факторами условий обитания. При этом развитие фито- и зоопланктона имеет сложную нерегулярную зависимость друг от друга, учитывая все условия развития и продукты жизнедеятельности планктонных организмов. Наблюдаемое уменьшение численности зоопланктона и увеличение численности фитопланктона в летний период 2019 года (по сравнению с 2018) объясняется так же абиотическими факторами: метеорологические условия, наличие биогенных элементов, прогревание водной толщи.

Список литературы

- 1) Альтман Э.Н. и др. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Том IV. Черное море. Выпуск 2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. – СПб: Гидрометеоиздат, 1991. – 220 с.
- 2) Фащук Д.Я. Черное море: географо-экологический «портрет» (иллюстрированное научно-справочное пособие). – М.: ГЕОС, 2019. – 312 с.

СВЯЗЬ СРОКОВ ВЕСЕННЕГО «ЦВЕТЕНИЯ» ФИТОПЛАНКТОНА С ФЕНОЛОГИЕЙ ЛЕДОВЫХ ПРОЦЕССОВ В БЕРИНГОВОМ И ЧУКОТСКОМ МОРЯХ

Кивва К.К.¹, Писарева М.Н.²

¹Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, г. Москва

²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

kirill.kivva@gmail.com

Ключевые слова: Берингово море, Чукотское море, весеннее "цветение" фитопланктона, даты полного очищения ото льда.

В арктических и субарктических морях основная часть нового первичного органического вещества (ОВ) формируется во время весеннего «цветения» фитопланктона. Сроки наступления этого явления зависят, главным образом, от физических факторов (освещённость, формирование устойчивой стратификации) и год от года значительно меняются. Это в свою очередь определяет особенности развития экосистемы в течение года. В морях с сезонным ледяным покровом процессы активного продуцирования ОВ могут начинаться ещё подо льдом (продукция подлёдных водорослей). За счёт опреснения поверхностного слоя при таянии льда и формирования устойчивой стратификации возникает «цветение» фитопланктона у кромки льда, которое с течением времени сдвигается вслед за кромкой в северном направлении. И только после этого может сформироваться «цветение» на свободной ото льда акватории. Известно, что на восточном шельфе Берингова моря относительно раннее освобождение акватории ото льда (февраль-март) может привести к задержке формирования ярко выраженного «цветения» до конца мая-начала июня из-за интенсивного ветрового перемешивания и ограничения фотосинтеза светом [1]. Цель данной работы - оценить степень зависимости сроков «весеннего» цветения фитопланктона от сроков освобождения акватории ото льда в северо-западной (район м. Наварин) и северной частях Берингова, а также в южной и западной частях Чукотского моря.

В исследовании использованы данные по сплочённости (концентрации) льда из массива Climate Data Record (CDR) NOAA/NSIDC [2] (исходное разрешение 25 км × 25 км × 1 сутки) и данные спектрорадиометра MODIS-Aqua по концентрации хлорофилла-а (исходное разрешение 4 км × 4 км × 8 суток). Даты полного очищения акватории ото льда (ДПО) определены по [3] за исключением того, что в качестве ДПО выбрана дата последнего за сезон падения концентрации льда в узле сетки ниже 0,15, а не первая из таких дат, как в [3]. То есть анализируется межгодовая изменчивость дат устойчивого перехода от условий, когда акватория покрыта льдом, к условиям свободной ото льда акватории. После этого перехода предположительно и должно происходить наиболее интенсивное «цветение» фитопланктона. В весеннее время большая часть исследуемой акватории часто закрыта облачностью. Для минимизации влияния облачности на результат концентрацию хлорофилла-а осредняли по относительно крупным районам, выбранным исходя из результатов кластерного анализа ДПО (см. тезисы доклада Киввы К.К. и др. "Изменчивость сроков схода льда в Беринговом и Чукотском морях", КИМО-2020). В качестве основных районов выбраны западная и южная части Чукотского моря, область к юго-западу от о. Св. Лаврентия, участки западного и восточного шельфа Берингова моря. ДПО осреднены по тем же районам.

В западной и южной частях Чукотского моря концентрация хлорофилла-а в большинстве случаев достигает высоких значений ещё до того, как концентрация льда становится меньше 0,15. Происходит это обычно с начала мая по конец июня (на юге) и с начала июня по середину июля (на западе). Причём, во многие годы интервал времени между заметным повышением концентрации хлорофилла-а и полным очищением акватории ото льда может составлять 2-4 недели. По всей видимости, в условиях относительно позднего схода льда фитопланктону достаточно даже

относительно малых нарушений ледяного покрова для получения такого количества солнечного света, которое достаточно для формирования "цветения".

В пределах района, выбранного в северной части шельфа Берингова моря к юго-западу от о. Св. Лаврентия, рост концентрации хлорофилла-а в весеннее время почти всегда строго привязан к ДПО. Интересно отметить, что, в отличие от остальных рассмотренных районов, во все годы там наблюдался относительно дружный сход льда в течение интервала около 10-12 дней.

Вдоль западного шельфа Берингова моря лишь в редких случаях относительно высокие концентрации хлорофилла-а ($>1 \text{ мг м}^{-3}$) могут наблюдаться до даты последнего падения средней по району концентрации льда ниже 0,15. В большинстве случаев цветение происходит сразу после схода льда или с задержкой в несколько дней. Однако в годы, когда лёд сходит необычно рано (в марте), заметный рост концентрации хлорофилла-а происходит только спустя месяц-два после этого. Такая ситуация наблюдалась в 2003, 2004, 2011, 2015 и 2017-2018 годах. Вероятно, к этому приводят такие же процессы, как и описанные для восточного шельфа моря: интенсивные весенние ветра и недостаточная освещённость акватории [1]. Для установления точных причин задержки «цветения» фитопланктона в этом районе в годы с ранним сходом льда требуются дополнительные исследования. В частности, оценка изменчивости весенних ветровых условий.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФГБНУ "ВНИРО" № 076-00005-19-01 "Проведение прикладных научных исследований".

Список литературы

- 1) Hunt Jr. G.L., Stabeno P., Walters G. et al. Climate change and control of the southeastern Bering Sea pelagic ecosystem // Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. 2002. 49(26). P. 5821-5853.
- 2) Meier W.N., Fetterer F., Savoie M. et al. [Electronic resource] NOAA/NSIDC Climate Data Record of Passive Microwave Sea Ice Concentration, Version 3. Boulder, Colorado USA. NSIDC: National Snow and Ice Data Center. 2017. URL: <https://nsidc.org/data/G02202/versions/3> (дата обращения: 26.02.2020).
- 3) Peng G., Steele M., Bliss A. et al. Temporal Means and Variability of Arctic Sea Ice Melt and Freeze Season Climate Indicators Using a Satellite Climate Data Record // Remote Sensing. 2018. 10(9). P. 1328.

ПОДЛЁДНОЕ «ЦВЕТЕНИЕ» В АМУРСКОМ ЗАЛИВЕ (ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

Маркина Ж.В.^{1,2}, Бегун А.А.¹, Лазарюк, А.Ю.^{1,3}, Орлова Т.Ю.¹

¹ Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, г. Владивосток

² Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток ³ Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток

zhannav@mail.ru

Ключевые слова: фитопланктон, «цветение», лёд, Японское море.

Ежегодно в холодный период (декабрь-март) в прибрежных районах северо-западной части Японского моря наблюдается «цветение» фитопланктона. Изучение процессов, связанных с этим явлением, как правило, осуществляется на участках акваторий свободных ото льда [1]. В то же время, гораздо менее изученным остаётся явление собственно подлёдного цветения, прежде всего, из-за наличия различных технических сложностей. Тем не менее, в течение последних 50-ти лет различными группами проводились исследования подлёдного цветения, преимущественно, в районах Амурского залива, примыкающих к пол-ву Муравьёва-Амурского (прибрежная зона г. Владивосток). В большинстве случаев эти исследования были ограничены описанием продукционных характеристик фитосообществ и носили фрагментарный характер. Соответственно, представленные авторами результаты содержат значительные расхождения в данных и противоречия в оценках факторов, влияющих на продукционные особенности изучаемых видов фитопланктона [2, 3]. В отличие от прошлых лет современное состояние исследовательской приборной базы (автономные СТД зонды) позволяет осуществлять в пределах исследуемой акватории оперативное наблюдение за пространственно-временной изменчивостью не только гидрофизических, но и биологических параметров.

В январе-марте 2010 г. и октябре-марте 2010-11 гг. в северной части Амурского залива были выполнены натурные наблюдения зондом SBE-19plus (США). В это же время на станции гидробиологического мониторинга (координаты: 43° 12' с.ш., 131° 54,9' в.д.) ежемесячно отбирались пробы воды из поверхностного слоя. Результаты совместного исследования показали в холодный период года три стадии эволюции термохалинных структур (ТХС) и связанные с ними зимнее и весеннее подлёдные цветения [4]. С октября по декабрь наблюдалось разрушение устойчивой летней стратификация вод залива (вследствие холодовой конвекции) и уменьшение первичной продукции. Интегральные величины исследуемых параметров изменялись разнонаправлено, уменьшались - температура до точки замерзания воды, -1,9°C, освещённость, концентрации растворённого кислорода до 4 мг/л, и хлорофилла «а», практически, до полного отсутствия, а солёность и мутность - возрастали. На следующей стадии при формировании ледового покрова выделившийся рассол накапливался у дна, формируя слой высокосолёных вод (до 34,5 епс, единиц практической солёности). Поток тепла от донных осадков повышал температуру этого слоя до -1°C и более [5]. Наблюдалась двухслойная ТХС: холодный, но менее солёный верхний слой, и придонный относительно тёплый и более солёный. В толще верхнего квазиоднородного слоя активно развивались, преимущественно, диатомовые водоросли с преобладанием холодноводных аркто-бореальных видов: *Chaetoceros debilis* Cleve 1894, *C. pseudocrinitus* Ostefeld 1901 и *Thalassiosira nordenskioldii* Cleve 1873, росли концентрации хлорофилла «а» до 10 мг/м³, и кислорода до 11 мл/л. В придонном слое, занимавшем до 20% водной толщи, эти параметры оставались на низких уровнях, 0-1 мг/м³ и 4-5 мл/л. В дальнейшем, после прекращения ледообразования двухслойная структура вод постепенно разрушалась из-за притока тепла от осадков [4]. Солёность в обоих слоях понижалась на 0,015 епс в сутки, а температура увеличивалась на 0,005°C/сут. Концентрации хлорофилла «а» стремительно падали, и в марте, практически, отсутствовали до начала цветения с преобладанием диатомовой водоросли *Nitzschia frigida* Grunow, 1880, а также динофитовых рода *Gymnodinium* в распреснённом подповерхностном (подлёдном) слое

Холодные сезоны 2012-2020 гг. также сопровождались аналогичными сериями наблюдений, из которых следует, что в периоды зимнего подлёдного цветения неизменно доминируют холодноводные аркто-бореальные виды. Но при этом выявлен значительный разброс в сроках начала цветения (последняя декада декабря - середина января), его продолжительности (от двух до пяти декад) и интенсивности (максимумы от 3 до 15 мг/м³), рис. 1. Наблюдаемые нами случаи весеннего подлёдного цветения имели более «пёструю картину» как по количественным характеристикам, так и по видовому составу. В частности во второй половине марта 2013 г. было зарегистрировано продолжительное коричневое «цветение» гаптофитовой водоросли *Pseudohaptolina sorokinii* [6], предположительно, связанное аномальным изменением термохалинной стратификации вод исследуемой части Амурского залива.

Таким образом, удалось прояснить роль разнородных природных факторов, влияющих как на гидрологический режим, так и на состояние фитосообществ северной части Амурского залива в холодный период года, а также оценить пределы пространственно-временной изменчивости гидрологических и гидробиологических характеристик.

Работа выполнена в рамках гранта 18-4-050 (Программа «Приоритетные научные исследования в интересах комплексного развития ДВО РАН»)

Список литературы

- 1) Захарков С.П., Лобанов В.Б., Гордейчук Т.Н., Морозова Т.Ю., Штрайхер Е.А. Пространственная изменчивость хлорофилла «а» и видового состава фитопланктона в северо-западной части Японского моря в зимний период // Океанология. 2012. Т. 52, № 3, с. 381–391.
- 2) Коновалова Г.В. Микро- и наннопланктон Амурского залива зимой // Прибрежный планктон и бентос северной части Японского моря. Владивосток: Изд-во АН СССР, 1980. С. 6–8.
- 3) Паутова Л.А., Силкин В.А. Зимний фитопланктон северо-западной части Японского моря. Некоторые закономерности формирования структуры фитоценоза в прибрежном мелководье // Океанология. 2000. Т. 40, № 4. С. 553–561.
- 4) Лазарюк А.Ю., Лобанов В.Б., Пономарёв В.И. Эволюция структуры вод Амурского залива подо льдом // Вестник ДВО РАН. 2013. №6. С.59-70.
- 5) Буров Б. А., Лазарюк А. Ю., Лобанов В. Б. Исследование теплового потока на границе вода – донные осадки в Амурском заливе Японского моря в зимний период // Океанология. 2014. Т. 54, № 6. С. 744–753.
- 6) Orlova T.Y., Efimova K.V., Stonik I.V. Morphology and molecular phylogeny of *Pseudohaptolina sorokinii* sp. nov. (Prymnesiales. Haptophyta) from the Sea of Japan, Russia // Phycologia. 2016. V. 55. P. 506–514.

ДИСТАНЦИОННЫЕ ОЦЕНКИ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ В ЯПОНСКОМ МОРЕ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

Маховиков А.Д.

Санкт-Петербургский Государственный университет, г. Санкт-Петербург

alexmakhovikov@gmail.com

Ключевые слова: первичная продукция, спутниковые модели, Японское море.

Оценка величины первичной продукции фитопланктона очень важна, поскольку ее изменения могут влиять на множество других факторов и процессов, например на рыбохозяйственную и биологическую продуктивность морей [1]. Первичная продукция может быть измерена непосредственно с судна - данные *in situ*, или оценена с помощью специальных моделей (чаще всего это функциональные зависимости скорости фотосинтеза от подводной освещённости), которые могут использовать как спутниковые, так и *in situ* данные в качестве вводных параметров модели. Оценки *in situ* всегда представляют большую ценность, чем оценки, полученные с помощью спутниковых данных, поскольку состояние атмосферы и присутствие в воде оптически активных компонентов могут увеличивать погрешность оценок, полученных по спутниковым измерениям [2]. Несмотря на это, спутниковые данные активно используются во многих исследованиях, так как они охватывают всю поверхность Земли и для получения этих данных не нужно отправляться в рейс или экспедицию. Ещё одним преимуществом спутниковых измерений является регулярность самих измерений, с помощью которых можно проследить межгодовую изменчивость интересующего параметра. Цель данной работы - рассчитать первичную продукцию фитопланктона по спутниковым данным в центральной части Японского моря по двум различным моделям и сравнить полученные оценки.

В работе использованы данные по хлорофиллу «а» Тихоокеанского океанологического института Дальневосточного отделения Российской Академии Наук (ТОИ ДВО РАН). Был выполнен анализ 5 рейсов, 4 из которых были сделаны в весенний сезон (май 2007, март 2005, апрель 2015, апрель 2014), и один осенью (ноябрь 2003). Первичная продукция восстанавливалась по двум моделям: модель VGPM (Vertically Generalized Productivity Model - вертикально обобщенная модель первичной продукции), которая в качестве биотического индекса, отражающего количество фитомассы, вовлечённой в фотосинтез, использует поверхностную концентрацию хлорофилла «а» [4], и модель, разработанная в ТОИ ДВО РАН (модель ТОИ) [3], которая представляет собой функцию от концентрации хлорофилла «а» в слое фотосинтеза.

Для получения спутниковых оценок первичной продукции использованы следующие данные: хлорофилл «а», коэффициент диффузного ослабления света (k_d) для длины волны 490 нм - $k_d(490)$, температура поверхности океана (ТПО) и фотосинтетически активная радиация (ФАР). Данные по хлорофиллу «а» и $k_d(490)$ взяты из базы данных Climate Change Initiative Ocean Colour, версия 3.1 (<http://rsg.pml.ac.uk/thr edds/catalog-cci.html>). Данные по ТПО и ФАР взяты из базы данных NASA's OceanColor Web (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov>). Пространственная дискретность данных - 4x4 км. Поскольку для большей части станций ежедневные данные спутниковых измерений отсутствовали, использованы данные, осредненные в базе данных за 8 дней. Глубина эвфотической зоны определялась способом, предложенным в [4] с использованием k_d для всего спектра ФАР [5]. Общая концентрация хлорофилла «а» рассчитана методом, предложенным в [6].

Результаты расчетов первичной продукции по спутниковым данным показали, что значения, полученные с помощью модели ТОИ, в два или более раз превышают значения первичной продукции, полученные по модели VGPM. Так, например, в ноябре значения, рассчитанные по модели VGPM лежат в промежутке от 90 до 371 мг С м⁻² день⁻¹, а значения, рассчитанные по модели

ТОИ - от 250 до 1250 мг С м⁻² день⁻¹. Основной вклад в ошибку VGPM вносят значения следующих параметров: хлорофилл «а» и глубина эвфотической зоны. Коэффициент корреляции общей концентрации хлорофилла «а» между спутниковыми данными и данными *in situ* составляет от 0.4 до 0.8.

Таким образом, в результате исследования показано, что оценка первичной продукции в Японском море по спутниковым данным по модели ТОИ дает значения, которые в два раза превышают значения, восстановленные по модели VGPM. Можно предположить, что это связано с заниженными значениями спутниковых данных таких параметров, как: концентрация хлорофилла «а» и коэффициент диффузного ослабления света на длине волны 490 нм, с помощью которого считается эвфотический слой. Данные параметры при перемножении дают число, которое гораздо меньше концентрации хлорофилла «а» в слое фотосинтеза, из-за чего и возникает такая большая разница в итоговых значениях.

Автор выражает благодарность сотрудникам ТОИ ДВО РАН д.б.н. Звалинскому В.И. и д.х.м. Тищенко П.Я. за предоставленные данные хлорофилла «а» в Японском море.

Список литературы

- 1) Винберг Г.Г. Первичная продукция водоемов. Минск: Изд-во АН БССР, 1960. 329 с.
- 2) Захарков С.П., Шамбарова Ю.В., Гордейчук Т.Н., Стоник И.В., Штрайхерт Е.А. Возможность использования данных зонда для калибровки спутниковых данных концентрации хлорофилла-а в Японском море // Известия ТИНРО. Т.177. 2014. С. 209-218
- 3) Звалинский В.И., Лобанов В.Б., Захарков С.П. Тищенко П.Я. Хлорофилл, замедленная флуоресценция и первичная продукция в северо-западной части Японского моря осенью 2000 г. // Океанология. Т.46. №1. 2006. С.27-37
- 4) Lobanova P., Tilstone G.H., Bashmachnikov I., Brotas V. Accuracy assessment of primary production models with and without photoinhibition using Ocean-Colour Climate Change Initiative Data in the North East Atlantic ocean// Remote Sensing. Vol.10. 2018. 1116. doi:10.3390/rs10071116
- 5) Morel A., Huot Y., Gentili B., Werdell P.J., Hooker S.B., Franz B.A. Examining the consistency of products derived from various ocean color sensors in open ocean (Case 1) waters in the perspective of a multi-sensor approach// Remote Sensing of Environment. Vol. 111(1). 2007. С. 69-88
- 6) Morel. A., J-F. Berthon. Surface Pigments, algal biomass profiles, and potential production of the euphotic layer: Relationship reinvestigated in view of remote-sensing applications //Limnology and Oceanography. Vol. 34 (8). 1989. С.1545-1562.

ИЗМЕРЕНИЕ СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ МОРСКОЙ ВОДЫ С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВОЙ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ МИКРОСКОПИИ

Полетаев Д.А., Соколенко Б.В.

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

poletaevda@cfw.ru

Ключевые слова: мониторинг, лазер, разрешающая способность, камера.

На сегодняшний день актуальной является задача проведения мониторинга степени загрязнения морской воды взвешными микрочастицами с высокой точностью и в реальном времени. Однако существующие методы выпаривания и взвешивания сухого осадка не удовлетворяют требованию экспрессности. Существует ряд работ [1, 2], в которых предлагаются методы дистанционного мониторинга загрязненности морской воды по ее спектральным характеристикам, однако данные методы не отличаются высокой точностью. Задача получения изображений микрочастиц, распределенных в объеме микро-пробы на сегодняшний день решается с помощью метода классической широкопольной оптической микроскопии [3]. Однако к существенным недостаткам данного метода следует отнести ограничения, связанные с предельным значением разрешающей способности, обусловленной дифракционными явлениями в оптической системе, а также невозможностью применения такого метода *in situ*.

В настоящее время внимание исследователей, работающих в области лазерной физики и когерентной оптики, привлекают световые поля с фазовыми возмущениями волнового фронта, образованными взаимодействием световой волны и вещества. Запись цифровым способом фазовых особенностей поля объектной волны с последующей численной обработкой и получением изображения микрочастиц получило название цифровой голографической микроскопии (ЦГМ). Данный метод обеспечивает восстановление с высокой разрешающей способностью пространственных фазовых распределений волнового поля в зависимости от изменяющегося во времени исходного объекта [4]. Использование ЦГМ в исследованиях состояния водной экосистемы позволяет определить абсолютное количество взвешенных частиц в исследуемом объеме жидкости, а также их пространственное распределение погружным способом, не требующим взятия отдельных проб.

Целью работы является апробация метода цифровой голографической микроскопии для измерения загрязненности морской воды взвешенными частицами.

Схема предложенной экспериментальной установки содержит: лазер с длиной волны 650 нм, мощностью 10 мВт, механические устройства отклонения лазерного луча, линзы, делительные кубы, диафрагмы, зеркала, проточную кювету с исследуемой жидкостью, объемом 10 мл, оптические фильтры, CMOS-камеру с разрешением 1280 на 720 пикселей, компьютерную систему. При появлении в жидкости с показателем преломления n объекта с другим показателем преломления, параметры светового поля (фазовый набег и разность оптического хода) существенно меняются. Данные с камеры передаются в компьютерную систему, которая на основе алгоритма, использующего быстрое преобразование Фурье и бинарной фильтрации изображения детектирует наличие взвешенных частиц. Указанный метод позволяет детектировать примеси, размер которых варьируется от сотен нанометров до нескольких миллиметров. Предлагаемый метод, помимо качественного наблюдения объемных включений, позволяет восстанавливать трехмерные геометрические формы объектов по массиву накопленных в компьютерной системе данных. При этом, за счет программной обработки данных присутствует возможность детектировать типы взвешенных частиц. Статистический учет объектов является отдельной задачей, которая в рамках данной работы пока не рассматривается.

Для апробации метода была подготовлена тестовая среда, состоящая из 1 см³ дистиллированной воды и взвешенных частиц тонера для лазерного принтера, диаметром 10 мкм, измеренным методом оптической микроскопии. В ходе эксперимента в сечении прозрачной трубки с тестовой

средой было выявлено около 5×10^3 частиц, что хорошо согласуется с теоретическими сведениями. Общее время получения данных составило не более 10 мкс.

В результате апробации метод показал высокую точность и быстродействие. Это позволяет использовать его для экспресс-оценки степени загрязненности жидкостных сред взвешенными частицами.

Исследование выполнено в рамках поддержанного федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» гранта № ВГ12/2020.

Список литературы

- 1) Ackleson S. Ocean optics research at the start of the 21st century //Oceanography. 2001. № 14. P. 5-8.
- 2) Wozniak S.B., Stramski D. Modeling the optical properties of mineral particles suspended in seawater and their influence on ocean reflectance and chlorophyll estimation from remote sensing algorithms //Applied Optics. 2004. № 17(43). P. 3489-3503.
- 3) Tahara T., Otani R., Omae K., et al. Multiwavelength digital holography with wavelength-multiplexed holograms and arbitrary symmetric phase shifts //Opt. Express. 2017. № 25. P. 11157-11172.
- 4) Vijayakumar A., Rosen J. Interferenceless coded aperture correlation holography—a new technique for recording incoherent digital holograms without two-wave interference //Opt. Express. 2017. № 25. P. 13883-13896.

ВЛИЯНИЕ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ СЕРЫХ КИТОВ (*ESCHRICHTIUS ROBUSTUS*) У СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ О. САХАЛИН ЗА 2002-2010 ГГ.

Рогинская М.О.

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

Mari.dymka@mail.ru

Ключевые слова: хлорофилл «а», PDO, серые киты.

В период с июня по ноябрь Охотско-Корейская популяция серых китов *Eschrichtius robustus* обитает на северо-восточном шельфе острова Сахалин, где находятся два основных района их нагула. Серые киты отличаются привязанностью к кормовым базам-местам, богатым пищей, куда киты, словно птицы, возвращаются после зимней миграции. Так что, большая часть из наблюдаемых китов возвращается на северо-восточный шельф острова Сахалин каждый год. Основой пищи китов является зоопланктон, который в свою очередь питается фитопланктоном. Через трофическую цепь можно выявить связь между пространственно-временной изменчивостью концентрации хлорофилла «а», которая отражает концентрацию фитопланктона, и встречаемостью серых китов. Связь фитопланктона (через хлорофилл «а») и встречаемости китов описывается в работах некоторых исследователей в различных районах Мирового океана [1, 2].

Целью данного исследования является изучение влияния пространственно-временной изменчивости океанологических факторов на распространение серых китов. Для этого реализованы следующие задачи: 1. Рассмотрено влияние изменчивости индекса PDO (Pacific Decadal Oscillation), представляющего устойчивую, периодически повторяющуюся изменчивость климата океана и атмосферы, сосредоточенную в среднеширотном Тихоокеанском бассейне, на изменчивость концентрации хлорофилла «а» и на встречаемость *E. robustus* на северо-восточном шельфе острова Сахалин. 2. Рассмотрена связь хлорофилла «а» со встречаемостью *E. robustus*. Для этого использованы данные по встречаемости китов из сводного отчета по программе мониторинга Охотско-Корейской популяции серого кита [3] у северо-восточного побережья о. Сахалин за 2002-2010 гг. между 51.7 ° и 53.5 ° с.ш и 143° и 144 ° в.д, данные PDO (NOAA), а также спутниковые данные концентрации хлорофилла «а» из базы данных NASA's OceanColor Web со спектрорадиометра MODIS-Aqua (среднемесячные с пространственной изменчивостью 4x4 км). Для анализа исходные данные по хлорофиллу «а» и PDO были осреднены за период с июля по сентябрь.

При сравнении межгодовой изменчивости осредненных показателей хлорофилла «а» у северо-восточного побережья о. Сахалин за 2002-2010 гг. и межгодовой изменчивости осредненных показателей PDO за тот же период видно, что в пяти из восьми случаев, помимо 2002, 2004 и 2005 года, тенденция к уменьшению или увеличению показателей совпадает.

При сравнении данных о встречаемости китов и концентрации хлорофилла «а» (средние значения за июль-сентябрь) за период с 2002 по 2010 год можно наблюдать, что в шести из восьми случаях тенденция к уменьшению или увеличению показателей совпадает. Линия межгодового хода встречаемости серых китов практически полностью повторяет изгибы линии осредненных показателей хлорофилла «а», за исключением периода с 2002 по 2004 год.

Таким образом, исходя из результатов данного исследования, прослеживается связь изменчивости хлорофилла «а» и PDO, а также связь хлорофилла «а» со встречаемостью серых китов (*E. robustus*), что представляется важным для дальнейшего изучения серых китов и их распространения. Также, полученные результаты частично подтверждают исследование со схожими задачами, проведенное ранее на основе данных о калифорнийской популяции серых китов [4].

Список литературы

- 1) Pierce G.J., Autret E., Torres-Palenzuela J. M. Multi-scale habitat preference analyses for Azorean blue whales // PLoS ONE. 2018. Т. 13. №9. e0201786, doi: 10.1371/journal.pone.020178
- 2) d'Ovidio F., Chaigneau A., Le´vy M., Taupier-Letage I., Mate B., and Guineta C. Scaledependent interactions of Mediterranean whales with marine dynamics// Limnology and Oceanography. 2011. Т.56. №1, doi: 10.4319/lo.2011.56.1.0219
- 3) Сахалин Энерджи Инвестмент Компани Лтд. Сводный отчет по программе мониторинга Охотско-Корейской популяции серого кита у северо-восточного побережья острова Сахалин за 2002-2010 гг., 2011. 85 с. 0000-S-90-04-T-0366-00-R
- 4) Рогинская М.О., Лобанова П.В. Связь встречаемости серых китов (*Eschrichtius robutus*) с пространственно-временной изменчивостью концентрации хлорофилла-а у побережья полуострова Калифорния // В сборнике: Комплексные исследования Мирового океана Материалы IV Всероссийской научной конференции молодых ученых. 2019. С. 259-260. ISBN 978-5-9908460-6-7

НОВЫЙ АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ «ЦВЕТЕНИЙ» КОККОЛИТОФОР В МИРОВОМ ОКЕАНЕ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ПО ЦВЕТУ ОКЕАНА

Чепикова С.С., Кондрик Д.В., Игнатъева Е.С.

Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Хансена»,
г. Санкт-Петербург

sveta.chepikova@niersc.spb.ru

Ключевые слова: *Emiliana huxleyi*, оптика океана, спутниковое зондирование, «цветение», фитопланктон.

Кокколитофоры, в частности *Emiliana huxleyi*, это широко распространенная группа одноклеточного кальцифицирующего фитопланктона, образующая обширные области «цветения» в обоих полушариях Мирового океана. В процессе жизнедеятельности данная группа способна оказывать влияние на потоки углекислого газа в системе океан-атмосфера в районе «цветений» посредством продуцирования неорганического углерода [1]. Для оценки их вклада в систему океан-атмосфера необходим анализ динамики пространственно-временного распределения «цветений» во всем Мировом океане.

Благодаря особенностям спектральных характеристик, области «цветения» кокколитофоровых водорослей легко визуально идентифицировать из космоса и на спутниковых снимках они имеют характерный бирюзовый цвет. Ранее нами был разработан алгоритм для идентификации и контурирования «цветений» *E. huxleyi* в арктических и субарктических морях по спутниковым данным цвета океана [2]. Данный алгоритм основан на установленных по собранной статистике спектров в областях «цветения» *E. huxleyi* порогах абсолютных значений коэффициента отражения (Rrs) и характерной для «цветений» формы спектра. Однако, несмотря на то, что по литературным источникам известно, что «цветения» возникают не только в полярных и субполярных районах Арктики, но и в других частях Мирового океана, в частности, в Южном океане (т.н. Великий Кальцитный пояс), разработанный ранее алгоритм не всегда показывал удовлетворительные результаты в этих районах.

Таким образом, основной целью данной работы является разработка нового алгоритма идентификации «цветений» *E. huxleyi* в Мировом океане на основе спутниковых данных цвета океана.

В качестве исходных данных использовались значения коэффициента отражения (Rrs) для шести длин волн - 412, 443, 490, 531, 555 и 670 нм, предоставляемые проектом GlobColour (<http://globcolour.info/>) [3, 4]. Данные имеют пространственное разрешение 4x4 км и 8-дневное временное разрешение. Для сбора статистики по спектрам, характерных для «цветений» этого таксона, использовались все доступные *in situ* данные по концентрациям *E. huxleyi*, в открытом доступе предоставляемые ресурсом PANGAEA (<https://pangaea.de/>). Для оценки гидрооптических характеристик исследуемых акваторий и проверки адекватности разработанного алгоритма идентификации «цветений» *E. huxleyi* были построены RGB (Reg-Green-Blue) изображения по данным Rrs для трех длин волн - 443, 555 и 670 нм. Граничные значения на данных каналах подбирались таким образом, чтобы цвета на изображении отображались наиболее реалистично, так чтобы «цветения» *E. huxleyi* имели характерный яркий бирюзовый цвет, а области «цветения» некальцифицирующего фитопланктона и области открытой воды - зеленый и синий, соответственно.

Анализ спектров Rrs в точках с высокими концентрациями (более 100 тыс. клеток/литр) выявил ключевые закономерности распределения значений во всех акваториях Мирового Океана на используемых 6-ти каналах. Так, в Южном океане форма спектра, при сохранении основных особенностей характерных для «цветений» кокколитофор, несколько отличается от таковой в областях «цветения» в Северном полушарии: в полярных и субполярных районах Северного

полушария области «цветения» характеризуются наличием максимума на одном из трех каналов - 443, 490 или 510 нм, при этом в Южном океане максимум может также располагаться на 412 нм, а абсолютные значения Rrs ниже. Эти закономерности послужили основой для определения ряда условий в виде пороговых значений и расположения максимума спектра на одном из каналов - 412, 443, 490 или 510 нм, которым должны соответствовать значения Rrs в области предполагаемого «цветения». Полученный набор условий стал базой для нового алгоритма идентификации «цветений» *E. huxleyi*, на выходе которого получают бинарные маски, показывающие локализацию «цветений» для каждого 8-дневного снимка.

Сравнение полученных масок с RGB изображениями показывает, что разработанный алгоритм хорошо отделяет зоны «цветения» кокколитофор от областей открытой воды, зон низкой продуктивности и других групп фитопланктона во всех акваториях Мирового океана.

Полученные результаты могут быть использованы для анализа пространственно-временной изменчивости кокколитофорных «цветений» во всех акваториях Мирового Океана. Предварительный анализ полученных результатов показывает наличие обширных «цветений» в Северной Атлантике и в Южном океане, в том числе в районе Патагонского шельфа.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (РНФ) по гранту № 17-17-01117.

Список литературы

- 1) Coccolithophores: From Molecular Processes to Global Impact / Eds.: Thierstein H.R., Young, J.R. Berlin: Springer, 2004. 565 p.
- 2) Kondrik D.V., Pozdnyakov, D.V., Pettersson, L.H. Tendencies in coccolithophorid blooms in some marine environments in the Northern Hemisphere as revealed by spaceborne observations over 1998–2013 // Earth Observations and Remote Sensing. 2017. № 2. P. 1–12.
- 3) Maritorena S., Hembise Fanton d'Andon O., Mangin A., Siegel D.A. Merged satellite ocean color data products using a bio-optical model: Characteristics, benefits and issues // Remote Sensing of Environment. 2010. № 114. P. 1791-1804.
- 4) Fanton d'Andon O., Mangin A., Lavender S. et al. GlobColour - the European Service for Ocean Colour // Proceedings of the 2009 IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium. 2009, Jul 12-17. Cape Town South Africa: IEEE Geoscience and Remote Sensing Society.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОГО «ЦВЕТЕНИЯ» ВОД ЖЁЛТОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ СЛУЖБЫ МОНИТОРИНГА МОРСКОЙ СРЕДЫ COPERNICUS

Швед Я.В, Фролова Н.С.

Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург

уапа29000@gmail.com

Ключевые слова: Желтое море, «цветение» воды, хлорофилл «а», фосфаты, нитраты, статистический анализ, сезонный ход, спутниковые данные.

В данной работе рассмотрена экологическая проблема Желтого моря, связанная с ежегодным обильным «цветением» воды. Для того, чтобы найти решение этой непростой задачи, необходимо сначала выявить истинные причины такого масштабного развития водорослей. И здесь на помощь приходят современные методы дистанционного зондирования Земли из космоса. Спутниковые измерения позволяют осуществлять долговременные квазинепрерывные наблюдения, охватывающие практически всю акватория Мирового океана, однако они имеют определённые ограничения и требуют верификации по данным натурных наблюдений [1]. Цель данного исследования заключалась в изучении процесса интенсивного «цветения» вод Желтого моря по данным спутниковых наблюдений и выявлении возможных причин данного процесса. Для работы были использованы такие статистические методы [2], как корреляционный, гармонический и спектральный анализы, взаимная корреляция, был проведён анализ тренда временного ряда и построен сезонный ход за все интересующие годы.

Для определения интенсивности «цветения» вод Желтого моря и факторов, вызывающих этот процесс, были использованы спутниковые данные среднемесячных значений температуры и концентрации хлорофилла «а», фосфатов, нитратов на станциях с координатами: 1 станция - 35°30' с.ш., 120° в.д.; 2 станция - 36° с.ш., 121°15' в.д.; 3 станция - 32°15' с.ш., 121°30' в.д.; 4 станция - 37°45' с.ш., 126° в.д.; 5 станция - 36° с.ш., 120°15' в.д. Период наблюдений составил 12 лет с 2007 по 2018 год. Станции выбирались в непосредственной близости с крупными населёнными пунктами на побережье Желтого моря, для того чтобы проследить обильное развитие водорослей в связи с интенсивным выносом биогенных элементов в этих районах [4]. Поля распределения среднемесячных значений температуры, хлорофилла «а», фосфатов и нитратов на глубине от 0 до 5 метров были взяты из баз данных сервиса мониторинга морской среды Copernicus [3].

В ходе работы был построен внутригодовой ход на выбранных станциях. Анализируя полученные графики за все интересующие годы, можно сделать вывод, что на станциях №1 и №2 было выявлено усиление процессов эвтрофирования в зимний период, чему способствовало большое попадание биогенных веществ, а конкретно фосфатов, что подтверждается высокими значениями коэффициента корреляции между концентрациями хлорофилла «а» и фосфатов. При этом на данных станциях температура воды не оказывала существенного влияния на показатели хлорофилла «а». Расчёты и анализ коэффициентов корреляции проводились для слоя от 0 до 5 метров. Поскольку, корреляционная матрица показала достаточно хорошую связь между характеристиками по всем глубинам на станциях №1 и №2, были взяты осредненные значения характеристик по глубине для расчёта коэффициентов корреляции. Все коэффициенты были проверены на значимость. При проверке было определено, что на станциях № 1 и №2 все коэффициенты значимы.

На станциях № 3 и №5 наблюдалась иная ситуация. В данных областях были отмечены высокие показатели нитратов и фосфатов, которые поступали в море со сточными водами из крупных городов Шанхай и Циндао, что способствовало летнему усилению процессов эвтрофикации. Температура также оказывала большое влияние на показатели хлорофилла «а», что подтверждается расчётами корреляционной матрицы. Поскольку корреляционная матрица показала плохую связь между характеристиками на разных глубинах, то все значения, за исключением температуры,

не осреднялись. Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что показатели хлорофилла «а» на глубине 0,5 метров и значения температуры тесно связаны между собой и имеют внутригодовой ход.

Внутригодовой ход за период исследования на станции №4 повторялся из года в год. Анализ полученных графиков показал, что на станции № 4 было зафиксировано в основном зимнее усиление процессов эвтрофикации Желтого моря, чему способствовало попадание сточных вод из города Сеул, содержащих большое количество нитратов.

Поскольку корреляционная матрица показала достаточно хорошую связь между глубинами в слое от 0 до 5 метров, то были взяты осредненные значения характеристик для расчёта коэффициентов корреляции. Проверка коэффициентов корреляции на значимость показала, что на станции № 4 все коэффициенты значимы.

Анализируя совмещенный график взаимокорреляционной функции (ВКФ) между показателями хлорофилла «а» на разных глубинах и уровней значимости для всех станций, было выявлено, что между показателями хлорофилла «а» на различных глубинах на станциях №1 и № 2 прослеживается хорошая корреляционная взаимосвязь, нет сдвига сезонного хода по глубине, а также четко прослеживается периодичность.

В ходе работы было выявлено, что между глубинами практически отсутствует корреляционная зависимость на станциях 3 и 5, а на 4 прослеживается корреляционная связь, но степень связи ВКФ не высокая. Также были отмечены сдвиги сезонного хода по глубине на станциях № 3, № 4 и № 5. Четкой периодичности на станциях №3, №4 и № 5 выявлено не было.

При анализе тренда следует отметить, что, конечно же, длина ряда среднегодовых значений не позволяет говорить о каком-то значимом тренде, но в работе были сделаны приблизительные оценки тенденции в изменении концентрации хлорофилла «а». Анализ на значимость показал, что тренд присутствует только на станции № 1 для среднегодовых значений. Однако в ходе исследования было обнаружено, что нелинейный тренд присутствует на станции № 3 только на глубине 0,5 м для среднегодовых значений. Величина линейного тренда среднегодовых значений на станции №1 составляет 0,06 мг/м³ в 10 лет, величина положительная, следовательно, показатель концентрации хлорофилла «а» увеличивается.

Проведённый гармонический анализ показал, что для среднегодовых значений в основном отмечаются периоды 2, 3, 4 и 5 лет. Для среднемесячных значений в основном была выявлена периодичность 6 и 12 месяцев.

Список литературы

- 1) Нелепо Б.А., Коротаев Г.К., Суетин В.С., Терёхин Ю.В. Исследование океана из космоса. Киев: Наукова думка, 1985.
- 2) Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2008. 408 с.
- 3) Schuckmann K., Traon P.-Y. L., Alvarez-Fanjul E. et al. The Copernicus Marine Environment Monitoring Service Ocean State Report // Journal of Operational Oceanography. 2016. Vol. 9. P. 235–320.
- 4) Штрайхерт Е.А., Захарков С.П. О пространственно-временной изменчивости концентрации хлорофилла а на шельфе Петра Великого при зимне-весеннем цветении фитопланктона по спутниковым и подспутниковым данным // Исследование Земли из космоса. 2016. № 1–2. С. 173–186.

СПЕКТРАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ПОКАЗАТЕЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ОСЛАБЛЕНИЯ СВЕТА В ВЕРХНЕМ СЛОЕ ЧЁРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ВЕСНОЙ 2019 ГОДА В 106 РЕЙСЕ НИС «ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ»

Шоларь С.А.¹, Латушкин А.А.¹, Суслин В.В.^{1,2}, Рябоконт Д.А.¹, Корчёмкина Е.Н.¹,
Стёпочкин И.Е.³

¹Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

²Севастопольский государственный университет, г. Севастополь

³Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва, г. Владивосток

sa.sholar@mail.ru

Ключевые слова: спектр горизонтальной облученности, Чёрное море, спутниковые данные в видимом диапазоне, решение обратной задачи, IOPs, AOPs.

С появлением новых сканеров цвета и новой оптической аппаратуры для проведения полевых измерений является актуальным их совместная обработка для развития спутниковых региональных био-оптических алгоритмов. Цель данной работы состоит в том, чтобы на основе прямых измерений вертикального профиля спектра горизонтальной облученности ($K_d(\lambda)$) и синхронных с ними спутниковых продуктов второго уровня, полученных сканером OLCI/Sentinel-3:

- провести сравнение стандартного спутникового продукта показателя вертикального ослабления света на длине волны 490 нм с прямыми измерениями ослабления света в верхнем слое моря на этой же длине волны;

- построить алгоритм разделения показателя обратного рассеяния света и суммарного поглощения света в верхнем слое морской воды.

С помощью аппаратуры разработанной в Морском гидрофизическом институте [1,2] в период с 30 апреля по 11 мая 2019 года на стандартной сетке, охватывающей шельфовую и глубоководную части Чёрного моря около полуострова Крым и кавказского побережья, были выполнены измерения горизонтальной облученности в семи спектральных каналах видимого диапазона спектра в верхнем слое моря на 12 станциях в 106 рейсе НИС «Профессор Водяницкий». Проведённый анализ спектров показателя вертикального ослабления света в верхнем слое моря показал:

- удовлетворительное качество измеренных спектров;

- значимый нетривиальный характер изменчивости в диапазоне длин волн от 490 до 555 нм, зависящий от трёх основных компонент (показателей поглощения света неживым органическим веществом и фитопланктоном и показателя рассеяния света частицами взвеси).

Последнее обстоятельство в совокупности со спутниковыми измерениями второго уровня оптического сканера OLCI и региональными био-оптическими связями [3] позволило развить способ решения обратной задачи [4], а именно: восстановления IOPs и AOPs для верхнего слоя моря, используя разные комбинации λ_i и λ_j , $j = 1, \dots, 7$ и $i \neq j$ для уравнений

$$\frac{u(\lambda) \cdot K(\lambda)}{u(\lambda) \cdot K(\lambda)} = \frac{b(\lambda)}{b(\lambda)} \text{ и } \frac{K(\lambda)}{K(\lambda)} = \frac{b(\lambda) + a(\lambda)}{b(\lambda) + a(\lambda)},$$

где $u(\lambda) = \frac{b(\lambda)}{b(\lambda) + a(\lambda)}$ находятся из спутникового продукта, коэффициента яркости моря [5, 6], $b_b(\lambda)$ и $a(\lambda)$ - показатели обратного рассеяния и поглощения света морской водой.

Работа выполнена в рамках государственного задания по госбюджетной теме МГИ РАН № 0827- 2020-0002 .

Список литературы

- 1) Ли М.Е., Шибанов Е.Б., Мартынов О.В. Измерения спектральных свойств вертикального распределения горизонтальной облученности // Труды международной конференции «Современные проблемы оптики естественных вод». 2015. Т. 8. С. 271-277.
- 2) Latushkin A.A., Li M.E., Martynov O.V. Some aspects of light emitting diode application in hydrooptical equipment // Light & Engineering. 2013. Vol. 21. № 3. P. 50-52.
- 3) Suslin V.V., Latushkin A.A., Martynov O.V. Vertical light attenuation in the northwestern shelf of the black sea in the spring period: direct measurements, modeling, and satellite data // Proceedings of SPIE - 24th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. 2018. Vol. 10833. P. 1083331.
- 4) Churilova T., Suslin V., Sosik H., Efimova T., Moiseeva N., Moncheva S., Mukhanov V., Rylkova O., Krivenko O. Phytoplankton light absorption in the deep chlorophyll maximum layer of the Black Sea // European Journal of Remote Sensing. 2019. Vol. 52. № 1. P. 123-136.
- 5) Gordon H.R., Brown O.B., Evans R.H., Brown J.W., Smith R.C., Baker K.S., Clark D.K. A semi-analytic radiance model of ocean color // J. Geophys. Res. 1988. Vol. 93. P. 10909 –10924.
- 6) Lee Z.P., Carder K.L., Mobley C.D., Steward R.G., Patch J.S. Hyperspectral remote sensing for shallow waters. 2. Deriving bottom depths and water properties by optimization // Appl. Opt. 1999. Vol. 38. P. 3831–3843.

ВЛИЯНИЕ МОРСКИХ ВИРУСОВ И ВИРУСНОГО ЛИЗИСА ФИТОПЛАНКТОНА НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

Шоларь С.А.¹, Степанова О.А.²

¹Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

²Институт природно-технических систем РАН, г. Севастополь

sa.sholar@mail.ru

Ключевые слова: физико-биологические исследования океана, оптические свойства, морские вирусы, альговирuses, микроводоросли, фитопланктон, прозрачность морской воды, микробиота, экосистема Черного моря, экспериментальные исследования.

Морские (водные) вирусы, являясь самыми многочисленными среди гидробионтов, занимают ключевую позицию в экологическом контроле планктонных микроорганизмов, в т.ч. представителей фитопланктона [1]. Несмотря на их численное превосходство, были высказаны предположения о второстепенной роли водных вирусов в оптике океана в основном в связи с их нано размером и малым рассеивающим поперечным сечением [2]. Однако по данным публикаций в области вирусологии известно, что вирусы, в т.ч. и водные, могут быстро лизировать (разрушать до растворимого состояния) своих хозяев и в некоторых случаях очищают мутную водную среду, что даже предлагалось использовать в практических целях (для прекращения цветения цианобактерий в естественных и искусственных водоемах) [3]. Логично было бы ожидать, что вирусный лизис, вызовет заметные изменения формы, размера и численности хозяина, что в итоге приведет к изменению оптических свойств водной среды (например, поглощения, рассеяния и затухания света). Таким образом, вирусная инфекция оптически значимых биологических частиц - клеток бактерий, микроводорослей, простейших, представляет собой еще один процесс, который может быстро трансформировать планктонные клетки в новые типы оптически значимого материала (окрашенное растворенное органическое вещество и обломки клеток) и, следовательно, окажет значительное влияние на оптические свойства воды, в т.ч. и морской. Такой подход предполагает учет водных вирусов и вирусного лизиса в оптике моря.

На данный момент изучение влияния вирусного лизиса на оптические свойства морской воды преимущественно освещено зарубежными исследователями [4, 5] и слабо представлено в отечественной литературе [6]. Так в лабораторных условиях зарубежными коллегами путем экспериментов при использовании вирусов гидросферы и их одноклеточных хозяев было выявлено, что вирусы водоемов в результате инфекции хозяев и вирусного лизиса оказывают значительное влияние на состав (растворенное органическое вещество - РОВ, общее взвешенное вещество - ОВВ) и на оптические характеристики водной среды. Зафиксированные в экспериментах характерные изменения были предложены исследователями для использования в качестве показателей вирусного лизиса в изучаемых акваториях. Эти характерные изменения, выявляемые по данным оптического дистанционного зондирования (со спутников) или контактными методами (с научно-исследовательских судов, буев и т.д.), свидетельствовали бы о гибели хозяев вирусов - представителей фито и бактериопланктона. Тем не менее, несмотря на полученные результаты, значение водных вирусов и вирусного лизиса зарубежными коллегами с позиции их роли в качестве активных составляющих (компонентов) оптики гидросферы рассматривалось не в полной мере. Таким образом, выявление роли морской микробиоты (вирусов и их хозяев) и вирусного лизиса в происходящих изменениях физических параметров морской среды, в т.ч. оптических, является актуальной задачей в первую очередь в связи с недостаточной изученностью представляемой проблемы в целом и в частности применительно к черноморской микробиоте.

На базе Морского гидрофизического института РАН с использованием экспериментального лабораторного стенда, спектрального измерителя показателя ослабления света, а также типичных

представителей черноморской микробиоты (штаммов альговирюсов микроводорослей *Tetraselmis viridis*, *Dunaliella viridis*, *Phaeodactylum tricornutum*) нами была проведена серия экспериментов по изучению влияния вирусного лизиса на прозрачность морской воды [6].

Культуры в экспериментах были представлены как в виде монокультур, так и в смеси двух культур. В ходе проводимых исследований были получены результаты, устанавливающие влияние вирусного лизиса, которые подтверждали ростом титра вируса в конце эксперимента на 2 и более порядка, на оптические характеристики водной среды, определяемые измерителем по значениям показателя ослабления света (ПОС).

В результате проведенного литературного обзора и ряда выполненных экспериментов с использованием черноморской микробиоты было установлено следующее:

- морские (водные) вирусы в процессе вирусного лизиса оказывают значительное влияние на состав (РОВ, ОВВ), что отражается и на оптических характеристиках водной среды;
- подтверждено влияние вирусного лизиса на снижение ПОС и численность клеток вирусных хозяев - микроводорослей;
- отмечена тесная связь, описанная линейным регрессионным уравнением с высоким коэффициентом детерминации (до 0,89) между ПОС на длине волны 625 нм и численностью клеток - хозяев вирусов;
- выявлено, что вирусный лизис представителей фитопланктона, на примере одной из культур черноморской микроводоросли, не оказал существенного влияния на спектр распределения ПОС по длинам волн.

Планируются дальнейшие исследования в обозначенной проблеме, которые будут выполняться с расширением круга представителей альговирюсов и их хозяев, а также с учетом влияния некоторых физических факторов (температура, освещенность, УФ и др.).

Работа выполнена в рамках государственного задания по госбюджетной теме МГИ РАН № 0827- 2020-0002 и госбюджетной теме ИПТС № 0012-2020-0003.

Список литературы

- 1) Fuhrman, J.A., Suttle C.A. Viruses in marine planktonic systems // Oceanography. 1993. Vol. 6. № 2. P. 51-63.
- 2) Stramski D., Mobley C.D. Effects of microbial particles on oceanic optics: A database of single-particle optical properties. Limnology and Oceanography 42.3 (1997): 538-549.
- 3) Менджул М.И., Лысенко Т.Г., Сырчин С.А. Развитие цианофагии в Институте микробиологии и вирусологии НАН Украины // Микробиол. журнал. 2003. Т 65. №1. С.133 140
- 4) Simis S.G., Tjeldens M., Hoogveld H.L. et al. Optical signatures of the filamentous cyanobacterium *Leptolyngbya boryana* during mass viral lysis // Limnol. Oceanogr. 2007. N 52. P. 184–197.
- 5) Uitz J., Stramski D., Baudoux A.C. et al. Variations in the optical properties of a particle suspension associated with viral infection of marine bacteria // Limnol. Oceanogr. 2010. N 55. P. 2317–2330.
- 6) Шоларь С.А., Степанова О.А., Стельмах Л.В. Использование экспериментального лабораторного стенда для изучения оптических свойств водной среды в присутствии микробиоты // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ИПТС. 2019. № 2 (36). С. 13-21.

**ВЛИЯНИЕ ГИПОКСИИ НА АНТИОКСИДАНТНЫЙ СТАТУС КЛЕТОК
ГЕМОЛИМФЫ И ЖАБР УСТРИЦЫ, *CRASSOSTREA GIGAS***

Андреева А.Ю.

*Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, Севастополь**andreevaal@gmail.com*

Ключевые слова: двустворчатые моллюски, кислород, антиоксидантный комплекс, гемоциты.

Гипоксические акватории и постоянные зоны кислородного минимума существенно расширились в прибрежных и открытых областях Мирового океана, начиная со второй половины 20-го века. Распространение прибрежной гипоксии негативно сказывается на биоразнообразии резидентной флоры и фауны, также объемах вылова гидробионтов и производительности аквакультурного хозяйства [1]. Глобальные прогностические исследования свидетельствуют о дальнейшей перспективе снижения содержания растворенного кислорода в водах Мирового океана в контексте климатических изменений [2].

Исследованию влияния гипоксии на физиологию двустворчатых моллюсков посвящено множество работ ввиду обширной экологической роли и коммерческой важности этих организмов. Для оценки функционального статуса моллюсков широко применяются показатели антиоксидантного статуса клеток и тканей. Целью настоящей работы было изучить общую антиоксидантную активность в клетках жабр и гемоцитах тихоокеанской устрицы, *Crassostrea gigas*, объекта региональной марикультуры на крымском побережье Черного моря.

Устриц обоих полов (*Crassostrea gigas*) (длина раковины 94 ± 3.5 мм, 23 ± 4.2 г, $n=16$) помещали в емкость с морской водой, продуваемой газообразным азотом до концентрации кислорода 0.3 мг/л. Спустя 24 часа инкубации отбирали 0.5-1.0 мл гемолимфы стерильным шприцем. Гемоциты отмывали в стерильной морской воде путем центрифугирования (500 g в течение 5 мин). Фрагмент жаберной ткани механически измельчали в стерильной морской воде, фильтровали от крупных агрегатов, а клетки отмывали по протоколу, аналогичному гемоцитам. Для оценки способности клеток к продукции активных форм кислорода готовую суспензию разводили стерильной морской водой ($1-2 \cdot 10^6$ гемоцитов на мл) и окрашивали красителем DCF-DA в течение 30 мин в темноте, после чего анализировали интенсивность флуоресценции на проточном цитометре Beckman Coulter FC 500 в зеленом канале флуоресценции (FL1). Доля мертвых клеток определялась по флуоресценции красителя Propidium iodide спустя 30 мин инкубации клеток в темноте. Анализ данных проводили в программе Flowing Software 5.2.

Среди клеток гемолимфы наиболее яркой флуоресценцией обладали гранулоциты - клетки, отвечающие за реализацию клеточного иммунного ответа у устриц. Общая антиоксидантная активность этих клеток была достоверно в 12 раз выше, в сравнении с агранулоцитами, и в 3.9 раза выше, чем у гиалиноцитов. Высокая антиоксидантная активность гранулоцитов связана с их функциональными особенностями - наличие в цитоплазме высокой концентрации активных форм кислорода (АФК) обеспечивает генерацию окислительного взрыва в патогенных организмах, поглощаемых гранулоцитами путем фагоцитоза. Общая антиоксидантная активность клеток жабр в условиях нормоксии соответствовала таковой у агранулоцитов гемолимфы.

В условиях гипоксии отмечено достоверное снижение флуоресценции красителя DCF-DA во всех исследованных клетках. Способность гранулоцитов к продукции АФК снизилась более чем в 9 раз. На агранулярные клетки гипоксия повлияла в меньшей степени. Флуоресценция гиалиноцитов снизилась в 6 раз, а агранулоцитов в 2 раза. Вероятно, различия в степени подавления способности к продукции АФК связаны специализацией и морфологией агранулярных и гранулярных

гемоцитов. Гранулоциты морфологически отличаются от агранулоцитов большим количеством органелл в цитоплазме, что, очевидно предполагает более интенсивный кислородный метаболизм. В условиях дефицита кислорода гранулоциты, вероятно, в большей степени кислородозависимы, в сравнении с агранулярными клетками. Гипоксия не вызывала увеличения смертности гемоцитов.

В клетках жабр также отмечено снижение общей антиоксидантной активности в результате гипоксического воздействия. Увеличения смертности клеток в суспензии не зафиксировано. Вместе с тем, функциональный смысл формирования АФК в клетках жабр отличен от такового в гемоцитах и отражает общую активность ферментов антиоксидантного комплекса ткани. Снижение флуоресценции красителя свидетельствует, таким образом, об общем увеличении активности антиоксидантных ферментов (в особенности каталазы и супероксиддисмутазы) в клетках жабр. Подобное увеличение является характерной реакцией тканей моллюсков на кратковременное воздействие гипоксии и, по-видимому, связано с тем, что последующая реоксигенация ассоциирована с генерацией большого числа свободных радикалов и других АФК вследствие интенсификации кислородного дыхания в клетках. Рост активности ферментов антиоксидантного комплекса - это защитная реакция, направленная на нейтрализацию окислительного стресса.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук (номер проекта МК-609.2020.4).

Список литературы

- 1) Turner R.E., Rabalais N.N., Justić D. Predicting summer hypoxia in the northern Gulf of Mexico: Redux // *Marine Pollution Bulletin*. 2012. Vol. 64. № 2. P. 319-324.
- 2) 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*. 2012. Vol. 69. № 5. P. 852-863.

**НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ О РАЗМЕРАХ КРАБОВ ХАРРИСА
(RHITHROPAHOPEUS HARRISII (GOULD, 1841)). (DECAPODA: BRANCHYURA:
RANOPEIDAE) С ПРИБРЕЖНЫХ ВОД КАЛИНИНГРАДСКОГО ЗАЛИВА В
2010 Г.**

Бауэр М.Г., Судник С.А.

Калининградский государственный технический университет, г. Калининград

marina.bauer1997@mail.ru

Ключевые слова: морфометрия, Калининградский залив, Rhithropanopeus harrisi, размеры, ювенилы, стадия зрелости самцов.

Краб Харриса, *Rhithropanopeus harrisi*, является одним из самых известных видов вселенцев в Балтике. Нативным ареалом считаются атлантические воды Северной Америки, в других же водоёмах данный вид является инвазивным. Широко распространён, встречается во всех морях Европы. Успешно расселился благодаря обрастанию на судах, балластным водам; также личинка краба Харриса способна распространяться с водотоками. В Вислинском заливе отмечен, начиная с 1946-1948 гг. [4]. Встречается на небольшой глубине (до 2 м), на всех грунтах, в том числе и на покрытых водной растительностью. Будучи активным хищником, и обладая способностью к интенсивному копанью субстрата, крабы вносят существенные изменения в новые экосистемы. Является кормовым объектом для рыб-бентофагов [2-4]. В Калининградской части Вислинского залива биология вида изучена недостаточно [2-4]. Цель работы: изучение размерного состава ювенильных особей и самцов краба Харриса из Калининградского залива летом 2010 г., получение первых данных о репродуктивном состоянии самцов.

Материалом послужили 2 пробы крабов *R. harrisi*, содержащие 60 особей (ювенильных и самцов; анализ количества и состояния самок в работу не вошёл), собранных в августе 2010 г. в прибрежной зоне Калининградского залива Колесниченко А.И. («КГТУ»). При обработке крабов использована методика лабораторного биологического анализа крабов [5]. В нем морфометрия включала измерения длины и ширины карапакса (ДК и ШК), абдомена (ДА и ША), правой клешни (Дкл и Шкл, а также - длины её ладони (ДЛкл)) и меруса (ДМ, ШМ) 4-ой пары торакоподов). Для определения репродуктивного состояния самцов применен гистологический метод, в котором при вскрытии карапакса по трехбалльной шкале определялась стадия созревания семенников (0 баллов - семенники не различимы невооружённым глазом и при увеличении х56; 1 балл - семенники не различимы невооружённым глазом, но различимы при увеличении х32 как не извитые или мало извитые парные трубчатые органы; 2 балла - семенники средне развитые, различимы невооружённым глазом; 3 балла - семенники максимально развитые [ориг.]). Применение для описания созревания самцов морфометрического метода, базирующегося на том, что при половом их созревании у крабов происходит изменение типа аллометрического роста ряда элементов экзоскелета (клешни и меруса) [1], на данном материале было невозможно, из-за его особенностей (отсутствия у многих самцов клешненоносных ног и торакоподов 4-ой пары).

Анализ показал, что доля ювенильных особей от общего числа исследуемых крабов в двух пробах составила 63,4 %; их размеры были: ДК 2,1-4,25 мм (в среднем $3,36 \pm 0,68$ мм), ШК 2,35-5,15 мм (в среднем $3,73 \pm 0,85$ мм). Размеры 22 самцов (36,6 %) были ДК 4,3-6,3 мм (в среднем $4,9 \pm 0,55$ мм), ШК 5,0-6,7 мм (в среднем $5,5 \pm 0,56$ мм). Среди ювенилов преобладали особи размерами 3,0-4,0 мм (55,3 %). Среди самцов доминировали особи с ШК 5,0-6,0 мм (их доля составила 72,7 %), доля более мелких особей была 18,1 %, более крупных - не превышала 9,2 %.

В далеком 1951 г. самцы *R. harrisi* в Вислинском заливе имели ШК 5,3-15,3 мм [3]; летом 2009-2010 г. в пробах с залива также встречались намного более крупные самцы (ДК 3-21 мм), при доминировании тоже несколько более крупных, чем в наших материалах, особей (ДК 5-7 мм;

доля около 35 %), также немного выделялась группа самцов с ДК 15-17 мм [2]. По данным за 1965 г. максимальный размер самцов вида в Балтийском море (ШК) составил 26,1 мм [4], что схоже с данными современных авторов [2] для самцов краба с залива.

Морфометрический анализ девяти элементов экзоскелета ювенильных особей и самцов *R. harrisi* позволил оценить изменчивость их размеров, получить переходные коэффициенты от них к базовому размеру тела крабов (ШК). Эти результаты - основа биометрического паспорта вида с юго-восточной Балтики, они значимы для исследователей биологии крабов Харриса и для трофологов - при восстановлении размеров краба в желудках гидробионтов этого водного региона.

Размеры самцов на разных стадиях зрелости варьировались: особи с визуально неразличимыми гонадами (их доля составила 13,6 %) имели ДК 4,3-4,35 мм (в среднем $4,33 \pm 0,01$ мм), ШК 5,3-5,35 мм (в среднем $5,33 \pm 0,03$); самцы с семенниками в начале развития (их доля - 72,7 %) имели ДК 4,5-5,25 мм ($4,86 \pm 1,05$ мм), ШК 5,0-6,05 мм ($5,31 \pm 1,19$ мм); самцы со среднеразвитыми гонадами (их доля - 13,7 %) имели ДК 5,3-6,3 мм ($5,73 \pm 0,44$ мм), ШК 6,05-6,7 мм ($6,38 \pm 0,17$ мм). Можно сделать вывод: в пробах, собранных в августе в Калининградском заливе, среди самцов крабов *R. harrisi* доминировали особи, недавно начавшие созревать. Средние размеры у самцов с неразвитыми гонадами достоверно отличались (были меньше) от таковых у особей с семенниками в середине созревания - можно предположить наличие линьки перед запуском активного сперматогенеза у самцов крабов. По нашим данным размеры достижения полового созревания у самцов *R. harrisi* в Калининградском заливе могут составлять: ДК около 6 мм, ШК около 7 мм. В своем естественном ареале (воды Атлантики у берегов Северной Америки) по данным за 1965 г. самцы *R. harrisi* половой зрелости могли достигать при меньшей ШК - 3,6 мм [4]. Однако, по данным за 1957 г. ШК половозрелых самцов вида с польской части Вислинского залива достигала 20 мм.

Работа выполнена в рамках государственного бюджетного задания кафедры ихтиопатологии и гидробиологии ФГБОУ ВО «КГТУ» по инициативной поисковой научно-исследовательской работе по теме «Эколого-фаунистическая характеристика гидробионтов из водоемов Калининградской области» Рег.№ 13.13.200.2 (ООПНДиНТИ КГТУ)

Список литературы

- 1) Клитин А.К. Распределение, биология и функциональная структура ареала камчатского краба в водах Сахалина и Курильских островов: дисс. . . канд. биол. наук. 03.00.18 / Клитин Андрей Константинович ; Южно-Сахалинск: науч. рук. Б.Г. Иванов. — СахНИРО, 2002. — С. 12—17.
- 2) Колесниченко А.И. Состав пищи краба-вселенца *Rhithropanopeus harrisi* (Panopeidae, Brachyura, Decapoda) в Вислинском заливе Балтийского моря / А.И. Колесниченко, Р.Н. Бурковский, И.Н. Марин // Поволжский экологический журнал. — 2014. — № 4. — С. 508—515
- 3) Мурина В.В. Об аутоаклиматизации краба *Rhithropanopeus harrisi tridentatus* (Maitland) в Вислинском заливе / В.В. Мурина, О.Г. Резниченко // Тр. Всес. гидробиол. общ. АН СССР — 1960. — Т. 10. — С. 255—264.
- 4) Резниченко О.Г. Трансокеаническая аутоаклиматизация ритропанопеуса (*Rhithropanopeus harrisi*: Crustacea, Brachyura) / О.Г. Резниченко // Тр. Ин-та океанологии АН СССР. — 1965. — Т. 85. — С. 136—177.
- 5) Судник С.А. Биология крабов *Lyphira perplexa* Galil, 2009 (Crustacea: Brachyura: Leucosiidae) Южно-Китайского моря / Судник С.А., Поддужева Е.А. // Научный журнал «Известия КГТУ». — 2019. — № 52. — С. 43—59.

СМЕНА ВИДОВОГО СОСТАВА ИХТИОПЛАНКТОНА НА РАЗРЕЗЕ ЧЕРЕЗ ТРОПИЧЕСКИЕ И ЭКВАТОРИАЛЬНЫЕ ВОДЫ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ

Большакова Я.Ю., Большаков Д.В.

Институт океанологии РАН - ИО РАН, Москва

yanyusrunaa@mail.ru

Ключевые слова: разнообразие ихтиопланктона, субтропический круговорот, Северная Атлантика, светящиеся анчоусы, ранние стадии развития.

Рассматривается видовой состав ихтиопланктона открытых вод Северной Атлантики на разрезе от 30° с.ш. до экватора, выполненного в 43-м рейсе НИС «Академик Вавилов». Разрез проходил через водные массы разного генезиса, а именно: центральные и южные периферические воды Северного субтропического антициклонического круговорота, а также пересекал воды Северного тропического антициклонического круговорота.

В составе ихтиопланктона Северной Атлантики обнаружены личинки и мальки 121 таксономической формы, из которых 89 определены до уровня вида, 25 - до рода, остальные до уровня семейства. По материалам сборов впервые описаны ранние стадии развития 5 видов, выполнены описания личинок малоизученных видов.

Качественный состав ихтиопланктона центральных вод Северного субтропического антициклонического круговорота (ст. 2617-2633 [30-19° с.ш. 32-37° з.д.]) значительно обеднен. В сборах обнаружены личинки рыб, относящиеся к 29 видам из 15 семейств. Большинство личинок принадлежало к обитателям мезо- и батипелагиали (28 видов): *Myctophidae* (10 видов), *Gonostomatidae* (1 вид), *Sternoptychidae* (1), *Evermannellidae* (1), *Omosudidae* (1), *Phosichthyidae* (2), *Scopelarchidae* (2), *Scopelosauridae* (1), *Stomiidae* (3), *Melamphaidae* (1), *Scombrobracidae* (1), *Gempylidae* (2), *Derichthyidae* (1), *Nemichthyidae* (1); личинки рыб эпипелагической группировки представлены *Cubiceps pauciradiatus* (*Nomeidae*). Столь бедный состав ихтиопланктона свидетельствуют о сборе материала в районе олиготрофных центральных вод Северного субтропического антициклонического круговорота.

В сборах в южных периферических водах субтропического антициклонического круговорота (ст. 2636-2657 [16-08° с.ш. 42-38° з.д.]) были обнаружены личинки 41 вида рыб, принадлежащих 25 семействам. Большую часть сборов составляли личинки мезо- и батипелагических видов (32 вида): *Myctophidae* (9), *Stomiidae* (4), *Sternoptychidae* (4), *Gonostomatidae* (2), *Phosichthyidae* (1), *Evermannellidae* (1), *Scopelarchidae* (1), *Melamphaidae* (1), *Scombrobracidae* (1), *Cyematidae* (1), *Neoscopelidae* (1), *Gempylidae* (2), *Paralepididae* (1), *Chiasmodontidae* (1), *Bregmacerotidae* (1), *Microstomatidae* (1). В меньшем количестве присутствовали личинки эпипелагических (4) и шельфовых (3) рыб. Наблюдаемое увеличение разнообразия ихтиопланктона на рассматриваемой части разреза указывает на его прохождение в зоне Северного тропического фронта - раздела между экваториальными и центральными водными массами, обуславливающего здесь повышенную биологическую продуктивность.

В районе Южного тропического круговорота (ст. 2664-2675 [05°-00° с.ш. 37-36° з.д.]) было обнаружено 75 видов, принадлежащих 31 семейству, из них значительная часть (30 видов, 18 семейств) принадлежит прибрежному ихтиоцелу: *Albulidae* (1), *Congridae* (6), *Moringuidae* (1), *Muraenidae* (2), *Ophichthidae* (2), *Synodontidae* (1), *Serranidae* (1), *Holocentridae* (1), *Gobiidae* (3), *Scaridae* (2), *Eleotridae* (2), *Pomacentridae* (1), *Scorpaenidae* (2), *Malacanthidae* (1), *Acanthuridae* (1), *Diodontidae* (1), *Bothidae* (1), *Paralichthidae* (1). Личинки океанических видов рыб представлены 45 видами из 13 семейств, причем представители эпипелагической группировки среди них отсутствуют: *Myctophidae* (17), *Gonostomatidae* (5), *Sternoptychidae* (4), *Stomiidae* (4), *Scopelarchidae* (2), *Phosichthyidae* (1), *Paralepididae* (5), *Melamphaidae* (1), *Gempylidae* (1), *Bregmacerotidae* (1),

Nettastomatidae (1), Chlorophthalmidae (2), Scopelosauridae (1). Наблюдаемое высокое разнообразие личинок шельфовых видов в районе Северного тропического антициклонического круговорота обусловлено их пассивным выносом от побережья Бразилии водами Северного Бразильского течения и Экваториального подповерхностного противотечения.

Основу видового разнообразия среди перечисленных групп рыб в большинстве уловов разноглубинного трала составляют ранние стадии развития рыб семейства светящихся анчоусов - Muctophidae (29 видов). Следующими по разнообразию форм являются стомиевые (Stomiidae, 10), гоностомовые (Gonostomatidae, 8), стерноптиховые (Sternoptychidae, 7), веретенниковые (Paralepididae, 6) и конгеровые (Congridae, 6). Остальные семейства представлены 1-3 видами и небольшим числом экземпляров.

Анализ разнообразия видов Muctophidae, собранных в ходе рейса показывает их большую вариабельность в разных исследованных районах. В центральном районе Северного субтропического круговорота преобладали личинки видов с широкотропическим типом ареала. В районе периферических вод этого круговорота наряду с видами, имеющими широкотропический тип ареала, начинают встречаться виды с центральным и центрально-периферическим типами ареалов, а в экваториальных водах Северной Атлантики появляются виды с экваториально-тропическим типом ареала.

Работа выполнена при поддержке темы госзадания № 0149-2019-0009 и гранта РНФ, проект № 19-14-00026.

НОВЫЕ НАХОДКИ ВНУТРИПОРОШИЦЕВЫХ В МОРЯХ РОССИИ

Борисанова А.О.

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

Borisanovaa@mail.ru

Ключевые слова: биоразнообразие, Берингово море, Восточно-Сибирское море, Карское море, *Barentsia*, *Entoprocta*, *Kamptozoa*, *Loxosomella*.

Внутрипорошицевые (*Entoprocta*) - микроскопические беспозвоночные животные, распространенные в водах Мирового океана, где они встречаются в сообществах обрастателей или как эпibiонты различных беспозвоночных животных. На сегодняшний день описано 156 видов одиночных и 53 вида колониальных представителей внутрипорошицевых [1]. Распространение и биоразнообразие внутрипорошицевых в морях России до сих пор исследовано недостаточно подробно. Описаны находки примерно 40 одиночных и колониальных видов, большинство из которых найдены в акватории Северного Ледовитого океана. 15 видов описано из Белого моря, 1 вид из Карского моря, 3 вида отмечены в море Лаптевых, 2 вида в Восточно-Сибирском море и 6 видов в открытых водах Северного Ледовитого океана [2]. В дальневосточных морях описано 5 видов из Японского моря, 4 вида из Охотского моря, и 3 вида из прилегающих акваторий Тихого океана [3-6]. Никаких сведений о фауне *Entoprocta* Берингова моря до настоящего времени не было.

В данной работе исследован материал 82 рейса НИС «Академик М. А. Лаврентьев» в Берингово море в июне-июле 2018 г. и 78 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в Восточно-Сибирское море в сентябре-октябре 2019 г.

В Беринговом море на глубине 660 м найдены представители рода *Barentsia* sp. (*Entoprocta*, *Coloniales*). Это первая отмеченная находка внутрипорошицевых в Беринговом море. Особи очень крупные, длина зооидов 7.4-7.6 мм, что делает этих представителей одними из самых крупных среди внутрипорошицевых. Ножка зооидов состоит из мышечного основания, отходящего от стелющегося по субстрату столона, и стебелька, состоящего из чередующихся несократимых участков и мышечных валиков. Количество мышечных валиков 2-3. На несократимых участках видны довольно редко расположенные поровые комплексы. Длина особей определяется длиной ножки, чашечка имеет длину всего около 600 мкм. По периферии чашечки расположено 18-22 щупалец. Сквозь чашечку просвечивает объемный желудок округлой формы. Особи найденного вида по общей морфологии похожи на представителей вида *Barentsia hildegardae* Wasson, 1997, встречающегося вдоль тихоокеанского побережья США, но отличаются большими размерами (самые крупные из особей *B. hildegardae* имеют длину 7 мм, а средний размер зооидов составляет около 3.3 мм).

В Восточно-Сибирском море на глубине 45-46 м найдены представители рода *Loxosomella* sp. (*Entoprocta*, *Solitaria*), являющиеся эпibiонтами *Nephtys* sp. (*Polychaeta*). Особи *Loxosomella* в большом количестве встречаются на пароподиях и боковых сторонах тела червя между пароподиями. Особи среднего размера (362-512 мкм), с короткой ножкой, длина которой варьирует от 44 до 84 мкм. Ножка по всей длине одинаковой ширины, достаточно четко отграничена от чашечки. Чашечка с 8 щупальцами, округлым желудком. Особи имеют фронтально расположенную зону почкования, у одной особи одновременно может быть до трех почек на разных стадиях развития. У крупных почек закладывается подошва, характерная для всех представителей рода *Loxosomella*. У взрослых особей подошва редуцирована, и ножка оканчивается округлым прикрепительным диском. Многие особи с развивающимися эмбрионами, до 4 крупных эмбрионов в одной чашечке. Похожие на описанных особей представители *Loxosomella* были найдены на глубине 26 м на пароподиях *Nephtys* sp. из Карского моря (материал был собран в ходе того же 78 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш»). Эти особи отличаются чуть большими средними

размерами (400-538 мкм) и более длинными ножками (129-182 мкм). Количество щупалец, положение зоны почкования, форма желудка такие же, как у представителей из Восточно-Сибирского моря. Многие особи из Карского моря так же с развивающимися эмбрионами. Описание представителей и из Карского, и из Восточно-Сибирского моря соответствует описанию вида *Loxosomella varians* Nielsen, 1964, представители которого так же обитают на пароподиях разных видов многощетинковых червей семейства Nephtyidae. Длина тела *L. varians* составляет от 245 до 750 мкм, чашечка несет 8 щупалец (редко 6), имеется фронтальная зона почкования, желудок округлой формы, а ножка, согласно описанию, может сильно варьировать по длине и по строению органа прикрепления к субстрату. Среди особей *L. varians* есть представители, по морфологии совпадающие с найденными нами представителями из Карского моря, а есть те, которые практически идентичны представителям из Восточно-Сибирского моря. Вопрос заключается в том, можно ли считать различных по морфологии представителей *L. varians* одним видом. Наши неопубликованные данные по представителям этого вида из Белого моря показывают, что речь может идти о группе близких видов со сходной морфологией и одним типом хозяев, а не о разных морфотипах одного вида. В связи с этим до проведения молекулярных исследований мы не можем отнести найденных в Восточно-Сибирском и Карском море представителей к виду *L. varians*.

Работа была поддержана грантом МГУ имени М.В. Ломоносова для поддержки ведущих научных школ МГУ «Депозитарий живых систем Московского университета» в рамках Программы развития МГУ.

Список литературы

- 1) Borisanova A.O. Entoprocta (Kamptozoa) / In: A. Schmidt-Rhaesa. Handbook of Zoology. Miscellaneous Invertebrates. Berlin, Boston: De Gruyter. 2018. P. 111-162
- 2) Borisanova A.O. A new species of solitary Entoprocta (Loxosomatidae) from the Laptev Sea with notes on entoproct epibionts of polychaetes // Invertebrate Zoology. 2018. Vol. 15 (4). P.373–382
- 3) Borisanova A.O. Entoprocta / In: Check-list of species of free-living invertebrates of the Russian Far Eastern Seas. Explorations of the fauna of the seas. 75 (83). St. Petersburg. 2013. P. 191
- 4) Borisanova A.O., Potanina D.M. A new species of Coriella, *Coriella chernyshevi* n. sp. (Entoprocta, Barentsiidae), with comments on the genera *Coriella* and *Pedicellinopsis* // Zootaxa. 2016. Vol. 4184 (2). P. 376–382
- 5) Borisanova A.O., Chernyshev A.V., Ekimova I.A. Deep-sea Entoprocta from the Sea of Okhotsk and the adjacent open Pacific abyssal area: new species and new taxa of host animals // Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. 2018. Vol. 154. P. 87–98
- 6) Borisanova A.O., Chernyshev A.V. A new loxosomatid species from the Kuril-Kamchatka trench area: *Loxosomella marcusorum* sp. n., the first record of hadal Entoprocta // Progress in Oceanography. 2019. Vol. 178

НАХОДКИ ИНFUЗОРИЙ - ТИНТИННИД В ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКАХ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ ЛАПТЕВЫХ И ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО

Василенко Л.Н.

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток

lidia@poi.dvo.ru

Ключевые слова: инфузории-тинтинниды, арктические моря, поверхностные осадки.

Тинтинниды (отряд Tintinnida) - группа планктонных морских, изредка пресноводных инфузорий, для которых характерно наличие гиалиновой или агглютинированной (инкрустированной) раковины [1]. Некоторые формы могли быть прикрепленными.

В Арктическом и субарктическом регионах инфузории изучались в Баренцевом и Карском морях [4, 5], в Балтийском море [2], а также в Северном море [3]. В настоящей работе приводятся данные о находках агглютинированных инфузорий - тинтиннид в поверхностных осадках арктических морей Лаптевых (МЛ) и Восточно-Сибирского (ВСМ), а также прилегающей к ним части Северного Ледовитого океана (СЛО).

Образцы поверхностных осадков (0-1 см) были отобраны с помощью бокс-корера (модель DDCT-3) в 83 рейсе НИС «Академик М.А. Лаврентьев» в 2018 г. Изучаемые осадки представлены, преимущественно, алевролитами пелитовыми и пелитами алевролитовыми с песком (всего 33 станции: 23 - из МЛ, 8 - из ВСМ, 2 - из СЛО).

Таксономические определения проводились с помощью микроскопа МИКМЕД-6. Фотографирование раковин осуществлялось автором с использованием фотокамеры Touptek photonics FMA050 и при помощи сканирующего электронного микроскопа FEI Quanta 200 (в режиме естественной среды ESEM) в Первом институте океанографии Министерства природных ресурсов Китайской Народной Республики (FIO MNR, China).

Агглютинированные раковины тинтиннид обнаружены в осадках 14 станций из МЛ, 5 станций из ВСМ и 1 станции из СЛО. Таксономический состав представлен: *Tintinnopsis* cf. *fimbriata* Meunier, *Tintinnopsis* cf. *ventricosoides* Meunier, *Tintinnopsis* cf. *baltica* Btandt, *Tintinnopsis* cf. *turbo* Meunier, *Tintinnopsis* cf. *nivalis* Meunier, *Tintinnopsis* sp. Стенки раковин этих экземпляров сложены мельчайшими обломками пород или минералов. У некоторых форм размеры частиц достигают 16-20 мкм и более. Поскольку представителям рода *Tintinnopsis* необходим обломочный и минеральный компонент для укрепления своих раковин, то распространение их, как правило, ограничено мелководными неритическими районами, в которых этот материал легко доступен [6]. Основная часть обнаруженных тинтиннид сосредоточена в поверхностных осадках прибрежной шельфовой зоны МЛ и ВСМ, но вид *Tintinnopsis* cf. *nivalis* Meunier, также встречается в осадках прилегающей части СЛО. Иногда представители рассматриваемого отряда встречаются в отложениях континентального склона, их присутствие здесь объясняется малой скоростью осадконакопления в отдалении от береговой линии [1]. Также, это может быть связано с действием придонных течений, влияющих на перенос частиц поверхностных осадков с мелководья в глубоководные районы.

Таким образом, в результате изучения поверхностных осадков из МЛ, ВСМ и прилегающей к ним части СЛО были обнаружены немногочисленные представители раковинных инфузорий-тинтиннид рода *Tintinnopsis* (6 таксонов). Этот род является неритическим и распространён в прибрежной шельфовой зоне морских и, реже, пресноводных бассейнов. Все встреченные экземпляры характеризуются агглютинированной структурой стенки раковин. Необходимо отметить важность изучения представителей инфузорий-тинтиннид с использованием сканирующего электронного микроскопа, поскольку в проходящем свете их раковины по общей морфологии сходны с мезозойскими радиоляриями из родов *Rhopalosyringium* и *Trimulus*.

Работа выполнена по программе фундаментальных научных исследований ТОИ ДВО РАН

(тема № АААА-А17-117030110033-0), программе “Дальний Восток” (тема № 18-1-008) и при финансовой поддержке грантов РНФ (№ 19-77-10030) и РФФИ № 18-05-60104.

Список литературы

- 1) Бугрова Э.М., Бугрова И.Ю. Микропалеонтология. Фораминиферы и инфузории мезозоя и кайнозоя: учебное пособие. СПб: С.-Петербург. Гос. Ун-т, 2011. 104 с.
- 2) Мироманова Е.И., Телеш И.В., Скарлато С.О. Планктонные инфузории Балтийского моря (обзор) // Биология внутренних вод. М.: Наука, 2009. № 1, С. 15–26.
- 3) Agatha S. Redescription of the tintinnid ciliate *Tintinnopsis fimbriata* Meunier, 1919 (Spirotricha, Choreotrichida) from coastal waters of Northern Germany // E. Aescht & H. Berger (eds.), *The Wilhelm Foissner Festschrift: A tribute to an outstanding protistologist on the occasion of his 60th birthday*. Denisia, 2008. Vol. 23. P. 261–272.
- 4) Echols R.J., Fowler G.A. Agglutinated tintinnid loricae from some Recent and Late Pleistocene shelf sediments. *Micropaleontology*, 1973. Vol. 19. P. 431–443.
- 5) Meunier A. *Microplankton des Mers de Barents et de Kara*. Duc d'Orléans. Campagne arctique de 1907. Imprimerie scientifique Charles Bulens: Bruxelles. 1910. 355 + atlas (XXXVII plates).
- 6) Pierce R.W., Turner J.T. Global biogeography of marine tintinnids / R.W. Pierce, J.T. Turner // *Marine Ecology Progress Series*, 1993. Vol. 94. P. 11–26.

ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ ЧЕРНОМОРСКОЙ МИДИИ

Вышкваркова Е.В., Трусевич В.В., Кузьмин К.А., Мишуров В.Ж., Журавский В.Ю.

Институт природно-технических систем, г. Севастополь

aveiro_7@mail.ru

Ключевые слова: черноморские мидии, поведенческие реакции, факторы среды.

В работе исследованы поведенческие реакции черноморской мидии в естественных условиях обитания с использованием разработанного нами комплекса автоматического биомониторинга [1] для последующего создания системы раннего оповещения в реальном времени об изменениях характеристик водной среды.

Созданный комплекс позволяет в режиме реального времени фиксировать движения створок 16 моллюсков (*Mytilus galloprovincialis* Lam 1897) и параметры окружающей среды. Наблюдения проводились в акватории города Севастополя на протяжении трех лет (2012-2014 гг.) во все сезоны года.

Установлено, что в нормальных условиях обитания движения створок моллюсков подчинены ярко выраженному суточному солнечному ритму, с максимальным раскрытием створок в ночное время и минимальным - в дневное. Переход от ночной части суточного ритма к дневной и обратно происходит в точном соответствии с восходом и заходом солнца в данный период года и осуществляется в течение 20-30 минут по мере развития и угасания гражданских сумерек.

Средняя величина раскрытия створок у группы мидий составила 6-8 мм в ночное время и 4-6 мм в дневное, у некоторых моллюсков максимальная величина раскрытия достигала 10-12 мм. Амплитуда раскрытия створок (осредненная для 16 мидий) варьируется в пределах 60-70% днем и 90-100% ночью. В суточном ритме черноморских мидий были выделены две группы движений. Первая группа состоит из быстрых длинных аддукций и коротких аддукций. Вторая группа - медленные, очень короткие, неглубокие колебания, занимающие основную часть дневного периода. В ночное время мидии несинхронно в индивидуальном режиме совершают длинные аддукции гораздо чаще (от 1 раза в 2-3 часа до нескольких на протяжении часа), чем в дневное (1-2 за весь дневной период). Это является свидетельством большей активности питания мидий, как и большинства морских моллюсков, в ночной период [2].

Многолетние наблюдения за поведением мидий не обнаружили выраженных сезонных проявлений изменения суточного ритма движения створок при колебаниях температуры воды. Напротив, даже в зимнее время, несмотря на низкую температуру воды (7-9°С), в феврале в отдельные дни снижавшуюся до 4-5°С, у мидий сохраняется четкая суточная ритмика движений створок, что указывает на активное питание моллюсков.

Высокая температура воды (свыше 26°С) в летнее время для мидий является стрессовой ситуацией, сопровождающейся разрушением суточной ритмики, при этом происходит быстрое уменьшение амплитуды раскрытия створок моллюсков, поскольку мидии по своему происхождению относятся к бореальным формам. При возвращении температуры воды к нормальным показателям (22-23°С) суточная ритмика движения створок восстанавливалась на протяжении полусуток.

Резкие понижения температуры воды (апвеллинги) в районе исследования на 7, 10 и даже 14°С за короткий промежуток времени (4-6 часов) приводило к изменению характера движений створок у большинства мидий. С повышением температуры до 20°С мидии возвращались к нормальной ритмике движений уже через 3-5 часов.

Отмеченные реакции моллюсков на резкие колебания температуры воды являются достаточно полной основой для формирования управляющих компьютерных программ в системах автоматизированного мониторинга.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и города Севастополя в рамках научного проекта № 18-45-920061.

Список литературы

- 1) Трусевич В.В., Гайский П.В., Кузьмин К.А., Мишуров В.Ж. Биомаркеры поведенческих реакций черноморской мидии для автоматизированного мониторинга водной среды // Системы контроля окружающей среды № 1(21). 2015. С. 13-18
- 2) Comeau L.A., Babarro J.M.F., Longa A., Padin X.A. Valve-gaping behavior of raft-cultivated mussels in the Ría de Arousa, Spain // Aquaculture Reports V. 9. 2018. P. 68–73

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СООБЩЕСТВ МШАНОК (BRYOZOA) СЕВЕРНОГО И ЮЖНОГО РАЙОНОВ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Евсеева О.Ю.

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

olga_luna82@mail.ru

Ключевые слова: мшанки, колонии, зоарий, условия среды, Баренцево море.

Мшанки (тип Bryozoa) - одна из наиболее многочисленных и наименее изученных таксономических групп водных беспозвоночных животных. Это колониальные, преимущественно морские прикрепленные беспозвоночные, состоящие из микроскопических особей (зоидов, размером 1-3мм), объединенных общим телом в колонию (зоарий). Зоарии разных видов отличаются как различной структурой (мягкотелые и обызвествленные), так и разнообразной формой: от корковой, плотно обрастающей твердые поверхности, до приподнятой над субстратом ветвисто-кустистой или древовидной. Главным фактором, определяющим присутствие в донных биоценозах мшанок, является характер грунта и наличие твердых субстратов (заросли макрофитов, грубообломочный материал - камни, ракушка). Таксономический состав, количественные параметры и распределение мшанок зависят от разных факторов среды, проанализировать которые - основная задача данного исследования.

Материалом для настоящей работы послужили пробы зообентоса, в которых присутствовали мшанки, собранные в ходе экспедиций Мурманского морского биологического института КНЦ РАН на НИС "Дальние Зеленцы" в 2016-2017гг. в северном и южном (прибрежном) районах Баренцева моря. Пробы отбирались на глубине от 115 до 370м с помощью дночерпателя ван-Вина (площадь захвата 0.1м²) по стандартной гидробиологической методике в сходных ландшафтах (котловинах и желобах). Таксономическая идентификация мшанок производилась с помощью определителя мшанок Северных морей [1] с корректировкой в соответствии с современной классификацией.

В собранном материале (79 проб) идентифицирован 71 вид Bryozoa, что составляет 20% от общего числа мшанок Баренцева моря. Из них 47 видов отмечены в пробах из северного, а 30 - южного районов. Один вид (*Uschakovia gorbunovi* Kluge, 1946) зарегистрирован в фауне Баренцева моря впервые.

Биогеографический анализ фауны исследуемых районов демонстрирует повсеместное преобладание бореально-арктических видов. Отмечено, что их доля убывает в направлении с юга (70%) на север (58%), за счет увеличения доли арктических (с 27% до 36%) и бореальных (с 3% до 6%) видов соответственно.

Для Баренцева моря характерно понижение температуры воды в направлении с запада на восток и с юга на север. На это влияет структура водных масс и характер течений: теплые атлантические воды переносятся преимущественно в южной (прибрежной) части моря, а холодные арктические - в северной [2]. Данный факт отражается на биогеографической структуре фауны Bryozoa: численность арктических видов в биотопах с юга на север закономерно повышается. Низкая доля бореальных видов мшанок (3%) в южном районе объясняется тем, что исследования проводились в прибрежном желобе (с глубинами от 140 до 290м), в котором температура придонного слоя воды не подвержена летнему прогреву и значительным сезонным колебаниям.

В северной части Баренцева моря более половины (53%) обнаруженных видов (25) мшанок имеют корковую (обрастающую субстрат) форму колонии. Такие колонии прикреплены к субстрату всей поверхностью тела и хорошо противостоят течениям и повышенной гидродинамике, но уязвимы в условиях повышенного осадконакопления. Ловчий аппарат зоидов, засоряется взвесью, оседающей на зоарий, и препятствует захвату пищи. Более того, корковые колонии мшанок могут быть полностью погребены под слоем осадков и взвеси. Другая часть (47 %, 22 вида) мшанок

характеризуются приподнятой над субстратом ветвисто-кустистой формой зоария, которая хуже противостоит повышенной гидродинамике, но лучше - осадконакоплению. Почти равное процентное соотношение *Vryozoa* с корковой и кустистой формами зоариев в северной части Баренцева моря указывает на неоднородный ландшафт в районе исследований и сопутствующие ему условия гидродинамики и осадконакопления.

В южном районе значительно доминируют (77%, 23 вида) мшанки с ветвисто-кустистой формой колонии, что свидетельствует о более или менее однородном ландшафте (прибрежный желоб) и сопутствующих условиях (слабая гидродинамика и умеренное осадконакопление).

Наибольшее количество видов мшанок (6) с мягкотелой (необызвествленной) структурой зоария отмечено в глубоководных участках (290 - 360м) северного района, в холодных водах с отрицательной температурой (от -0.10°C до -0.57°C). В южном районе отмечен только 1 мягкотелый вид (также в условиях с пониженными значениями температуры и солености). Вероятно, представители *Vryozoa* с мягкотелой структурой лучше других мшанок приспособлены выживать в углублениях дна с повышенным осадконакоплением, где, к тому же, как в линзах, задерживается холодная вода. Приподнятая над субстратом форма колонии дает возможность этим видам развиваться в биотопах со слабой гидродинамикой и усиленным осадконакоплением вероятно за счет скорости роста, по-видимому, превышающей скорость осадконакопления (в отличие от долгорастущих обызвествленных видов мшанок).

Количественные показатели (численность и биомасса) и распределение мшанок зависят, главным образом, от обилия подходящего субстрата (от структуры грунта), что, в свою очередь, связано с рельефом дна и сопутствующей гидродинамикой.

В северном районе максимальная биомасса ($20.5 - 22.7\text{г}/\text{м}^2$) и численность (12 - 16 видов на станцию) мшанок выявлена на глубине 100 - 200м с повышенным содержанием в грунте грубообломочного материала (камней и гравия), что характерно для склона. Здесь руководящими в сообществе мшанок являются виды с прочным известковым скелетом и древовидной формой колонии - *Leieschara coarctata* (M. Sars, 1863) и *Hornera lichenoides* (Linnaeus, 1758). Однако, практически повсеместно северный район исследований представлен глубинами более 250м с мягкими грунтами (смешанными илисто-песчанисто-глинистыми донными осадками, характерными для котловин и желобов), не способствующими успешному развитию мшанок как в видовом (1 - 7 видов на станцию), так и в количественном (биомасса $0.1 - 9.6\text{г}/\text{м}^2$) отношении.

Южный район исследований, расположенный в прибрежном желобе, характеризуется дефицитом мшанок (1 - 9 видов на станцию) и пониженными значениями биомассы ($0.1 - 16.2\text{г}/\text{м}^2$). Лишь в одной точке, на глубине около 250 м, отмечены высокие значения биомассы ($90.3\text{г}/\text{м}^2$) (за счет обильных поселений обызвествленных, свободно растущих мшанок *Parasmittina jeffreysi* (Norman, 1876)) и численности (15 видов на станцию). Это свидетельствует о том, что площади, занятые поселениями мшанок в прибрежном желобе, небольшие и располагаются мозаично.

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) Ключе Г.А. Мшанки северных морей СССР / Г.А. Ключе // М.-Л.: Изд. АН СССР, 1962. – 584 с.
- 2) Ожигин В.К. Воды Баренцева моря: структура, циркуляция, изменчивость / В.К. Ожигин, В.А. Ившин, А.Г. Трофимов и др. // Мурманск: ПИНРО, 2016. – 260 с.

МОРФОМЕТРИЯ И ПОЛОВОЕ СОЗРЕВАНИЕ САМЦОВ КАМЕННОЙ КРЕВЕТКИ *PALAEMON ELEGANS* (CRUSTACEA: DECAPODA: PALAEMONIDAE) ИЗ МОРСКИХ ПОСЕЛЕНИЙ У ПОБЕРЕЖЬЯ КУРШСКОЙ КОСЫ

Егорова Ю.Е., Судник С.А.

Калининградский государственный технический университет, г. Калининград

yulya_egorova@mail.ru

Ключевые слова: палемоны, Куршский залив, *Palaemon elegans*, морфометрия, половое созревание самцов.

Palaemon elegans (каменная креветка) впервые отмечена в водах Калининградской области в 2000 г. Вид занял устойчивую экологическую нишу у морского побережья юго-восточной Балтики, особенно в Вислинском заливе. Эта эпибентосная креветка, ведет себя как бентофаг [2,6]. Вид важен в питании рыб, это - объект любительского, а в некоторых регионах - промышленного лова [2]. Занесен в список самых успешных инвазивных видов, в том числе, в Балтийском море [2]. По биологии вида наших вод публикаций мало, они описывают его встречаемость, питание, размерно-половой состав, некоторые аспекты репродукции [1, 4, 6]; по морфометрии кроме измерений общей длины тела, редко еще длины карапакса у особей в Калининградском заливе [1, 4, 6], опубликованных данных нет. Цель данной работы: морфометрический анализ самцов *P. elegans* из морских поселений в Балтийском море у побережья Куршской косы и изучение их полового созревания. Материал для исследования (3 пробы, содержащие 57 особей) собран на глубине 1-1,5 м студентами «КГТУ» и авторами лично в весенне-летний период 2010-2015 г. в прибрежных водах Балтийского моря у берегов Куршской косы. Орудие лова - гидробиологический сачок, фиксация материала происходила 8 %-ным раствором формальдегида. В ходе морфологического анализа [5] у самцов измерялись восемь таксономически важных размерных параметров экзоскелета креветок (общая длина тела (ОД), длина карапакса (ДК), длина рострума, длина клешни торакоподов 1-ой пары, длина её пальца и ладони, длина меруса и карпуса торакоподов 1-ой пары). При изучении линейного роста структурных элементов экзоскелета креветок использовано аллометрическое уравнение роста [3]. Для определения размера половозрелости применяли гистологический метод, оценивающий по 4х-балльной шкале степень развития и созревания семенников (0 баллов - не различимы невооружённым глазом и при увеличении до $\times 56$; 1 балл - различимы при увеличении $\times 8-56$ как очень слабо развитые, не извитые или мало извитые парные трубчатые органы; 2 балла - различимы невооружённым глазом как средне развитые мало извитые парные трубчатые органы; 3 балла - максимально развитые [ориг.]).

Проведен анализ морфометрических параметров элементов экзоскелета 57 самцов *P. elegans*. Получен диапазон их изменчивости, средние значения, рассчитаны коэффициенты перехода к ОД и к ДК; описаны особенности формулы рострума вида из поселения в прибрежных морских водах у берегов Куршской косы. Данные составят основу биометрического паспорта *P. elegans* в водоемах бассейна юго-восточной Балтики, будут полезны исследователям его биологии и трофологам, исследующим питание рыб и других гидробионтов - для реконструкции размеров особей креветки.

Размеры (ОД) самцов *P. elegans* составили 12,2-27,8 мм (в среднем - $16,6 \pm 3,05$ мм), при ДК 4,0-9,2 мм ($6,3 \pm 1,4$ мм); преобладали самцы размерной группы ДК 5,5-7,0 мм (их доля - 52,6 %); доля более мелких особей (ДК 4-5,4 мм) была 21,0 %, более крупных (ДК 7,1-9,2 мм) не превысила 5,2 %. Сравнение размеров самцов из морских вод у Куршской косы с таковыми у особей из Калининградского залива, собранных в 2016-2017 гг. (ДК 4,3-7,4 мм ($5,2 \pm 1,0$ мм)) [4] и в более ранний период - 2001-2004 гг. (ДК 4,0-7,0 мм) [6] показало, что в наших пробах за 2010-2015 гг. диапазон изменчивости ДК самцов был немного более широким, при доминировании, в

целом, особей близких размеров. В целом, размеры креветок *P. elegans* (ОД) из европейских морей (Северного, Средиземного морей, а также вод северо-западной Африки (от Марокко до островов Зеленого Мыса)) могут достигать 50 мм [1], что закономерно намного превосходит максимальные размеры тела каменной креветки в мало солёных водах бассейна юго-восточной Балтики.

Как часть исследования морфологической популяционной изменчивости особей каменной креветки из вод у побережья Куршской косы изучены особенности аллометрии роста структурных элементов экзоскелета самцов. Оценены изменения размеров четырех таксономически важных пластических признаков (длины рострума, длины клешни и её ладони, длины карпуса клешне-носной ноги) относительно длины карапакса. Выяснено, что у самцов *P. elegans* из данного поселения наиболее достоверно связаны только рост карапакса и рост рострума, с отрицательной аллометрией; рост клешни, ее ладони у них слабо связаны с ростом карапакса в длину.

Изучение репродуктивного состояния самцов каменной креветки показало, что их семенники невозможно было различить при увеличении бинокулярного микроскопа $\times 4,8-56$. Гистологический метод определения степени зрелости самцов (в виде оценки состояния семенников при вскрытии особей) к фиксированному раствором формальдегида материалу самцов *P. elegans* оказался не применим. Этот вывод мы планируем проверить при дальнейших исследованиях.

Список литературы

- 1) Буруковский Р.Н. О питании креветки *Palaemon elegans* Rathke 1837 (Decapoda, Palaemonidae) в Вислинском заливе / Р.Н. Буруковский // Journal of Siberian Federal University. Biology. — 2012. — № 2 (5). — С. 151–159.
- 2) Буруковский Р.Н. Креветки рода *Palaemon* (Crustacea, Decapoda, Palaemonidae) Европейских морей: определение видов: [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Р.Н. Буруковский. — Калининград: БГА РФ ФГБОУВО «КГТУ», 2017. — 1 эл. опт. диск (CD-R).
- 3) Клитин А.К. Распределение, биология и функциональная структура ареала камчатского краба в водах Сахалина и Курильских островов: дис. . . канд. биол. наук. 03.00.18 / Клитин Андрей Константинович; СахНИРО ; науч. рук. Б.Г. Иванов. Южно-Сахалинск, 2002. — С. 12–17.
- 4) Мирошниченко Я.В. Некоторые аспекты биологии двух видов рода *Palaemon* (*Palaemon elegans* и *Palaemon adspersus*: Decapoda: Caridea: Palaemonidae) из вод Балтийского и Черного море : ВКР бакалавра / Мирошниченко Яна Владимировна; КГТУ ; науч. рук. Судник С.А. Калининград, 2019. — 67 с.
- 5) Судник С.А. Некоторые аспекты популяционной биологии креветки *Palaemon elegans* Rathke 1837 (Crustacea: Decapoda: Palaemonidae) из водоёмов Калининградской области / С.А. Судник, Ю.Е. Егорова // VII Международный Балтийский морской форум (7-12 октября 2019 г.) [Электронный ресурс]: в 6 томах. Т. 3. Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоёмов: VII Междунар. научн. конф.: материалы. — Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2019. — С. 291–300.
- 6) Цигвинцев С.В. О биологии креветки *Palaemon elegans* в водах Калининградского залива / С.В. Цигвинцев // Проблемы ихтиопатологии и гидробиологии. Первые шаги в науке: сб. магистр. и аспирант. научн. работ. Калининград: Изд-во ФГОУ ВПО «КГТУ», 2008. — С. 180–201.

ТЕМП ПОЛОВОГО СОЗРЕВАНИЯ СЕВЕРНОГО ОДНОПЕРОГО ТЕРПУГА В 2019 Г.

Жукова К.А., Головатюк Г.Ю.

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, г. Москва

kzh@vniro.ru

Ключевые слова: северный одноперый терпуг *Pleurogrammus monopterygius*, огиба созревания, длина, стадии зрелости, северная часть Тихого океана, Берингово море.

Северный одноперый терпуг *Pleurogrammus monopterygius* (Pallas, 1810) является представителем семейства Терпуговые (Hexagrammidae), широко распространенным в водах северной части Тихого океана. Нерестится он в прибрежной зоне, ранние периоды жизни проводит в пелагиали, взрослые особи по большей части имеют придонно-пелагический образ жизни [1, 2]. Целью работы было исследование современного состояния репродуктивной биологии и темпа полового созревания северного одноперого терпуга разных районов северной части Тихого океана.

Исследования преднерестовых скоплений проводились в период с 11 апреля по 11 мая 2019 г. на рыболовном морозильном траулере РТМ П-0697 «Камлайн» (судовладелец, ООО «Росрыбфлот») в трех промысловых районах: Западно-Берингоморской, Восточно-Камчатской и Северо-Курильской зонах. Биологическому анализу были подвергнуты 3939 терпугов по стандартным методикам [3, 4]. Стадии зрелости были определены визуально в полевых условиях. Для оценки достоверности различий средних значений размерных показателей среди самок и самцов использован Н-критерий Краскела–Уоллиса, поскольку выборки не прошли тест Колмогорова–Смирнова на нормальность распределения.

Весной 2019 г в преднерестовых скоплениях длина самок северного одноперого терпуга варьировала от 22 до 49 см, в среднем составляя 39 см; самцов - от 22 до 48 см, в среднем - 37 см. Масса самок колебалась от 100 до 1430 г (средняя 727 г), самцов - от 120 до 1930 г (средняя 665 г). В Западно-Берингоморской и Северо-Курильской рыбохозяйственных зонах соотношение самцов и самок было примерно 1 : 1, в Восточно-Камчатской ~ 1 : 2. По физиологическому состоянию особей относили к трем группам: неполовозрелые (с гонадами стадии зрелости II), созревающие, но не участвующие в текущем нересте (гонады стадии зрелости II-III), половозрелые и участвующие в нересте 2019 г (III и IV). Среди самок в разных районах подавляющее большинство рыб были половозрелыми (90-98%), 6,5 % - были созревающими в Западно-Берингоморской зоне и 1,5-2% в более южных районах исследования; менее 8% самок в разных районах были неполовозрелыми. Среди самцов в разных районах от 10 до 18% были неполовозрелыми, 67,5-84% - половозрелыми и 6-16% имели созревающие гонады.

Неполовозрелые самки и самцы отмечены в размерных группах от 22 до 41 см, большинство самок (77,3%) были длиной 24-30 см ($26 \pm 4,5$ см), самцов (90,3%) - 25-38 см ($33 \pm 4,5$ см). Наименьшая длина, при которой самки начинали созревать, составляла 28 см у самок и 25 см у самцов. Средняя длина созревающих самок составила $35 \pm 3,7$ см, самцов - $36 \pm 2,6$ см. Принимать участие в нересте самки начинают при длине более 28 см ($40 \pm 2,7$ см), самцы - 29 см ($38 \pm 1,9$ см). Длины неполовозрелых, созревающих и половозрелых рыб статистически различались ($p \leq 0,001$), как среди самок, так и самцов.

Размеры, при которых 50% особей начинали принимать участие в нересте, различались в разных районах северной части Тихого океана. В Западно-Берингоморской зоне они составили 29 см у самок и 30 см у самцов, в Восточно-Камчатской зоне - 28 см у самок и 34 см у самцов, в Северо-Курильской - 30 см у самок и самцов.

Переход особей от пелагической к придонно-пелагической фазе происходит при длине 29-33 см [2]. Вероятно, начало созревания гонад связано со сменой горизонтов обитания. По сравнению с

материалами О.Г. Золотова [5] начало созревания особей и массовое созревание терпуга в 2019 г в Северо-Курильской зоне происходило при меньших размерах.

Анализ предварительных результатов показал, что преднерестовые скопления вида делятся на 3 статистически различимые по размерам и физиологическому состоянию группы. Дальнейший анализ возрастного состава и гистологии позволит расширить знания о репродуктивной биологии северного одноперого терпуга.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФГБНУ «ВНИРО» № 076-00005-20 ПР «Проведение прикладных исследований».

Список литературы

- 1) Горбунова Н.Н. Размножение и развитие рыб семейства терпуговых (Hexagrammidae) // Труды института Океанологии Т. 59. 1962. С. 118-182.
- 2) Золотов О.Г., Орлов А.М. Роль подводных поднятий в структуре ареала северного одноперого терпуга // Рыбное хозяйство №. 6. 2009. С. 53-57.
- 3) Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М., Пищевая промышленность. 1966. 376 с.
- 4) Изучение экосистем рыбохозяйственных водоемов, сбор и обработка данных о водных биологических ресурсах, техника и технология их добычи и переработки. Выпуск 5. Наставление для наблюдателей (ихтиология). М.: ВНИРО. 2006. С. 84.
- 5) Золотов О.Г. Биология северного одноперого терпуга *Pleurogrammus monopterygius* (Pallas) в водах Камчатки и Курильских островов: Автореф. кандидат. диссерт. 1984. 22 с.

ТРОФИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И БИОМАССА АРКТИЧЕСКОГО ЗООПЛАНКТОНА В ЕВРОПЕЙСКОМ БАССЕЙНЕ В 2017 ГОДУ

Захарова Н.Б.

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

n.b.zakharova@yandex.ru

Ключевые слова: биология океана, зоопланктон, Северный Ледовитый океан (СЛО), Европейский бассейн СЛО, трофическая структура зоопланктона, атлантификация СЛО .

На сегодняшний день Северный Ледовитый океан испытывает наиболее выраженные последствия глобальных климатических изменений. За последние десятилетия толщина морского льда значительно уменьшилась, и по прогнозам, будет уменьшаться в будущем. Так же ожидаются значительные изменения в толщах морских вод: повышение температуры поверхностных вод, закисление океана, усиление стратификации, изменения течений и циркуляции водных масс. В условиях продолжающегося изменения климата, исследования на основе моделей показывают, что с увеличением притока Атлантических вод в Северный Ледовитый океан, происходит миграция атлантических видов на север [1]. В последнее десятилетие в Северном Ледовитом океане наблюдается биогеографический сдвиг в сторону увеличения доли бореальных видов копепод [2]. Расширение сообществ зоопланктона на север, связанное с теплыми Атлантическими водами, приводит к сокращению численности видов, предпочитающих холодные Полярные воды. Изменения в составе зоопланктонного сообщества также приведет к изменению его качества, как источника пищи для организмов высших трофических уровней, поскольку зоопланктон является одним из главных звеньев Арктической пищевой сети [3,4].

В данной работе были проанализированы образцы зоопланктона пелагиали, отобранного в экспедиции PS106 на исследовательском судне «Поларштерн». Экспедиция проходила с 28 мая по 20 июля 2017 г. в Северном Ледовитом океане, к северу от Шпицбергена и Баренцевом море. В зону исследований входили станции, расположенные на шельфе и склоне Баренцева моря и западной части бассейна Нансена. В зоне отбора проб происходит приток Атлантических водных масс через пролив Фрама и встречается с выносом водных масс с Баренцева моря. В свою очередь, происходит движение морского льда в южном направлении и встречается с Арктическими поверхностными водами. Склон шельфа Баренцева моря является горячей точкой атлантификации и бореализации. Все эти факторы оказывают значительное влияние на сообщество зоопланктона в этом районе.

В рамках данного исследования было проведено изучение видового состава макрозоопланктона, биомассы и размерного состава макро- и мезозоопланктона по склону шельфа Баренцева моря, в зависимости от влияния на них пространственного расположения и водных масс. Кроме того, была исследована трофическая структура сообществ зоопланктона, с помощью анализа стабильных изотопов и соотношения C:N. Атлантические водные массы были распространены почти на всех станциях. Для оценки влияния водных масс станции были разделены на две группы: с меньшим и большим влиянием Атлантических вод.

Полученные данные показывают, что общая биомасса зоопланктона была высокой на шельфе. На склоне биомасса зоопланктона была значительно ниже, чем в бассейне Нансена. На станциях более подверженных воздействию Атлантических вод преобладали фракции меньшего размера. И, наоборот, в бассейне Нансена вклад крупных фракций был значительно выше. Таксономический состав макрозоопланктона в верхних 100 м составлял 21 таксон. Было показано значительно большее количество таксонов на шельфе и склоне (19 таксонов), чем в глубоководных районах (15 таксонов).

Результаты анализа стабильных изотопов показали, что источники углерода и трофическая структура зоопланктона на шельфовом склоне существенно отличаются от сообщества зоопланктона на глубоководных станциях с пониженным воздействием Атлантических вод. Кроме того,

соотношение C:N на склоне было значительно ниже, чем в бассейне Нансена, что свидетельствует о более низком содержании липидов в зоопланктоне, связанном с шельфами. Результаты, полученные для изотопного состава четырех видов макрозоопланктона *Themisto libellula*, *Themisto abyssorum*, *Thysanoessa longicaudata*, *Thysanoessa inermis* не показали статистически значимых межвидовых различий в трофическом уровне, источнике углерода и соотношении C:N.

Подводя итог, можно сказать, что результаты исследования подтвердили изменения, происходящие в сообществе зоопланктона, и подверженность региона исследования атлантификации. Неожиданным результатом стало то, что биомасса зоопланктона на склоне не выше, чем в глубоком бассейне. Это противоречит общепринятому утверждению о том, что биомасса зоопланктона выше на склоне, подверженному повышенному влиянию Атлантических вод, и будет увеличиваться в будущем. Некоторые из этих данных требуют более детального анализа, включая дополнительные экологические и биологические базы данных, когда они станут доступны.

Работа выполнена при поддержке Института полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера.

Список литературы

- 1) Richardson A.J. In hot water: zooplankton and climate change // ICES Journal of Marine Science. – 2008. – Vol. 65. – №. 3. – P. 279–295.
- 2) Weydmann A. et al. Shift towards the dominance of boreal species in the Arctic: inter-annual and spatial zooplankton variability in the West Spitsbergen Current // Marine Ecology Progress Series. – 2014. – Vol. 501. – P. 41–52.
- 3) Kwasniewski S. et al. The impact of different hydrographic conditions and zooplankton communities on provisioning Little Auks along the West coast of Spitsbergen // Progress in Oceanography. – 2010. – Vol. 87. – №. 1-4. – P. 72–82.
- 4) Wassmann P. et al. Food webs and carbon flux in the Barents Sea // Progress in Oceanography. – 2006. – Vol. 71. – №. 2-4. – P. 232–287.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ В 2018 ГОДУ

Захарова Н.Б., Поважный В.В.

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

n.b.zakharova@yandex.ru

Ключевые слова: первичная продукция, хлорофилл-А, Море Лаптевых, СЛО.

На фоне значительных колебаний атмосферных процессов и поступления Атлантических вод в систему Северного Ледовитого океана в последние годы происходит интенсивное сокращение ледового покрова, отмечаемое повсеместно в Евразийском Арктическом бассейне. При увеличении продолжительности безледного периода и интенсивности вертикального перемешивания ожидаются значительные изменения уровня первичного продуцирования органического вещества (ПП) в пелагиали Арктических морей России. Это, в свою очередь, может оказать значительное влияние на все уровни пищевых цепей морей Лаптева и Карского, до настоящего момента считавшихся крайне малопродуктивными. В последние годы, на фоне роста годовой ПП Баренцева моря и увеличения его рыбопродуктивности [1] особый интерес вызывают прогнозы аналогичных изменений в морях Карском и Лаптевых [2]. Также характерными особенностями арктических экосистем является высокий вклад ледовой флоры в суммарную годовую первичную продукцию и формирование подповерхностного максимума хлорофилла-А (хл-А) в безледный период.

Для исследования процессов трансформации органического вещества в пелагиали морей Лаптевых и Восточно-Сибирского были выполнены гидробиологические работы в период проведения экспедиции «Арктика 2018». В ряд задач гидробиологических исследований входили отбор и определение концентрации хлорофилла-А (хл-А) по стандартным горизонтам (2 - 100м) с помощью батометров Нискина в составе гидрологического комплекса «Розетта». Также проводилось определение первичной продукции (ПП) планктона кислородной модификацией скляночного метода на двух горизонтах (поверхность, горизонт хлорофилльного максимума) с использованием оптического датчика растворенного кислорода PreSens Fibox 4 в термостатированном люминостате оригинальной конструкции.

Район проведения работ охватывал области с высокой и низкой продуктивностью фитопланктона, связанной как с сезонными, так и гидрологическими процессами. Так, в расположенных севернее точках отбора проб как в районе моря Лаптевых, так и Восточно-Сибирского развитие фитопланктона в период отбора проб соответствовало фазе ранне-весеннего прикромочного цветения с максимумом в поверхностном горизонте (до 0,8 мкг хл-А/л). Указанная ситуация наблюдалась в районах скоплений битого льда.

Южнее районов прикромочного цветения в условиях открытой воды отмечалась ситуация, характерная для окончания «весеннего» периода развития фитопланктона. При этом максимум хл-А отмечался в слое, «подстилающем» пикноклин (20 - 25 м). Данная ситуация соответствовала условиям формирования подповерхностного максимума хл-А, отмеченного на ряде станций. Так севернее арх. Северная Земля в слое максимума хл-А на глубине 25 м. его концентрация составила 3,6 мкг/л (максимальное значение, отмеченное за весь рейс). На нескольких станциях указанной зоны подповерхностный максимум хл-А был выражен слабее и составлял 1,5 - 1,8 мкг хл-А/л при типичных значениях в поверхностном горизонте от 0,2 до 0,4 мкг хл-А/л.

На шельфе моря Лаптевых и Восточно-Сибирского концентрация хл-А была минимальной (0,05 - 0,2 мкг/л), что соответствовало «осеннему» этапу сезонной сукцессии фитопланктона. Помимо этого, район выполнения работ не совпал с областью распространения пресного стока р. Лена, выносящего в море Лаптевых дополнительное количество биогенных элементов.

Полученные ранее оценки первичной продукции органического вещества в исследованном районе крайне немногочисленны (в море Лаптевых до настоящего момента было выполнено всего 11

измерений). Выполненные измерения значительно расширили представления о продукционном процессе в исследованном районе. Кислородный метод измерения первичной продукции позволяет получать оценки ее валовой и чистой составляющих в единицах кислорода на литр пробы в час. После ряда стандартных преобразований первичную продукцию можно также выразить в единицах углерода под квадратным метром в сутки. На 35 станциях в исследованном районе валовая первичная продукция в среднем составила 1089 мгС/м²/сут при колебаниях от 7280 до 10 мгС/м²/сут, чистая первичная продукция в среднем составила 250 мгС/м²/сут при колебаниях от 2760 до -878 мгС/м²/сут. Полученные оценки находятся в соответствии с выполненными ранее измерениями первичной продукции радиоуглеродным методом [3].

Работа выполнена при поддержке Минобнауки России по проекту "Изменчивость Арктической Трансполярной системы" (RFMEFI61617X0076).

Список литературы

- 1) Haug T. et al. Future harvest of living resources in the Arctic Ocean north of the Nordic and Barents Seas: a review of possibilities and constraints // Fisheries Research. – 2017. – Т. 188. – С. 38-57.
- 2) Polyakov I. V. et al. Greater role for Atlantic inflows on sea-ice loss in the Eurasian Basin of the Arctic Ocean // Science. – 2017. – Т. 356. – №. 6335. – С. 285-291.
- 3) Tuschling K. Phytoplankton ecology in the arctic Laptev Sea—a comparison of three seasons // Berichte zur Polar-und Meeresforschung/Reports on Polar and Marine Research. – 2000. – Т. 347. – С. 1-144.

ПРИСПОСОБЛЕНИЯ АКТИНИЙ ИНФРАОТРЯДА ATHENARIA (ACTINIARIA, ANTHOZOA, CNIDARIA) К ОБИТАНИЮ НА МЯГКИХ ГРУНТАХ

Иванова Н.Ю.

Зоологический институт РАН, г. Санкт-Петербург

edwardsiella@yandex.ru

Ключевые слова: Actiniaria, закапывающиеся актинии, морфо-анатомические признаки, роющий орган, способы закапывания, морские сообщества.

Актинии (Actiniaria, Anthozoa, Cnidaria) - бесскелетные коралловые полипы, распространенные по всему Мировому океану от приливно-отливной зоны до глубоководных желобов и встречающиеся на различных грунтах. Актинии играют значительную роль в морских сообществах. Некоторые виды, например, *Anthopleura elegantissima* (Brandt, 1835), создают значительную биомассу за счет высокой численности - до 100000 на 5 м² [1]; другие виды, *Metridium farcimen* (Brandt, 1835), не образуют плотных поселений, но большая биомасса в этом случае обеспечивается крупными размерами особей, которые могут достигать 1 м высотой. Кроме того, морские анемоны - важные элементы пищевых цепей. С одной стороны, они хищники, питающиеся разнообразными беспозвоночными, с другой стороны, актинии сами используются в качестве объектов питания [2, 3]. Актинии также вступают в симбиотические отношения с одноклеточными водорослями, ракообразными, моллюсками и рыбами.

Большая часть актиний относится к инфраотряду Thenaria Carlgren, 1899. Это крупные полипы, обитающие на твердом субстрате. Они прикрепляются к камням или скалами и могут медленно ползать по их поверхности благодаря хорошо развитому клейкому педальному диску, или подошве, снабженной мышцами. Однако в отряде Actiniaria есть также червеобразные закапывающиеся актинии, объединяемые в инфраотряд Athenaria Carlgren, 1899 и населяющие, главным образом, мягкие грунты.

Для обитания на мягких субстратах эти полипы в процессе эволюции приобрели ряд характерных морфо-анатомических признаков:

- . Отсутствие базилярных мускулов
- . Удлиненная червеобразная форма тела и обычно небольшие размеры
- . Округлый аборальный конец, у многих форм дифференцирующийся в особый роющий орган - физиу, который обеспечивает закапывание в грунт
- . Небольшое число мезентериев
- . Сильное развитие продольной мускулатуры мезентериев, позволяющее быстро спрятаться в грунт при опасности
- . Наличие в стенке колюмна нематобом - специальных стрекательных органов, наполненных нематоцистами и служащих для защиты
- . Сокращение числа или полная редукция щупалец

Однако наличие сходного строения не мешает атенарным актиниям использовать различные способы закапывания. Оно происходит путем перистальтических сокращений и расслаблений кольцевой мускулатуры стенки тела. За счет них осуществляется нагнетания жидкости в физиу, что дает возможность использовать ее в качестве роющего органа. Этим способом закапывания пользуются *Peachia hastata* Gosse, 1855 (Haloclavidae), *Halcampoides* sp., (Halcampoididae), *Halcampa chrysanthellum* (Peach in Johnston, 1847) и *H. duodecimcirrata* (Sars, 1851) (Halcampidae), обитающие, как правило, в песке [4].

Актинии семейства Edwardsiidae Andres, 1881 характеризуются использованием двух типов закапывания при обитании на разных субстратах. Некоторые из них также используют физику в качестве роющего органа (*Nematostella vectensis* Stephenson, 1935), другие закапываются за счет поочередного вытягивания и втягивания дистального конца тела (*Scolanthus callimorphus* Gosse, 1853). *Edwardsia claparedii* (Panceri, 1869) использует оба способа закапывания при обитании на разных грунтах [4].

Хотя роющее поведение атенарных актиний в настоящее время слабо изучено и описано только для некоторых представителей четырех из 11 семейств инфраотряда Athenaria, можно считать, что именно оно позволило атенариям освоить дополнительные ниши на морском дне и войти в состав многих бентосных сообществ мягких грунтов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-34-90083 с использованием материалов уникальной фондовой коллекции «УФК ЗИН РАН», рег. №2-2.20 в рамках государственного задания АААА-А19-119020690072-9.

Список литературы

- 1) Hand C. The sea anemones of central California Part II. The endomyarian and mesomyarian anemones //Wasmann J. Biol. № 13. 1955. P. 37-99
- 2) Chintiroglou Ch., Koukouras A. The feeding habits of three Mediterranean sea anemone species, *Anemonia viridis* (Forsk.) , *Actinia equina* (Linnaeus) and *Cereus pedunculatus* (Pennant) //Helgolander Meeresunters № 46. 1992. P. 53-68
- 3) Ottaway J.R. Predators of Sea Anemones //Tuatara: Journal of the Biological Society № 22(3). 1977. P. 213-220
- 4) Williams R.B. Locomotory behaviour and functional morphology of *Nematostella vectensis* (Anthozoa: Actiniaria: Edwardsiidae): a contribution to a comparative study of burrowing behaviour in athenarian sea anemones // Zool.Verhandeln № 345. 2003. P. 437-484

МОРФОЛОГИЯ ОТДЕЛЬНЫХ СТАДИЙ ОНТОГЕНЕЗА *NEREILINUM MURMANICUM* IVANOV, 1961 (POGONOPHORA: FRENULATA)

Канафина М.М.¹, Голиков А.В.¹, Захаров Д.В.², Яковлева А.И.¹, Сальникова М.М.¹,
Габидуллина Р.И.¹, Порфирьев А.Г.¹, Сабиров Р.М.¹

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, Институт фундаментальной медицины и биологии,
г. Казань

²Полярный филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии
("ПИНРО" им. Н. М. Книповича), г. Мурманск
mariankanaфина@gmail.com

Ключевые слова: Арктика, погонофоры, френуляты, морфология, онтогенез, бактериоциты.

С момента открытия в начале прошлого века погонофоры стали довольно популярным объектом для большого количества разнообразных исследований. Однако многие вопросы их строения, физиологии, размножения и развития все еще остаются не разрешенными. Одним из самых загадочных вопросов является полное отсутствие у взрослых форм органов пищеварительной системы и симбиоз с метан- или сульфокисляющими грамотрицательными бактериями, населяющими специализированные клетки трофосомы - трофоциты [1]. Более того, до сих пор неизвестен механизм «заражения» эмбрионов погонофор бактериями-симбионтами. На данный момент известно о существовании пелагобентического типа жизненного цикла у Вестиментифер, личинки которых могут захватывать бактерий из грунта [2]. Несмотря на распространенность подкласса Френулят, к которому принадлежит *N. murmanicum*, в водах Мирового океана, его представители, в особенности арктические Френуляты, мало изучены. В частности, это касается их онтогенеза и жизненного цикла, так как у арктических Френулят нет стадии пелагической личинки: все их развитие происходит в материнской трубке [3].

Материалом для работы послужили 299 особей *N. murmanicum*, собранные в рамках программы бентосной съемки Баренцева моря научно-исследовательскими судами ПИНРО им. Н. М. Книповича (г. Мурманск) с 2003 по 2019 гг. Погонофоры были найдены в центральной части Баренцева моря (69°5' - 78°03' N; 16°25' - 51°01' E), при этом экологические параметры в районах их обитания различались. *N. murmanicum* обладает тонким нитевидным телом, достигающим длины до 10, 5 см, но не превышающим в ширину 0,3 мм. Тело заключено в цилиндрическую желто-коричневую несегментированную трубку. Передний конец трубки довольно мягкий, напоминает прозрачную пленку, остальная поверхность имеет кольчатость. Как и у всех френулят тело *N. murmanicum* состоит из 3-х сегментов и головной лопасти. Протосома, головная лопасть, имеет цилиндрическую форму, часто уплощенную в дорсо-вентральном направлении. От переднего конца протосомы отходит пара длинных тонких щупалец, лишенных пиннул. Мезосома, первый сегмент, отделена от протосомы утолщенными участками кутикулы, образующих уздечку. Ниже располагаются железистые полоски, вырабатывающие секрет для постройки трубки. Метасома является вторым и самым длинным сегментом тела. В ней выделяют несколько различных структурных участках. Преаннулярный отдел метасомы подразделен на метамерную и неметамерную область. В метамерной области располагается вентральный желобок, ограниченный с двух сторон дорсальными валиками, на каждом из которых можно заметить ряд папилл. В неметамерной области папиллы разбросаны беспорядочно. На вентральной стороне постаннулярного отдела располагаются конические папиллы, на дорсальной - щитки. Преаннулярный и постаннулярный отделы разделены парой вентральных поясков и зоной сгущения папилл. Пояски имеют форму полуколец, покрыты щетинками. Оπισтосома, последний отдел тела, является самым коротким сегментом, имеет овальную форму. Она сегментирована, однако, подсчитать точное количество составляющих ее сегментов не представляется возможным. Чаще всего при сборе погонофор опистосома отрывается от остальной части тела и остается в грунте вместе с остатками трубки.

Тело погонофоры сверху покрывает плотная прозрачная кутикула. Под ней расположен однослойный кубический эпителий. Далее располагаются два слоя мышц (продольный и кольцевой), которые в наибольшей степени развиты в мезосоме. Примечательно, что местами продольная мускулатура напоминает мускулатуру нематоидного типа. В протосоме присутствуют только волокна кольцевой мускулатуры и боковые кровеносные сосуды, которые соединяются и выполняют роль сердца. Мезо- и метацель образованы парными целомическими мешками. В них располагаются брюшной и спинной кровеносные сосуды, тубипарные железы, производящие секрет для трубки, а так же органы половой системы. Срединную часть постаннулярного отдела метасомы занимает трофосома, представляющая собой извитую цилиндрическую нить, тянущуюся до опистосомы, покрытую сверху перитонеальным эпителием. Ширина трофосомы составляет $0,025 - 0,175 (0,079 \pm 0,003)$ мм, объем определялся по площади полого цилиндра и варьировал $0,00079 \text{ мм}^3 - 0,11958 \text{ мм}^3$. В центре трофосомы располагается полость, с внутренней стороны выстеленная специализированной рыхлой тканью. Внутри бактериоцитов располагаются группы вытянутых палочковидных сероводородоокисляющих бактерий, длиной $0,95 - 2,10 (1,50 \pm 0,16)$ мкм. Бактерии имеют продолговатую палочковидную форму, их длина варьирует $0,95 - 2,10 (1,50 \pm 0,16)$ мкм, а диаметр в сечении составляет $0,27 - 0,43 (0,36 \pm 0,03)$ мкм. Они окружены гранулами хозяйской клетки двух типов. Одни напоминают микровилли: многослойны, их содержимое различается по плотности, в то время как другие однослойны, их содержимое распределено равномерно. Состав и функции данных гранул еще не выяснены [4].

В ходе работы в трубках *N. murmanicum* было обнаружено 135 яиц и 170 личинок. При этом у одной особи яиц насчитывалось от 1 до 31. Яйца имеют продолговатую форму и темный цвет, видны следы дробления. Длина яиц составляет $0,25 - 0,45 (0,34 \pm 0,005)$ мм, а ширина $0,1 - 0,25 (0,19 \pm 0,003)$ мм. Количество личинок у разных особей так же разнилось: от 1 до 53. Тело личинок сегментировано. Передний сегмент несет головную лопасть и кольцо апикальных ресничек (прототрох). Второй сегмент, туловище, обособлен бороздой от опистосомы. Опистосома несет две пары палочковидных опистосомальных щетинок, позади которых заметно еще одно кольцо ресничек (телотрох). Длина личинок варьирует от $0,35 - 0,88 (0,5 \pm 0,01)$ мм, ширина головной лопасти в районе прототроха составляет $0,10 - 0,23 (0,17 \pm 0,002)$ мм, ширина дистальной части опистосомы $0,04 - 0,15 (0,07 \pm 0,002)$ мм. По внешнему виду и по пропорциям тела можно предположить, что нами были найдены личинки разных стадий развития: небольшие широкие молодые личинки и вытянутые, более тонкие взрослые личинки.

Список литературы

- 1) Southward E.C. Bacterial symbionts in Pogonophora // J. Mar. Biol. Assoc. UK. 1982. Vol. 62. P. 889-906.
- 2) Nussbaumer A.D., Fisher C.R., Bright M. Horizontal endosymbiont transmission in hydrothermal vent tubeworms // Nature. 2006. Vol. 441. P. 345-348.
- 3) Hilario A., Young C.M., Tyler P.A. Sperm storage, internal fertilization and embryonic dispersal in vent and seep tubeworms (Polychaeta: Siboglinidae: Vestimentifera) // Biol. Bull. 2005. Vol. 208. P. 20-28.
- 4) Flügel H.J. A new species of Siboglinum (Pogonophora) from the North Atlantic and notes on *Nereilinum murmanicum* Ivanov // Sarsia. 1990. Vol.3. № 75. P. 233-241.

ВЛИЯНИЕ ГИПОКСИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕМОЦИТОВ *ANADARA KAGOSHIMENSIS* (ТОКУНАГА, 1906)

Кладченко Е.С., Кухарева Т.А., Рычкова В.Н.

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, г. Севастополь

Kladchenko_ekaterina@bk.ru

Ключевые слова: анадара, марикультура, проточный цитометр, иммунитет, активные формы кислорода.

Марикультурные хозяйства традиционно располагаются в прибрежных участках, где могут подвергаться воздействию устойчивой или периодической гипоксии. В контексте проблемы распространения зон прибрежной гипоксии становится актуальным культивирование видов с широким адаптивным потенциалом к дефициту кислорода. Как перспективный марикультурный вид на черноморском побережье рассматривается двустворчатый моллюск, *Anadara kagoshimensis* (Токунэга, 1906), принадлежащий к семейству Arcidae [1]. Понимание механизмов реакции *Anadara kagoshimensis* на клеточном уровне на дефицит кислорода позволит выявить возможные риски для марикультурного хозяйства. В настоящей работе в ходе экспериментов *in vivo* исследовано влияние суточной гипоксии на функциональные показатели гемоцитов двустворчатого моллюска *Anadara kagoshimensis*.

Взрослых особей *Anadara kagoshimensis* (длина раковины 15.18 ± 6.09 мм, вес 30.57 ± 2.76 г, $n=20$) помещали в емкость с морской водой, продуваемой газообразным азотом. Содержание кислорода снижали с 6.77 мг/л до 0.44 мг/л в течение 30 минут. Спустя 24 часа инкубации гемолимфу отбирали стерильным шприцем из экстрапалиального пространства. Контрольная группа моллюсков содержалась при 6.77 мг/л. Гемоциты трижды отмывали в стерильной морской воде путем центрифугирования (350g в течение 5 мин). Для анализа на проточном цитометре Beckman Coulter FC500 готовую суспензию гемоцитов разводили стерильной морской водой (концентрация гемоцитов $1-2 \times 10^6$ на мл) и окрашивали ДНК-красителем SYBR Green I (финальная концентрация в пробе 10 мкМ, 30 мин в темноте). Содержание ДНК в гемоцитах *Anadara kagoshimensis* анализировали на основании гистограмм распределения флуоресценции красителя. Доля мертвых клеток определялась по флуоресценции красителя Propidium iodide (Sigma Aldrich) спустя 30 мин инкубации клеток в темноте при 4°C. Спонтанная продукция клетками активных форм кислорода оценивалась по флуоресценции красителя DCF-DA. Анализ данных проводили в компьютерной программе Flowing Software 5.2.

Клеточный состав гемолимфы *Anadara kagoshimensis* после суточной инкубации в условиях гипоксии не претерпел каких-либо изменений. Доля гранулярных клеток в гемолимфе моллюска опытной и контрольной групп фактически совпадала: 92.64 ± 0.91 % и 93.92 ± 1.87 % соответственно. Аналогично в отношении агранулярных клеток (7.36 ± 0.91 % - нормоксия и 6.26 ± 1.87 % - гипоксия). Дефицит кислорода не повлиял на функциональные характеристики гемоцитов *Anadara kagoshimensis*, а именно на их способность генерировать активные формы кислорода. Различия во флуоресценции DCF-DA также не были статистически значимы.

Отсутствие влияния суточной гипоксии на функциональные характеристики гемоцитов *Anadara kagoshimensis* свидетельствует о толерантности моллюска к условиям острого дефицита кислорода. Последнее подтверждает перспективность анадары в качестве объекта интенсивного регионального культивирования.

Работа выполнена в рамках Госзадания (номер гос. регистрации № 0828-2018-0003) а также при частичной финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук (номер проекта МК-609.2020.4).

Список литературы

- 1) Яхонтова И.В., Дергалева Ж.Т. Марикультура моллюсков на Черноморском побережье России // Рыбпром: технологии и оборудование для переработки водных биоресурсов. 2008. № 2. С. 45-47.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДУКЦИИ БАКТЕРИЙ В ВОДАХ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ РАЗНЫМИ МЕТОДАМИ

Кудрявцева Е.А.¹, Канапацкий Т.А.²

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: бактерии, продукция бактерий, численность, биомасса, тимидиновый метод, темновая ассимиляция углекислоты, Балтийское море.

Целью работы является сравнительная оценка величин продукции бактерий в водах Балтийского моря, полученной различными методами, такими как ¹⁴C-метод гетеротрофной ассимиляции карбонатов [1], метод измерения включения ³H-тимидина в ДНК бактерий [2] и прямой метод определения продукции бактерий, исходя из времени удвоения их общей биомассы [3]. Помимо методических аспектов анализа границ определения гетеротрофной продукции бактерий разными методами, актуальность такой работы также обусловлена эвтрофикацией Балтийского моря и глобальными изменениями климата, приводящими к усилению метаболических процессов и возрастанию роли «микробной петли» в океане [4, 5].

Синхронные определения продукции бактерий в эвфотическом слое в основных гидрографических регионах Балтийского моря радиоуглеродным и тимидиновым методами проводились в экспедиции НИС «Аранда» во второй половине июля 2010 г. - в период максимальной активности экосистемы. Гетеротрофная ассимиляция CO₂ и включение тимидина в биомассу бактерий измерялись в 10-мл сцинтилляционных флаконах (две параллельные пробы и одна контрольная, «убитая» формалином в конечной концентрации 0,4%) около 2 ч при температуре 17,4 °С. Синхронные определения времени удвоения общей биомассы бактерий прямым и радиоуглеродным методами проводились в береговой зоне юго-восточной части Балтийского моря в октябре 2009 г. - в период снижения интенсивности микробиологических процессов. Экспозиция проб с радиоактивной меткой осуществлялась в темных 310 мл склянках, помещенных в проточный инкубатор на палубе судна, в течение 3-6 ч. Для определения времени удвоения биомассы бактерий нефилтрованные и фильтрованные (через газ с размером ячеек 70 мкм) пробы экспонировались в 500 мл склянках в течение того же самого времени. Общая численность и общая биомасса бактерий определялась методом эпифлуоресцентной микроскопии [6].

Количественные оценки общей численности и общей биомассы бактерий, являющиеся результирующими величинами их скоростей размножения и выедания простейшими, в период проведения исследований соответствовали мезотрофно-эвтрофному уровню (общая численность 400-5000 тыс.кл./мл; общая биомасса 50-1000 мг/м³), характерному для Балтийского моря в последние десятилетия. Продукция бактерий по данным тимидинового метода летом 2010 г. изменялись в диапазоне 13-81 мгС м⁻³ сут⁻¹ (44±15 мгС м⁻³ сут⁻¹). Радиоуглеродный метод дал в 1,5-2 раза большие величины продукции бактерий, которые составляли 22-166 мгС м⁻³ сут⁻¹ (63±26 мгС м⁻³ сут⁻¹). Осенью 2009 г. скорость размножения бактерий по данным использованных методов была существенно ниже и составляла 2-19 мгС м⁻³ сут⁻¹ (9±7 мгС м⁻³ сут⁻¹). В отличие от усредненного коэффициента, применяемого в расчетах продукции бактерий по темновой ассимиляции CO₂, выбор трех пересчетных коэффициентов включения меченого нуклеозида в ДНК на продукцию бактерий оказывает существенное влияние на их численные значения. Прежде всего это относится к выбору величины объема клеток бактерий, которая в свою очередь варьируется в зависимости от метода микроскопии и используемых при обработке проб реактивов.

Представленные результаты свидетельствуют о том, что в летний период в мезотрофно-эвтрофных условиях в присутствии фитопланктона метод темновой ассимиляции CO₂ дает завышенные величины метаболической активности микроорганизмов по сравнению с результатами измерений

продукции бактерий, полученных тимидиновым методом. Осенью в завершающий период активной вегетации водорослей измеренные величины бактериальной продукции сопоставимы с данными тимидинового и лейцинового методов, приводимых в литературе по Балтийскому морю.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института океанологии им П.П.Ширшова РАН по темам № 0149-2019-0013 (экспедиционные работы) и № 0149-2019-0006 (математическая обработка данных), а также по теме государственного задания Института микробиологии им. С.Н.Виноградского ФИЦ Биотехнологии РАН (обработка проб для определения общей численности, биомассы и продукции бактерий) и при поддержке гранта РФФИ № 19-05-50090 (анализ данных).

Список литературы

- 1) Кузнецов С.И., Дубинина Г.А. Методы изучения водных микроорганизмов. М.: Наука, 1989.
- 2) Fuhrman J., Azam F. Thymidine incorporation as a measure of heterotrophic bacterioplankton production in marine surface waters: evaluation and field results // *Mar. Biol.* 1982. V. 66. 109–120.
- 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) HELCOM, 2014a. Eutrophication status of the Baltic Sea 2007-2011. A concise thematic assesment. *Balt. Sea Environ. Proc.* (143) 41.
- 5) Pomeroy L.R., Williams P.J.I., Azam F., Hobbie J.E. Microbial loop // *Oceanography.* 2007. V. 20. No. 2. P. 28–33.
- 6) *Methods in microbiology. Marine Microbiology.* Ed.: J.H.Paul. Academic Press, 2001. V. 30. 657 p.

ВИДОВОЙ СОСТАВ И ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИХТИОПЛАНКТОНА КАРСКОГО МОРЯ В ИЮЛЕ-АВГУСТЕ 2019 ГОДА

Кузьмичева Т.А., Мишин А.В., Большаков Д.В., Щеглова Я.В.

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

tatyana.kuzmichyova@mail.ru

Ключевые слова: иктиопланктон, Карское море.

Изучение экосистем и их возможных ответов на изменение окружающей среды необходимо для прогнозирования и объективной оценки последствий климатических изменений и антропогенного воздействия. Рост среднегодовой температуры в Арктике, приводящий к уменьшению площади ледового покрова и увеличение объема речного стока, несомненно, скажется на распределении сообществ растений и животных и, следовательно, на продуктивности экосистем региона. Иктиопланктон является неотъемлемой частью экосистемы Карского моря. Его видовой состав и структура многое говорят о пространственном распределении, сроках и местах нереста, обитающих в нем рыб. По литературным данным в бассейне Карского моря обитают 90 видов рыб [1, 2, 3], однако их ранние стадии развития изучены мало. По итогам немногочисленных предыдущих исследований иктиопланктона Карского моря [4, 5, 6] в общих чертах можно судить о его видовом составе и доминирующих видах, однако, применявшиеся методики сбора и обработки материала не позволяли перейти к количественной оценке численности личинок и мальков на единицу площади или объема. Целью данной работы является изучение видового состава и распределения иктиопланктона в Карском море в июле-августе 2019 года, а также оценка влияния абиотических факторов на развитие ранних стадий массовых видов рыб.

Личинки и мальки рыб, послужившие материалом для данной работы, были собраны на 42 станциях в ходе комплексного исследования Карского моря в период с июля по август 2019 года на НИС «Академик Мстислав Келдыш». Сбор проб выполнялся с помощью сети Бонго диаметром 60 см.

В пробах иктиопланктона обнаружены ранние стадии развития 11 видов рыб, относящихся к 5 семействам. По численности в уловах и биомассе доминировали личинки и мальки вида *Boreogadus saida* (Gadidae), его доля составляла 92%. Часто среди личинок и мальков в уловах встречалась молодь люмпенуса среднего (*Anisarchus medius*), наваги (*Eleginus nawaga*, Gadidae) и арктического шлемоносного бычка (*Gymnocanthus tricuspis*, Cottidae), доля каждого из этих трех видов в уловах составляла порядка 2%. Наибольшим числом видов были представлены семейства Liparidae и Cottidae, к данным семействам принадлежала половина обнаруженных видов. Максимальное видовое разнообразие иктиопланктона было отмечено условно между изобатами 25 и 50 м, в пробах, отобранных в северной и центральной части разреза, приближающегося к устью Оби. В пробах из этого района находилось от 5 до 8 видов одновременно, на остальной акватории, как правило, насчитывалось 2-3 вида в пробе.

В июле 2019 г. наблюдалась рекордно высокая за все время исследований в Карском море численность личинок сайки, в местах основных скоплений их концентрация составляла 35-77 экз/м². В пробах иктиопланктона присутствовали личинки сайки длиной от 4 до 23 мм, а их средняя длина колебалась от 7 до 17 мм в зависимости от времени проведения и местоположения станции. Такой разброс длины можно объяснить, как сильно растянутым по времени периодом вылупления, так и влиянием окружающей среды на развитие личинок, в первую очередь временем отступления льда.

Средняя длина молоди сайки на станциях в теплой «линзе» в предустьевом участке моря была значительно больше, чем средняя длина личинок сайки на станциях вне «линзы» в центральной части моря. Было выяснено, что, по-видимому, основным фактором, влияющим на скорость роста

молоди сайки в безледный период, является температура воды. Проведение повторных измерений на некоторых станциях позволило оценить изменения во времени численности и размерного состава личинок сайки, а также возможное влияние температуры и солености на их развитие. Повторные ловы на станциях «Обского» разреза, выполненные с интервалом около 3 суток, показали сдвиг размерных классов личинок на 2мм, что соответствует увеличению длины со скоростью около 0,7мм/сут. Наблюдения на станции в районе архипелага Новая Земля, выполненные в трех проворностях в течение месяца, показали, что численность личинок была относительно не высокой (около 1экз/м²) и практически не менялась. При этом во второй декаде июля не изменилась и средняя длина, как и в первой декаде она была около 10 мм. В третьей же декаде средняя длина личинок резко увеличилась до 18мм за 12 суток, т.е. скорость роста составила примерно 0,7мм/сут., как и на «Обском» разрезе. На соседней станции в районе Новой Земли личинки сайки в первый две декады июля практически отсутствовали и только в конце месяца было зафиксировано резкое увеличение их численности (до 11,3 экз./м²). Также зафиксировано увеличение температуры до 7°С и падение солености ниже 29 psu, что говорит о том, что станции достиг край «линзы» и увеличение численности личинок сайки является результатом их переноса поверхностным течением из района, расположенного между «Обским» разрезом и разрезом в центральной части акватории. Район, где наблюдалась максимальная численность личинок (77экз/м²) не может являться источником происхождения личинок на новоземельской станции т.к. не совпадают ни средняя длина личинок, ни температура и соленость в этих районах.

Грант РФФИ № 14-50-00095

Список литературы

- 1) Есипов В.К. Рыбы Карского моря // Изд-во АН СССР. 1952. 148 с.
- 2) Парин Н.В., Евсеенко С.А., Васильева Е.Д. Рыбы морей России: аннотированный каталог // М.: Товарищество научных изданий КМК. 2014. С. 733.
- 3) Dolgov A.V. Annotated list of fish-like vertebrates and fish of the Kara sea // Journal of Ichthyology. 2013. Vol. 53. № 11. P. 914–922.
- 4) Солдатов В.К. Материалы по ихтиофауне Карского и восточной части Баренцова морей по сборам экспедиции Института в 1921 г. // Тр. Плавморнина. 1923.
- 5) Пономарева Л.А. Икринки и мальки рыб из Карского моря. // Тр. ВНИРО. 1949. Т. 17.
- 6) Мишин А.В., Евсеенко С.А., Большаков Д.В, Большакова Я.Ю. Ихтиопланктон арктических морей России. 1. Сайка *Boreogadus saida*. // Вопр. ихтиологии. 2018. Т. 58. № 5. С. 577-583.

ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СООБЩЕСТВА НЕМАТОД В ОБСКОЙ ГУБЕ (КАРСКОЕ МОРЕ)

Лепихина П.П.¹, Портнова Д.А.², Мокиевский В.О.², Голиков А.В.¹

¹Казанский (Приволжский) Федеральный Университет, г. Казань

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

lepikhina_p@mail.ru

Ключевые слова: мейобентос, нематоды, пространственная структура, эстуарная фронтальная зона, Обская губа, Арктика.

К настоящему времени исследования бентоса Карского моря осуществляются в течение нескольких десятков лет, однако большинство работ посвящено открытым участкам моря, в то время как эстуарные районы крупных арктических рек изучаются гораздо реже. Работ, посвящённых экологии мейобентоса Карского моря, немного [2; 3; 4; 5]. Между тем, фронтальная зона на профиле река Обь - внутренний мелководный шельф Карского моря представляет особый интерес с точки зрения влияния происходящих в ней специфических гидрологических процессов на биологическое разнообразие мейофауны. Целью настоящей работы было исследование пространственного распределения сообщества свободноживущих нематод и установление связи с абиотическими факторами среды. В результате проведённого исследования получены сведения о количественном обилии, таксономическом составе, пространственной структуре и влиянии факторов (гранулометрический состав грунта, содержание органического углерода в осадке и др.) на распределение и разнообразие многоклеточного мейобентоса и нематод.

Материал для данного исследования был получен в Карском море в ходе рейса АМК 76 НИС «Академик Мстислав Келдыш» вдоль трансекты с юга на север в диапазоне солёности от 0 до 33 psu. Всего было изучено 6 мейобентосных станций на глубинах от 13 м до 37 м. В качестве орудия отбора был использован мультикорер. Для изучения количественных характеристик мейобентоса на каждой станции из двух трубок мультикорера было собрано по 4 колонки грунта площадью 3 см² на глубину 5 см от поверхности осадка. Фиксация материала проводилась забуференным на фильтрованной морской воде 4% формалином. Образцы грунта для анализа гранулометрического состава и содержания C_{орг} были собраны из тех же трубок мультикорера. На всех изученных станциях были сделаны измерения абиотических параметров - поверхностной и придонной солёности и придонной температуры воды. Для экстракции организмов из проб был применён метод центрифугирования в градиенте плотности водного коллоидного раствора силикатов (LEVASIL®) [1]. Мейофауна после фиксации пробы была окрашена красителем «Бенгальская роза», промыта на сите с ячейёй 40 мкм, подсчитана и рассортирована по таксонам. Из каждой пробы было отобрано по 100 нематод для идентификации.

Численность мейобентоса на исследуемой акватории Карского моря составила от 103 до 699 экз./10см² (в среднем, 399.6±95.4). Самая высокая плотность поселения отмечена на открытых участках мелководного шельфа Карского моря, в то время как самая низкая - в опреснённом участке залива. Всего в составе многоклеточного мейобентоса обнаружены представители 13 таксонов высокого ранга (Sponges, Turbellaria, Sipunculida, Olygochaeta, Polychaeta, Bivalvia, Nematoda, Kinorhyncha, Harpacticoida, Ostracoda, Isopoda, Amphipoda и Tanaidae). Доминирующей группой среди многоклеточного мейобентоса были Nematoda. Доля этого таксона составила от 43% до 90% от общей численности. Второй по обилию группой на четырёх изученных станциях явилась Harpacticoida, составив от 1.4% до 33.9%, на двух других станциях - Olygochaeta (6%) и Polychaeta (1.4%). Во всех исследованных точках сбора мейобентоса присутствовали Nematoda и Polychaeta. Представители отряда Harpacticoida отсутствовали на единственной станции, расположенной в зоне Обской губы с низкой солёностью. Остальные таксоны расположились мозаично: их можно

обнаружить как в опреснённых участках залива, так и на выходе из губы в открытое море. Редкие группы, встреченные единожды, - это Sponges, Sipunculida и Tanaidae. В целом, наблюдается общая тенденция к увеличению таксономического разнообразия с севера на юг, то есть по мере продвижения от Обской губы на прилегающий шельф Карского моря.

Всего было исследовано 476 особей нематод, принадлежащих к 50 родам и 23 семействам. Число родов на станцию варьировало от 11 до 27. Самое высокое разнообразие по родам отмечено в семействах Hyalidae (8 родов) и Cyatholaimidae (5 родов). В общем, абсолютное доминирование по численности составил род *Daptonema* (20.8%), субдоминантами явились рода *Sabatieria* (11%) и *Elzalia* (9.7%). Сравнение родового состава методом многомерного шкалирования с использованием в качестве меры сходства индекса Брея-Кертиса показало разделение таксоцено свободноживущих нематод на два кластера, соответствующих морским глубоководным и эстуарно-речным станциям. В основе разделения на комплексы лежит индекс доминирования, который показал близкие к нулю значения на глубоких морских станциях, свидетельствующие о явно выраженных родах доминантах - *Microloaimus* и *Molgolaimus*. Канонический анализ соответствий абиотических параметров (глубина, содержание $C_{орг}$, гранулометрический состав грунта) и родового состава нематод выделил три группы станций: (1) мелководная «речная» зона с илистым грунтом и высоким содержанием $C_{орг}$, (2) эстуарная зона с илистым грунтом, но меньшим содержанием $C_{орг}$ и (3) глубоководная «морская» зона с крупнозернистым песком и самым низким содержанием $C_{орг}$. Впервые в осадке Карского моря найдена половозрелая ледовая нематода *Cryonema* sp.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-05-00128.

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) Garlitska, L. A., Azovsky, A. I. Benthic harpacticoid copepods of the Yenisei Gulf and the adjacent shallow waters of the Kara Sea // Journal of Natural History, 2016. – V. 50 (47 – 48). – P. 2941 – 2959.
- 3) Portnova, D. A., Garlitska, L. A., Udalov, A. A., Kondar, D. V. Meiobenthos and nematode community in the Yenisei Bay and adjacent parts of the Kara Sea shelf // Oceanology, 2017. – V. 57 (1). – P. 1 – 15.
- 4) 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.
- 5) Udalov, A. A., Kondar, D. V., Miljutina, M. A., Miljutin, D. M., Sapojnikov, F. V., Mokievsky, V. O. Quantitative distribution of the meiobenthos in Baidaratskaya Bay (Kara Sea) // Oceanology, 2017. – V. 57. – P. 154 – 164.

О СТАБИЛЬНОСТИ СТРУКТУРЫ МАКРОБЕНТОСА В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ

Лисицына К.Н.¹, Филиппова Н.А.¹, Никишина Д.В.¹, Шунатова Н.Н.¹, Кийко О.А.²,
Герасимова А.В.¹, Максимович Н.В.¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

²ЗАО «Экопроект», г. Санкт-Петербург

Lisitsina_Ksenia_1997@mail.ru

Ключевые слова: структура донных сообществ, макробентос, Карское море.

Изучение донной биоты Карского моря насчитывает уже почти 100-летнюю историю [1,2,4,5]. Однако в 2012-2013 гг. проведены наиболее подробные (за весь период инструментальных наблюдений) гидробиологические исследования в юго-западной части Карского моря, материалы которых легли основу представляемого сообщения, посвященного анализу особенностей современного распределения макробентоса данного района.

Материал был собран на 119 станциях на глубинах от 4 до 415 м в августе-сентябре 2012-2013 годов. Сбор бентоса произведен дночерпателем Ван-Вина с площадью пробоотбора 0,1 м² в трехкратной повторности. В каждой пробе пойманные организмы определены в большинстве случаев до вида, оценены их численность и биомасса. Анализ абиотических характеристик станций включал результаты океанографического зондирования (определение в придонном слое воды температуры, солености, содержания растворенного кислорода и pH) и оценку гранулометрического состава грунта. Сравнение станций по абиотическим и биотическим показателям проведено с помощью многомерных методов: кластерный анализ, многомерное шкалирование (MDS), Anosim, Simper. В качестве меры сходства между описаниями выбран коэффициент Брэя-Кертиса. Предварительно некоторые таксоны были объединены в группы более высокого таксономического ранга (до рода, семейства, отряда и т.п.). Результаты классификации подвергнуты процедуре SIMPROF, позволяющей оценить уровень достоверности выявленных группировок. Соответственно анализировались только достоверно выделяемые кластеры. Для выявления абиотических характеристик, лучше всего объясняющих гетерогенность распределения макробентоса в анализируемом районе, была использована процедура BEST пакета Primer v. 6.

В пределах анализируемого полигона всего было обнаружено 428 таксонов донных беспозвоночных. Наибольшим разнообразием отличались полихеты, моллюски, ракообразные и мшанки. Средние показатели биомассы бентоса на станциях варьировали в пределах от 3 до 512 г/м², что вполне соответствовало данным из более ранних публикаций [4]. С помощью классификационных процедур в рассматриваемом районе выделено 17 сообществ макробентоса. Для многих из них количественные и качественные характеристики оказались близки литературным данным [3]. Однако распределение описанных нами надвидовых группировок отличалось большей мозаичностью, и не обнаружены некоторые сообщества, занимающие прежде обширные акватории (например, сообщество относительно мелких офиур *Ophiocten sericeum*).

Маловероятно, что причины последнего обусловлены серьезными перестройками в структуре бентоса изучаемого района. Скорее расхождения в итогах работ могли быть связаны с различиями в методах сбора и обработки материала. Тем более что и выявленные нами наиболее значимые абиотические факторы по отношению к гетерогенности распределения макробентоса (процедура BEST) - глубина, соленость, характеристики донных отложений - оказались такими же, что и в работах прежних исследователей [1,2,6]. По-видимому, можно признать, что состояние макробентоса изучаемого района в начале 21 века близко к долговременной норме.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-05-60157.

Список литературы

- 1) Антипова Т.В., Семенов В.Н. Состав и распределение бентоса юго-западных районов типично морских вод Карского моря // Экология и биоресурсы Карского моря. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 1989. С. 127–137.
- 2) Зенкевич Л.А. Биология морей СССР. М.: Наука, 1963. 739 с.
- 3) Карское море. Экологический Атлас. Москва: ООО «Арктический Научный Центр», 2016. 272 с. (Атласы морей Российской Арктики).
- 4) Kiyko O.A., Pogrebov V.B. Long-term benthic population changes (1920–1930s-present) in the Barents and Kara Seas // Marine Pollution Bulletin. 1997. 35. 7. 322-332.
- 5) Kulakov M.Y., Pogrebov V.B., Timofeyev S.F., Chernova N.V., Kiyko O.A. Ecosystem of the Barents and Kara Seas coastal segment // / Edited by . Vol. 14. Harvard University Press. Cambridge, MA, 2004. P. 1139-1176. // The Global Coastal Ocean. Interdisciplinary Regional Studies and Syntheses / Robinson, A.R., Brink, K.H., ed. Massachusetts: Harvard University Press, 2004. 14. 1139-1176. (The Sea: Ideas and Observations on Progress in the Study of the Seas.
- 6) Vedenin A.A., Galkin S.V., Kozlovskiy V.V. Macrobenthos of the Ob Bay and adjacent Kara Sea shelf // Polar Biology. 2015. Vol. 38. N 6. P.829-844.

ДОННЫЕ СООБЩЕСТВА НИЖНИХ ГРАНИЦ ОКСИФИЛЬНОЙ ЗОНЫ ЧЕРНОГО МОРЯ

Любимов И.В.¹, Колючкина Г.А.¹, Сёмин В.Л.², Чикина М.В.¹, Басин А.Б.¹,

Островский А.Г.¹

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

² *Южное отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова, г. Геленджик.*

sarvanes@gmail.com

Ключевые слова: зообентос, динамика экосистем, Черное море, гипоксия.

Черное море является уникальным меромиктическим водоемом, где на глубине 100-200 м присутствует постоянный пикноклин, ограничивающий смешение верхних распресненных вод с нижними более солеными аноксическими водами, зараженными сероводородом. Положение верхней границы оксифильной зоны изменяется во времени. Поскольку содержание кислорода - один из основных факторов, определяющих принципиальную возможность существования оксифильной жизни, мониторинг границ зоны гипоксии является актуальной задачей для прогноза состояния всей черноморской экосистемы, находящейся в последние 50 лет под интенсивным антропогенным прессом. В пограничной зоне (верхняя граница постоянного пикноклина - на глубинах 130-165 м) в современный период отмечаются ежегодные флуктуации содержания кислорода на побережье Крыма и северо-западном шельфе [4; 5]. Здесь в 2000-е гг. стали отмечаться признаки деградации: двукратное снижение биомассы и средних размеров основного доминанта - *Modiolula phaseolina* [4]. Однако, если северо-западному шельфу, побережью Крыма и Прибосфорскому району посвящен ряд комплексных исследований [4], позволяющий оценить перспективы развития этих процессов, то северо-восточный шельф, считающийся более стабильной зоной, исследованиями затронут в значительно меньшей степени. Поэтому целью настоящей работы стала оценка современного состояния и ретроспективный анализ структуры донных сообществ глубин 80-200 м северо-восточного побережья Черного моря.

Данные по современному состоянию макрзообентоса нижней границы оксифильной зоны были получены в 2019 г. в районе Голубой бухты и мыса М. Утриш. Пробоотбор осуществлялся дночерпателем «Океан-01» с площадью раскрытия 0.1 м². Промывку проб проводили на палубе через сито с диаметром ячеек 0.5 мм. Пробы фиксировали 4% раствором формальдегида в морской воде. Все количественные данные пересчитаны на м². Статистическую обработку проводили постановочно в программе Primer v.6.1, Statistica 12.5. Кроме того, для анализа динамики сообществ были привлечены данные ИО РАН 2002 г. (Бугазская коса и пос. Шепси) и исторические данные сборов 1958-1968 гг. (глубины 100-150 м) по всему побережью [2], 1968, 1986 и 1989 гг. (80-100 м) по району Туапсе-Шепси [1], а также усредненные для глубин 130-160 м для всего побережья данные 1923-1929 гг. [3]. Граница макрзообентоса в 2019 г. проходила на глубине 130-160 м. По данным Никитина [3] и Киселевой [2] в начале и середине XX века граница проходила на глубине 150-160 м, глубже отмечались лишь случайные находки отдельных видов (в том числе и мелководных).

В 2019 г. видовое богатство было наибольшим на глубинах 80-100 м и превышало в 1,2-2 раза видовое богатство на сходных глубинах в 1968-1989 и 2002 гг. Также как и в историческое время, в 2019 г. число видов снижалось с глубиной: от 19-24 на 80 м до 1 на 145 м. Численность бентоса в 2019 г. была выше, чем в предыдущие периоды в 2-5 раз. Она достигала максимальных значений на глубинах 100-115 м и снижалась с глубиной от 4876,6 экз/м² до 200 экз/м².

Видовой состав сообществ по данным XX и XXI вв. достоверно отличался (PERMANOVA Pseudo-F=3,7509 при p=0,004), при этом влияние глубины было недостоверным (p=0,123). Однако по соотношению основных доминирующих видов достоверность различий между периодами наблюдения оказывалась недостоверной (PERMANOVA Pseudo-F=2,895 при p=0,034), но возрастала достоверность различий сообществ в зависимости от глубины исследования (PERMANOVA

Pseudo-F=2,4739 при $p=0,002$). Таким образом, разница в структуре сообществ между периодами наблюдения достигалась за счет преимущественно редких видов. Основными видами, определяющими сходства и различия на станциях были основные доминанты сообществ: *Modiolula phaseolina*, *Terebellides cf. stroemi*, *Melinna aff. palmata*, *Oligochaeta* spp. В XX веке большая часть сообществ отличалась высокой численностью *M. phaseolina* и *T. cf. stroemi* (60% сходства станций по соотношению численностей видов макрозообентоса), в XXI в. лидирующие позиции занимала *M. palmata* и *M. phaseolina* (74% сходства станций).. *M. phaseolina*, *T. cf. stroemi*, *M. aff. palmata*, как по современным, так и по историческим данным, присутствовали на глубинах 80-120 м, а сообщество *Oligochaeta* spp. было отмечено только в 2019 г. на станциях 130-145 м. По историческим данным на этих глубинах обитает до 6 [3]-20 [2] видов беспозвоночных. Однако оценка числа видов на этих глубинах в историческое время затруднена отсутствием поглубинных данных, а встречаемость видов на глубинах более 150 м не превышала 25% [2]. Поэтому невозможно однозначно утверждать, что граница макрозообентоса сдвинулась на меньшие глубины, поскольку на глубинах 120- 160 м в XX в. все отмеченные там виды относились к редким.

По нашим данным достоверной отрицательной динамики биоразнообразия зоны границы оксифильного бентоса в XX-XXI в. отмечено не было.

Работа выполнена при поддержке РФФИ и Министерства образования Краснодарского края в рамках научного проекта № 19-45-230012.

Список литературы

- 1) Киселева М.И. Сравнительная характеристика донных сообществ у побережья Кавказа // Многолетние изменения зообентоса в Черном море. – 1992. – С. 84-99.
- 2) Киселева М.И. Распределение бентоса в нижней зоне шельфа у побережий Крыма и Кавказа. – 1985 – С. 2-17
- 3) Никитин В.Н. Границы вертикального распределения организмов в Черном море // Сб. памяти Шокальского. – 1950.
- 4) Friedrich J., Janssen F., Aleynik D. et al. Investigating hypoxia in aquatic environments: diverse approaches to addressing a complex phenomenon // Biogeosciences Discussions. – 2013. – Vol. 10. – P. 12655-12772.
- 5) Luth U. et al. The chemocline rise effect on the northwestern slope of the Black Sea // Methane Gas Seep Explorations in the Black Sea (MEGASEEBS), Project Report. Ber. Zentrum Meeres-u. Klimaforsch., edited by: Luth U., Luth C., Thiel H., Univ. Hamburg, Reihe E. – 1998. – Vol. 14. – P. 59-77.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ САЙКИ (*BOREOGADUS SAIDA*) В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧУКОТСКОГО МОРЯ В АВГУСТЕ-СЕНТЯБРЕ 2017 Г.

Мазникова О.А., Емелин П.О., Григоров И.В.

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, г. Москва

maznikovao@vniro.ru

Ключевые слова: сайка, *Boreogadus saida*, Чукотское море, численность, биомасса, пространственное распределение.

В рамках американской программы Арктического комплексного исследования экосистем (The Arctic Integrated Ecosystem Survey, Arctic IES) учеными США (AFSC NOAA - Аляскинский рыбохозяйственный научный центр при Национальном управлении океанических и атмосферных исследований) и России (ФГБНУ «ВНИРО») в 2017 г. была выполнена экспедиция в восточную часть Чукотского моря (ИЭЗ США), основной задачей которой стала оценка изменения климато-океанологических условий и влияния этих процессов на водные биологические ресурсы (ВБР).

Одним из ключевых объектов исследований в рамках экспедиции была сайка (*Boreogadus saida*). Данный вид ВБР чувствителен к изменениям климата и является индикатором состояния экосистем бассейна Северного Ледовитого океана.

В настоящее время потепление климата сопровождается отступлением полярного фронта и сокращением площади ледовых полей, что приводит смещению границ распространения сайки в северном направлении и, как следствие, сокращению численности исследуемого вида и перестройкам в экосистеме региона.

Материалы для настоящей работы собраны в ходе экспедиции на НИС «Ocean Starr» (США) в восточной части Чукотского моря в период с 29.08 по 27.09. 2017 г. Район исследований был условно разделен на два полигона. Граница северного полигона проходила по 72°30' с.ш., южного - по 69°30' с.ш. Диапазон глубин - 16-301 м. Работы выполнены двумя типами тралов - разноглубинным (модифицированный трал Мариновича) и донным бим-тралом. Всего выполнено 87 тралений и 5162 массовых промера сайки. Подробная методика оценки параметров обилия и осреднения данных для анализа пространственного распределения приведена в работах Волвенко [1,2].

На исследуемой акватории сайка была представлена преимущественно неполовозрелой молодью - $4,5 \pm 0,03$ см при вариациях длин (FL) 1-23 см. Плотность распределения рыб была неравномерной.

Так в пелагиали в зоне влияния прибрежной аляскинской водной массы выделялось два участка повышенной концентрации особей. Первый был приурочен к юго-западному сектору (550-5651 кг/км²), второй - к северо-западному сектору (252-2752 кг/км²). По мере продвижения на северо-восток и увеличения влияния более холодных арктических вод происходило снижение плотности скоплений до 33-35 кг/км². В придонных слоях скопления сайки были разреженными. При этом участки наиболее плотных концентраций также выделялись в юго-западном (4-301 кг/км²) и северо-западном (6-518 кг/км²) секторах.

Учетные численность и биомасса сайки в придонном слое составили 6,2 млрд экз. и 11,1 тыс. тонн, в пелагиали - 89,2 млрд экз. и 63,8 тыс. тонн соответственно.

Полученные данные хорошо согласуются с материалами, полученными ранее. По данным Eisner et al. (2012) схожая картина наблюдалась в 2007 г., когда молодь дальневосточной наваги *Eleginus gracilis* и сайки была наиболее многочисленна в водах аляскинской прибрежной водной массы. Приуроченность скоплений сайки к тихоокеанским водным массам связана с поиском рыбами сочетания оптимальных температурных и кормовых условий для нагула.

работа выполнена в рамках двусторонних межправительственных договоренностей в рамках МКК (Межправительственного Консультативного Комитета по рыбному хозяйству) между РФ и

США.

Список литературы

- 1) Volvenko I.V. GIS and Atlas of Salmons spatial-temporal distribution in the Okhotsk Sea // NPAFC Doc. 2003. Vol. 729.
- 2) Volvenko I.V. Dataware support of comprehensive studies of Northwestern Pacific aquatic biological resources. Part 3. GIS, atlases // Reference Books, Further Prospects of the Concept. Trudy VNIRO. 2015. Vol. 157. P 100-126.

ФИТОПЛАНКТОН РОССИЙСКИХ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКЕ В АВГУСТЕ 2018 Г. В ПЕРИОД ЛЕТНЕГО ЦИАНОБАКТЕРИАЛЬНОГО ЦВЕТЕНИЯ

Мельник А.С.^{1,2}, Ланге Е.К.¹, Ежова Е.Е.¹

¹Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, г. Москва

²Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград

AnastassizaHabar@rambler.ru

Ключевые слова: фитопланктон, Балтийское море, потенциально-токсичные виды цианобактерий, цианобактерии, цветение.

В летний период 2018, как и в другие годы, было отмечено обширное по площади цианобактериальное цветение в Центральной Балтике. Об этом свидетельствуют данные спутников Aqua-MODIS и Landsat 8-OLI [1]. Информативные для открытой части моря, эти данные не отражают полной картины цветения прибрежной зоны, и в частности - для территориальных вод РФ в Южной Балтике вследствие облачности. Поскольку мелководные районы Калининградского взморья - наиболее важный район в плане рекреационного и туристического использования, а также является нерестовой и нагульной зоной для многих объектов коммерческого рыболовства, вопрос о проявлениях цианобактериального цветения (иногда токсичного) и его интенсивности приобретает особую актуальность.

Пробы отбирали на судне АОИОРАН "Норд-3" в середине августа 2018 г., в прибрежной зоне северного и западного побережья Самбийского п-ва, между пп. Пионерский и Балтийск, на 9 равномерно расположенных станциях. Пробоотбор выполнен на глубинах 9-32 м. Гидрометеорологические условия характеризовались ветровым волнением слабой силы, местами - полного штиля. Прозрачность воды по диску Секки была довольно низкой и варьировала от 1.5 м до 5.5 м. По данным визуальных наблюдений, цианобактериальное цветение на мелководных (до 18 м) участках проявлялось обширными пятнами с явно различимыми конгломератами микроводорослей, в отличие от более глубоководных (19-30м) участков где поверхностных скоплений фитопланктона не обнаружено.

Фитопланктон северного и западного побережья Самбийского полуострова, характеризуется большим видовым разнообразием - 164. Наибольшим видовым разнообразием характеризовался район вблизи г. Балтийск (ст.1) - 73 вида, наименьшим - район банки Бакалинская (ст. 3) - 4 вида. Основной вклад в биоразнообразие фитопланктона внесли следующие отделы: Cyanobacteria (35 видов), Cryptophyta (19 видов), Miozoa (24 видов), Bacillariophyta (28 видов).

Западное побережье Самбийского полуострова характеризовалось большей продуктивностью фитопланктона, при средних значениях численности 254,4 тыс. кл/л и биомассы 0,587 мг/л. Северное побережье было менее продуктивным - средняя численность составила 96,2 тыс кл/л, биомасса - 0,113 мг/л.

По численности доминировали следующие отделы микроводорослей: на северном побережье Cyanobacteria - 15,0%, Cryptophyta 26,7% до 65,5%, Chlorophyta от 22,2% до 24,2%, Miozoa - 24,8%, Bacillariophyta от 20,83% до 25%; на западной побережье: Cyanobacteria - от 25,8% до 86,8%, Chlorophyta от 15,22% до 23,14%, Cryptophyta от 13,16% до 71,20%, Miozoa 23,91% до 33,87%, Bacillariophyta - 10,87%. По биомассе на северном побережье Самбийского п-ва доминировали следующие отделы микроводорослей: Miozoa от 20,33% до 60,85% и Bacillariophyta от 31,15% до 76,77%; на западном побережье доминантными были отделы: Cyanobacteria от 27,6% до 99,9%, Cryptophyta - 13,2%, Miozoa 22,3% до 48,7%, Bacillariophyta 14,9%.

Cyanobacteria доминировали по биомассе на всех станциях западного побережья (0,144-1,188 мг/л). Всего отмечено 7 потенциально токсичных видов. Среди них заметный вклад вносили виды рода Dolichospermum, 4 вида которого относятся к потенциально-токсичным: Dolichospermum

affine, обнаруженный на 4 станциях западного побережья, являлся доминантным, доля в суммарной численности фитопланктона варьировала от 16,06% до 55,26%, доля в биомассе - от 38% до 98,1%. *Dolichospermum flosaquae* также доминировал, доля численности 11,84% и биомассы 21,8%. *Dolichospermum circinale* доминировал, в районе банки Бакалинская доля численности - 19,7%. *Dolichospermum compactum*, был обнаружен на двух станциях в районе п. Береговое и г. Балтийск. Его доля в численности и биомассе не превышали 1,5% от суммарной. *Aphanizomenon flosaquae* был обнаружен в районе г. Балтийска, п. Береговое и п. Янтарный, доля в численности и биомассе не превышали 1,5%, в районе п. Отрадное - несколько больше 2,5% доля численности, 2,4% - доля от суммарной биомассы. *Snowella lacustris* обнаружена на западном побережье доля в численности составила 8%, биомассы - 0,83%, на северном побережье 1,38% и 0,27% соответственно. *Woronichinia naegeliana* обнаружена на западном побережье - доля в численности - 0,29%, биомассы - 0,02%.

Наибольшей продуктивностью отличались станции в мелководной зоне до изобаты 16 м (сред. - 0,84 мг/л макс. - 1,45 мг/л). Наименьшей продуктивностью отличались глубоководные станции расположенные на изобатах выше 16м. (сред. - 0,1125 мг/л., макс.- 0,1412 мг/л). Предположительно, массовое развитие фитопланктона на мелководных участках прибрежной зоны на уровне цветения связано с более быстрым прогревом вод и дополнительным снабжением прибрежного биогенных элементов, поступающих с коммунально-бытовыми стоками, а также с незаконной добычей янтаря вблизи п. Янтарный. Высокие значения продуктивности вблизи г. Балтийска, можно объяснить выходом более прогретых, обогащенных биогенными элементами вод Вислинского залива и распространение их в северном направлении. Т.о, мы предполагаем, что развитие цветения цианобактерий в прибрежном мелководье имеет локальный характер и не связано с цветением, отмеченным в этот период в глубоководных районах Балтики

Коллектив авторов благодарит за помощь отдел планктона ФИЦИНБЮМ, в частности Муханова В. С и Смирнову Л.В., в оказании консультационных услуг при определении таксономического состава фитопланктона Балтийского моря, в рамках программы повышения конкурентоспособности БФУ им. И. Канта (5-100).

Работа выполнена в рамках темы государственного задания АО ИО РАН № 0149-2018-0012 «Морские природные системы Балтийского моря и Атлантического океана: формирование природных комплексов Балтийского моря и их изменение под влиянием Атлантического океана и антропогенного воздействия»

Список литературы

- 1) Summer Blooms in the Baltic and Barents [Электронный ресурс]. 2018. Дата обновления 20.07.2018. URL:<https://earthobservatory.nasa.gov/images/92462/summer-blooms-in-the-baltic-and-barents>(дата обращения 18.01.2019)

МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СЕРДЦЕВИДКИ СЪЕДОБНОЙ *CERASTODERMA EDULE* (LINNAEUS, 1758) В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ АРЕАЛА

Назарова С.А.¹, Овчаренко Е.А.², Генельт-Яновский Е.А.¹

¹ Зоологический институт РАН, г. Санкт-Петербург

² Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, г. Санкт-Петербург

sophia.nazarova@gmail.com

Ключевые слова: двустворчатые моллюски, *Bivalvia*, сердцевидка съедобная, *Cerastoderma edule*, линейный рост, морфометрия, Баренцево море, Норвежское море, край ареала.

Сердцевидка съедобная (*Cerastoderma edule*) — вид литоральных двустворчатых моллюсков из семейства кардиид (Cardiidae). Ее ареал простирается от побережья Марокко в Северной Африке до Мурманского побережья Баренцева моря. В данной работе мы исследовали географическую изменчивость формы раковины и скорости роста *C. edule*. К настоящему моменту накоплен значительный материал о росте сердцевидки из популяций Ирландского [1,2] и Северного морей [3,4], а также из популяций северо-восточной границы ареала вида - Баренцева моря [5]. Используя накопленный материал по росту *C. edule* из локальных популяций Норвежского моря и неизученных ранее районов Баренцева моря, мы проверяем гипотезу о том, что изменчивость скорости роста литоральных моллюсков, а также изменчивость основных морфологических индексов, описывающих форму раковины могут градиентно изменяться вдоль градиента от 53 до 70 градуса северной широты.

Материал был собран в период 2008 - 2015 гг. на литорали Норвежского, Северного, Баренцева, Ирландского морей и пролива Скагеррак. Всего было исследовано 17 поселений. У каждого моллюска измеряли длину (L), высоту (H) и толщину (W) раковины. Для описания формы раковины использовали стандартные индексы: H/L, W/L и W/H. Для оценки асимметричности раковины измеряли размер раковины по биссектрисе вершины (B) и рассчитывали индекс B/H. Также измеряли длину меток зимней остановки роста. Рост аппроксимировали уравнением Берталанфи. Сравнительный анализ кривых роста произведен с учетом разброса эмпирических данных относительно регрессионной модели [6].

Проведённое сравнение формы раковины *C. edule* с помощью ординации методом непараметрического многомерного шкалирования (nMDS) показало значительное сходство между изученными поселениями, поскольку облака точек, описывающие раковины сердцевидок из разных морей, перекрывались в центральной части. Несмотря на значительное сходство общего массива данных, групповые отличия формы раковин статистически достоверны (ANOSIM: $R = 0,22$, $p = 0,001$). В наибольшей степени между собой отличались моллюски из выборок Ирландского и Норвежского морей, а также с побережья Восточного Мурмана Баренцева моря. Сердцевидки из Северного моря похожи по форме на особей из Ирландского моря. Форма раковины у моллюсков с Западного Мурмана (Баренцево море) промежуточная относительно особей с Восточного Мурмана и из Норвежского моря.

По асимметричности раковины поселения отличались достоверно (критерий Краскела-Уоллиса: $\chi^2 = 148,36$, $p\text{-value} < 0,05$). Более симметричными были ракушки с побережья Восточного Мурмана (Баренцево море) ($B/H = 1,023 \pm 0,0001$). Наиболее асимметричные раковины были в поселениях в районе Бергена (Северное море, $B/H = 1,078 \pm 0,0012$), Олесунна ($B/H = 1,067 \pm 0,0013$) и Несны ($B/H = 1,071 \pm 0,00083$) (Норвежское море).

Была показана аллометрия роста раковины: мелкие особи более округлые по форме, а крупные — более вытянутые (корреляция Спирмена между L и H/L: $r_s = -0,33$, $p < 0,005$). Вздутость раковины не зависит от размера раковины (корреляция Спирмена между L и W/L: $r_s = 0,13$, $p = 0,0055$), поэтому мы использовали индекс W/L как меру вздутости раковины и проводили сравнение для всего объема выборки. От Ирландского моря до побережья Восточного Мурмана

раковины сердцевидки становятся более уплощенными в северо-восточных акваториях (критерий Краскела-Уоллеса: $\chi^2 = 166,81$, $p - value < 0,05$). Сердцевидки из пролива Скагеррак обладали более уплощенной раковиной, чем в соседних акваториях.

Для сравнения роста использовали наиболее быстрорастущих особей *C.edule*. Было выделено 8 групп, достоверно отличающихся по характеру роста. Значительных отличий скорости роста между моллюсками из поселений вдоль изученного широтного градиента выявлено не было.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке проектов АААА-А19-119020690072-9 и РФФИ 18-05-60157.

Список литературы

- 1) Seed R., Brown R.A. Growth as a strategy for survival in two marine bivalves, *Cerastoderma edule* and *Modiolus modiolus* // The Journal of Animal Ecology №47(1) 1978. P. 283–292.
- 2) Richardson C.A. et al. The use of tidal growth bands in the shell of *Cerastoderma edule* to measure seasonal growth rates under cool temperate and sub-arctic conditions // Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. № 4 (60). 1980. P. 977–989.
- 3) Jensen K.T. Density-dependent growth in cockles (*Cerastoderma edule*): evidence from interannual comparisons // Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. № 02 (73). 1993. P. 333–342.
- 4) Beukema J.J. et al. Long-term changes in annual growth of bivalves in the Wadden Sea: influences of temperature, food, and abundance // Marine Ecology Progress Series № 573. 2017. P. 143–156.
- 5) Genelt-Yanovskiy E. et al. Population structure and growth rates at biogeographic extremes: A case study of the common cockle, *Cerastoderma edule* (L.) in the Barents Sea // Marine pollution bulletin № 4 (61). 2010. P. 247–253.
- 6) Максимович Н.В. Статистическое сравнение кривых роста // Вестник Ленинградского университета. Т. 4. 1989. С. 18–25.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МОРФОЛОГИИ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ

Овчинникова А.И.

*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург
nastiaovch@gmail.com*

Ключевые слова: диатомовые водоросли, бионика, архитектура, инженерия, нанотехнологии.

Одним из природных источников вдохновения для инженерных целей могут служить микроскопические одноклеточные диатомовые водоросли, которые строят своеобразный «панцирь» - защитную кремниевую оболочку (англ. frustule). У диатомей и инженеров схожие задачи - построить наиболее прочную и лёгкую конструкцию с минимальными затратами: у диатомей есть ограничения по количеству растворённого в воде кремния, также конструкция должна быть лёгкой и иметь поры, чтобы пропускать питательные вещества и свет; у инженеров существует экономическое ограничение в количестве материала. Конструкции и рисунок панцирей диатомей поражает своим разнообразием и вызывают живейший интерес не только у архитекторов и инженеров, но и у ученых-нанотехнологов. Широкий спектр применения диатомей в нанотехнологиях включает новые адсорбенты и композитные материалы, оптические биосенсоры, целевую доставку лекарств в организм, батареи, солнечные элементы и многое другое. Цель работы - рассмотреть технические применения морфологии диатомовых водорослей и оценить перспективы бионического метода, основанного на диатомеях.

Диатомеи приобрели свой прочный панцирь в процессе «эволюционной гонки вооружений»: наиболее важные и крупные естественные враги диатомовых водорослей - копеподы и эвфаузииды - имеют соответственно мандибулы и желудки, выстланные рядами острых «зубов», для измельчения панцирей диатомей [1]. Однако панцири диатомей настолько прочны, что их могут сломать только крупные ракообразные. Прочность достигается не только за счёт конструкции, но за счёт самого материала - биокремнезёма, состоящего из неорганических наночастиц, связанных с органической матрицей пептидов [2]. Исследование прочностных свойств скелета диатомей [1] показало, что они могут выдерживать давление 1-7 Н / мм² (эквивалентно 100 -700 т / м²), причем нагрузка перераспределяется из хрупких областей с порами (лат. *ageolae*) в область рёбер (лат. *costae*). Ещё один способ противостоять хищникам - объединиться в колонии. Соединительные структуры (зубы, когти, хитиновые волокна, щетинки, шаровой механизм и др.) между соседними клапанами сестринских клеток в цепи настолько прочны, что их невозможно разъединить, не нарушив структуру.

Многочисленные приспособления, разработанные диатомовыми водорослями для выживания в природе, могут использоваться в человеческой деятельности. Наиболее очевидные области применения - архитектурные сооружения и инженерия. Морфология диатомовых водорослей вдохновила на создание новой легкой тентовой архитектуры, например, теплицы Climatron, заключенной в геодезический купол (часть Ботанического сада Миссури в Сент-Луисе, США; 1960) и самого большого и высокотехнологичного ботанического сада в мире «Эдем» (Корнуолл, Великобритания; 2000). Идеи для соединительных конструкций между строительными элементами также могут быть взяты из морфологии диатомовых колоний: например, массивные несущие конструкции, соединяющие столбы с каркасом крыши, напоминают те, которые наблюдаются у сестринских клеток *Skeletonema japonicum* [1]. Разработаны методы генеративного дизайна (англ. *generative engineering*), например ELISE (Evolutionary Light Structure Engineering) [3], где с помощью специальных алгоритмов трёхмерные модели диатомовых панцирей преобразуют в новые технические решения для легких конструкций, таких как вспомогательная точка стабилизации самолёта Airbus A320s, усиление передней стойки автомобиля Volkswagen или самый легкий в мире алюминиевый складной велосипед Bionic Bike. Наиболее впечатляющим является использование диатомовых

панцирей в нанотехнологиях. Недавно была показана возможность их использования для адресной доставки лекарств [4]: водоросль *Thalassiosira pseudonana* устроена таким образом, что на ее поверхность можно прикреплять антитела, направленные на уничтожение раковых клеток. Другая идея ученых в области нанотехнологий заключается в изменении морфологии скелетов диатомовых водорослей путем введения некоторых растворимых солей в искусственную среду обитания водорослей [5]. Таким образом, станет возможным контролировать биосинтез и создавать определённые кремнезёмистые структуры, необходимые для техники! Стоит отметить применение диатомей в области солнечных энергетических конструкций: встраивание панцирей в солнечный элемент DSSC (Сенсибилизированные красителем солнечные батареи - Ячейки Гретцеля) может утроить эффективность улавливания света [6].

Будущие перспективы развития бионического метода на основе диатомовых водорослей связаны не только с биологическими исследованиями, но и с исследованиями в других областях - архитектуре, технике, информатике, медицине, химии и физике. Существуют некоторые ограничения применения метода, которые необходимо преодолеть. Так, диатомовые водоросли используют градиентный материал, который точно адаптирован к требованиям внутренних и внешних нагрузок на месте, в то время как инженерам приходится работать со стандартизированными материалами. Для новых генеративных методов проектирования, в которых используются параметрические компьютерные алгоритмы, существуют механические ограничения компьютеров. «Солнечные диатомовые технологии» должны быть испытаны на отдельных дистрибьюторах солнечных панелей; аналогичное тестирование необходимо для адресной доставки лекарств на основе диатомовых водорослей. Наконец, несмотря на прикладное значение диатомовых водорослей, фундаментальные исследования остаются актуальными: биологи все еще далеки от полного понимания генетических и клеточных процессов, которые лежат в основе морфогенеза кремниевой оболочки диатомей; без этого понимания будет невозможно создавать кремнистые структуры «на заказ» - с характеристиками, необходимыми для техники.

Список литературы

- 1) Hamm, C.E., Merkel, R., Springer, O. et. al. Architecture and material properties of diatom shells provide effective mechanical protection // *Nature*. 2003. Vol. 421(6925). P. 841–843.
- 2) Kooistra, W.H.C.F., Pohl, G. Diatom Frustule Morphology and its Biomimetic Applications in Architecture and Industrial Design // *Evolution of Lightweight Structures* (ed. Hamm, C.). Springer, Dordrecht, 2015. P. 75-102
- 3) Официальный сайт проекта ELiSE (Evolutionary Light Structure Engineering) : <https://www.elise.de/about/> (дата посещения: 30.12.2019)
- 4) Delalat, B., Sheppard, V.C., Rasi Ghaemi, S. et. al. Targeted drug delivery using genetically engineered diatom biosilica // *Nature Communications*. 2015. Vol. 6(8791)
- 5) Bedoshvili, Y., Gneusheva, K., Popova, M. et. al. Anomalies in the valve morphogenesis of the centric diatom alga *Aulacoseira islandica* caused by microtubule inhibitors // *Biology Open*. 2008. Vol. 7(8)
- 6) Vinayak, V., Joshi, K.B., Gordon, R. et. al. Nanoengineering of diatom surfaces for emerging applications // *Diatom Nanotechnology: Progress and Emerging Applications* (ed. Losic, D.). Cambridge: Royal Society of Chemistry. 2018. P. 55–78

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ (SDM) ГОЛОЖАБЕРНЫХ МОЛЛЮСКОВ (*NUDIBRANCHIA*) БЕЛОГО МОРЯ

Орлов М.А., Шелудков А.В., Екимова И.А.

Институт биофизики клетки РАН - обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ «Пушкинский научный центр биологических исследований РАН», г. Пущино

orlovmikhailanat@gmail.com

Ключевые слова: экологическое моделирование, SDM, пространственное моделирование видов, Nudibranchia.

Моделирование пространственного распространения видов (Species Distribution Models, SDM) пользуется возрастающим интересом ученых на протяжении последних 20 лет. SDM нашло применение в работах ботаников, зоологов, биологов-эволюционистов, экологов и специалистов по охране окружающей среды. Большая часть соответствующих исследований посвящена наземным местообитаниям и лишь небольшое количество - морским акваториям. При этом для морских SDM характерно значительное смещение по областям исследования (главным образом - умеренный пояс Атлантического океана, а также умеренная Пацифика), а также крупным таксонам-объектам исследования (по большей части это морские рыбы, млекопитающие, птицы и коралловые полипы) [1]. В этой связи мы сочли актуальным использовать SDM для моделирования условий и ареалов обитания богатой биоты бореальных и Арктических морей, в частности, планктонных крылоногих моллюсков (Gastropoda: Heterobranchia: Pteropoda) Белого моря.

Белое море характеризуется высоким биологическим разнообразием по сравнению с другими морями Арктического региона. Кроме того, для него характерна высокая гетерогенность абиотических и биотических условий в различных частях бассейна (соленость, доминирующие грунты, состав сообществ, концентрация хлорофилла и др.). Моделируемые виды - *Clione limacina* и *Limacina helicina* - относятся к близким отрядам Gymnosomata и Thecosomata соответственно и тесно связаны трофическими связями: *L. helicina* является основной кормовой базой *C. limacina*.

При построении моделей использованы свободная программная среда R и специализированные библиотеки ("sdm", "sdmpredictors", "dismo") [2]. Данные о фактических местах нахождения взяты из базы данных GBIF [3], в которой доступно свыше 300 точек для каждого вида. Примечательно, что это по большей части образцы музейных коллекций, что определяет высокую достоверность данных и возможность дальнейшего изучения первичных источников. Исходный набор переменных-предикторов получен из баз данных MARSPEC [4] и Bio-oracle [5]. В него вошли свыше 300 переменных, которые описывают физико-географические условия данных местообитаний (глубина, экспозиция склонов дна, расстояние до берега, скорость течения, толщина льда и т.д.), свойства морской воды, существенные для биоты (концентрации биогенных элементов и других минералов, растворенного кислорода), и ее собственные параметры (первичная продукция, концентрация хлорофилла, углерода и т.д.).

Их исходного набора на основе данных о географии данной акватории, биологии моделируемых видов, а также эксплораторного анализа отобраны 29 наиболее информативных переменных. Полученный набор предикторов использован для обучения классификационных моделей на основе алгоритма Random Forest. Для каждого из двух видов построено десять моделей; для подтверждения их высокого качества использовались площади под ROC-кривыми. Далее отобрано по одной модели с максимальной площадью под кривой, которые в дальнейшем использованы для предсказания ареалов, а также оценки вкладов переменных в работу классификаторов.

Полученные предсказанные ареалы в целом схожи и характеризуются разорванностью в центральной части Белого моря. При этом для *C. limacina*, но не *L. helicina* характерно присутствие в области Соловецких островов. Вклад переменных в работу классификаторов говорит о важности

для *S. limacina* - концентрации хлорофилла А, рН, среднегодового разброса солености на поверхности, концентрации кальция. В случае *L. helicina* решающее значение имеют концентрации нитрата, растворенного кислорода, солености, минимальная глубина, а также количество льда. Мы полагаем, что переменные, которые вносят максимальный вклад в работу классификаторов, обозначают факторы окружающей среды, определяющие экологическую нишу исследованных видов и, как следствие, их географическое распространение. Это открывает возможность прогнозировать состояние популяций и ареалы их обитания при изменении условий окружающей среды, в частности, на основе прогнозов об изменении климата.

Список литературы

- 1) Robinson N.M., Nelson W.A., Costello M.J., Sutherland J.E., Lundquist C.J. // *Frontiers in Marine Science*. – 2017. – Vol. 4. – P. 421.
- 2) <https://www.r-project.org/>
- 3) <https://www.gbif.org/>
- 4) Sbrocco E.J., Barber P.H. MARSPEC: ocean climate layers for marine spatial ecology: *Ecological Archives E094-086* // *Ecology*. – 2013. – Vol. 94. – №. 4. – P. 979-979.
- 5) <http://www.bio-oracle.org/>

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНО ТОКСИЧНЫХ ВИДОВ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА В РАЙОНЕ ВАЛААМСКОГО АРХИПЕЛАГА

Панова Н.В.¹, Воякина Е.Ю.^{1,2}

¹Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург

²Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН, г. Санкт-Петербург
panova93@gmail.com

Ключевые слова: цианобактерии, цианотоксины, Ладожское озеро, Валаамский архипелаг, эвтрофирование, вредоносное «цветение» водорослей.

На сегодняшний день антропогенное эвтрофирование водоемов - одна из острейших экологических проблем. В результате эвтрофирования происходит снижение биологического разнообразия, общая деградация экосистемы и возникает «цветение» воды, вызванное вегетацией одной или нескольких групп водорослей и цианобактерий. При активной вегетации цианобактерий в воду выделяются токсичные соединения - цианотоксины, которые приводят к гибели животных и людей. Цианотоксины - внутриклеточные токсичные метаболиты цианобактерий, выделяющиеся во внешнюю среду в результате «цветения» и последующего лизиса клеточной стенки. Их различают по способу воздействия на живые организмы. Для пресноводных водоемов наиболее актуальны нейротоксины (сакситоксины и анатоксины) из-за высокой токсичности и гепатотоксина (микроцистины) вследствие их высокой стабильности и широкой распространенности [1,2].

По многолетним данным в Ладожском озере было обнаружено более 40 видов цианобактерий, часть из этих видов потенциально токсичны и периодически в летний период формируют «цветение» воды. Обычно активная вегетация наблюдается в южной части Ладожского озера, особенно в бухте Петрокрепость, Волховская и Свирская губы. Чаще всего преобладали *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault, виды рода *Dolichospermum* (Ralfs ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek (*Anabaena*) и *Microcystis* Kütz. ex Lemm, *Woronichinia naegeliana* (Unger) Elenkin, *Coelosphaerium kuetzingianum* Nägeli [3, 4].

Цель данной работы: изучить распространение потенциально токсичных видов цианобактерий в прибрежной зоне Ладожского озера в районе Валаамского архипелага.

Валаамский архипелаг расположен в северо-восточной части Ладожского озера. В него входят такие острова как Валаам, Предтеченский, Емельяновский и Скитский, а также около 50 малых островов. В совокупности площадь архипелага составляет 36 км².

Прибрежная зона архипелага включает открытые участки, бухты и протоки между островами. Разнообразие биотопов и значительные перепады глубин - особенности исследуемой акватории. Кроме открытых участков, ладожское побережье островов включает более десяти крупных бухт и заливов, различающихся по гидрологическим и гидрохимическим особенностям. В целом прибрежная зона Ладожского озера в районе Валаамского архипелага характеризуется благоприятным кислородным режимом, высокими значениями электропроводности по сравнению с малыми озерами Валаамского архипелага, максимальными значениями прозрачности. Для этой части системы характерно минимальные значения цветности (34 - 38 ° по Pt-Co шкале) и мутности (6 - 7 мг/л), низкое содержание железа - 0,02-0,04 мг/л [5].

В фитопланктоне прибрежной зоны Ладожского озера был обнаружен 181 вид, разновидностей и форм водорослей, принадлежащих к 9 отделам. По числу видов доминировали зеленые, диатомовые и цианобактерии.

По показателям обилия фитопланктона на большинстве станций доминировали различные виды цианобактерий (от 50 до 90% от общей биомассы). Доминирование цианобактерий в период максимального прогрева воды типично для всей акватории Ладожского озера уже на протяжении

довольно длительного периода. В последнее время в прибрежной зоне Валаамского архипелага к видам-доминантам относятся *Aphanizomenon flos-aquae*, виды рода *Dolichospermum*, *Microcystis* и *Planktotrix agardii* (Gom.) Anagn. et Kom. Для побережья Валаамского архипелага был характерен широкий диапазон показателей обилия фитопланктона. Численность варьировала от 0,08 до 56,1 млн. кл/л (среднее значение - 6,5 млн.кл/л), биомасса изменялась от 0,1 до 29,5 мг/л (среднее значение - 6,2 мг/л). Максимальные средние значения численности и биомассы фитопланктона были отмечены на мелководных станциях южного побережья, минимальные - на глубоких станциях западного побережья [5]. Кроме того, со значительной пространственной вариабельностью существенную роль играла и межгодовая изменчивость показателей обилия фитопланктона. По многолетним данным минимальные показатели обилия были в 2003 г., максимальные - в 2001 г. Показано, что межгодовые различия в структуре планктона, прежде всего, связаны с особенностями температурной стратификации и характеристиками ветрового режима. В годы со штилевыми условиями различия между станциями были наиболее существенны [5]. По концентрации хлорофилла а (4,5 мкг/л), показателям обилия и уровню вегетации фитопланктона (среднее значение биомассы фитопланктона - 6,2 мг/л) Ладожское озеро можно отнести к мезотрофным водоемам.

Список литературы

- 1) Водоросли, вызывающие «цветение» водоемов Северо – Запада России. — М.: КМК. — 2006. — 367 с.
- 2) Волошко Л.Н., Пиневиц А.В. Разнообразие токсинов цианобактерий // Астраханский вестник экологического образования. — 2014 а. — № 1 (27). — С. 68–80.
- 3) Волошко Л.Н., Пиневиц А.В. Токсины и другие биологически активные вещества, синтезируемые цианобактериями в водоемах Ленинградской области// Астраханский вестник экологического образования. — 2016. — № 1 (35). — С. 28— 35.
- 4) Сафронова Т.В., Волошко Л.Н. Исследование цианобактерий, продуцирующих биологически активные вещества в Ладожском озере// Астраханский вестник экологического образования. — 2018. — № 6(48). — С. 103–109.
- 5) Воякина Е.Ю. Пространственная неоднородность структурных характеристик фитопланктона в период максимального прогрева воды Ладожского озера в районе Валаамского архипелага// В сборнике: Озера Евразии: проблемы и пути их решения материалы 1-й Международной конференции. Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, Петрозаводский государственный университет; Ответственный редактор Н.Н. Филатов. — 2017. — С. 445—449.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИИ *EUBOSMINA MARITIMA* (CLADOCERA, CRUSTACEA) В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ

Перевозчикова Д.П.¹, Полунина Ю.Ю.²

¹Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград

²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

darya20777@yandex.ru

Ключевые слова: кладоцера *Eubosmina maritima*, количественные показатели, структура популяции, размножение.

В Балтийском море возросло значение ветвистоусых ракообразных, как одной из основных групп зоопланктона [1]. Массовый вид в этой группе фильтратор *Eubosmina maritima*. Однако современных сведений о состоянии популяции этого вида, в меняющихся условиях среды и климата, недостаточно, что обусловило актуальность нашей работы.

Материалом послужили пробы зоопланктона, собранные в экспедициях ИО РАН в Южной и Центральной Балтике в августе-начале сентября 2016 г. и в Южной Балтике в июле 2018 г. Пробы отбирали сетью WP-2 по слоям - от дна до поверхности, от галоклина до поверхности и от термоклина до поверхности. Особей босмин измеряли и разбирали на группы: молодь, партеногенетические и гамогенетические самки; самцы. Посчитывали число яиц у самок.

В 2016 г. количественные показатели *E. maritima* в столбе воды изменялась от 4444 до 23360 экз./м³ и 35.3-424.9 мг/м³ в Южной и от 100 до 1625 экз./м³ и 6.2-14.7 мг/м³ в Центральной Балтике. Эти величины составляли в среднем около 30% от показателей всего зоопланктона, что характеризует вид как доминирующий в сообществе. Большая часть биомассы и численности этого вида сконцентрированы в поверхностном слое воды до термоклина, где температура воды была 17-20°C. Длина особей в популяции варьировала от 0,200 до 0,500 мм, преобладали особи (80%) с размером 0.275-0.424 мм. Популяция была представлена всеми возрастными и половыми группами: молодь, самки партено- и гамогенетические, самцы. Доля двуполого поколения в популяции составляла около 20% и популяция размножалась как партеногенезом, так и двуполым размножением.

В июле 2018 г. численность этого вида в толще воды варьировала 21-21138 экз./м³ (в ср. 4235 экз./м³), а в поверхностном слое 39-57235 экз./м³ (ср. 11761 экз./м³). Как и в 2016 г. основная масса этих рачков была сконцентрирована в поверхностном наиболее прогретом слое воды (Т воды 22-24°C). Доля этого вида в поверхностном слое воды была 37-96% от общей численности кладоцер, однако от общей численности всего зоопланктона 1-3% в открытой части моря и 39-46% в прибрежье. В целом, вклад всех кладоцер в общую численность зоопланктона составил 14% и был в среднем ниже, чем мы отмечали летом 2016 г. Популяция была представлена молодью, партено- и гамогенетическими самками и самцами. Основу популяции составляли ювенильные особи (55%) и партеногенетические самки (39%). Доля полового поколения была не велика - около 7% и преобладали самцы, что указывает на начальный этап перехода от партеногенеза к двуполому размножению. Длина ювенильных особей в среднем составляла 0,262 мм, самцов - 0.304 мм, а самок - 0.391 мм. Плодовитость самок была 1-7 (в ср. 2,6) партеногенетических яиц и 1-2 (ср. 1.8) гамогенетических яиц на одну самку. Размеры особей сопоставимы с данными 2016 г.

Таким образом, в летний период 2016 и 2018 г в зоопланктоне Балтики количественные показатели кладоцеры *E. maritima* существенно варьировали в зависимости от района исследования, однако вклад вида в численность и биомассу всего зоопланктона позволяет его отнести к доминирующему. Основная численность и масса босмины сосредоточены в верхнем прогретом слое воды до термоклина; в популяции были отмечены все возрастные и половые группы; отмечен партеногенез и двуполое размножение. Выявлены некоторые межгодовые отличия в развитии популяции

босмины: в 2016 г. численность и доля этого вида в зоопланктоне была выше, чем в 2018 г. Присутствие всех возрастных и половых групп в популяции босмины подтверждает прохождение всего жизненного цикла в акватории Балтики этого вида.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИО РАН № 0149-2019-0013.

Список литературы

- 1) Полунина Ю.Ю., Родионова Н.В. Характеристика зоопланктонного сообщества Балтийского моря / В монографии «Система Балтийского моря». М.: Научный мир, 2017. С. 258–291.

МОРФОМЕТРИЯ И РАЗМЕР ПОЛОВОЗРЕЛОСТИ САМЦОВ КРАБОВ
SEULOCIA VITTATA (STIMPSON, 1858) (CRUSTACEA: MALACOSTRACA:
DECAPODA: BRACHYURA: LEUCOSIIDAE) ЗАЛИВА НЯЧАНГ (ВЬЕТНАМ),
ЮЖНО-КИТАЙСКОГО МОРЯ

Поддужева Е.А., Судник С.А.

Калининградский государственный технический университет, г. Калининград

katerina.poddueva@mail.ru

Ключевые слова: Ключевые слова: кошельковые крабы, *Seulocia vittata*, морфометрия, аллометрия роста, размер половозрелости самцов.

Seulocia vittata - некрупные массовые крабы залива Нячанг. Будучи хищником-бентофагом, краб участвует в сложных биотических связях водоемов. Это - объект массового кустарного промысла. Опубликованных данных по биологии вида нет, кроме описания встречаемости [5] и нашей предварительной характеристики самцов [3]. Цель данной работы - описание размеров самцов *S. vittata* на большем материале, определение их размера половозрелости. Проба крабов (137 самцов) была отобрана И.Н. Мариным (Институт им. Северцова) случайным образом из уловов рыбаков в прибрежной зоне залива Нячанг летом 2010 г. и зафиксирована 70%-ным спиртом. При биологическом анализе [2] у самцов измерялись элементы экзоскелета (длина и ширина карапакса (ДК, ШК) и абдомена (ДА, ША); длина клешни правых клешненосных ног (Дкл), длина и ширина ладони клешни (ДЛкл, ШЛкл) и меруса торакоподов 3-ей пары (ДМ, ШМ)), определялась степень твердости панциря, состояние экзоскелета на предмет разрушений, визуально различимых комменсалов и паразитов. Для определения размера полового созревания самцов применили два метода: морфометрический (установлено, что рост элементов экзоскелета самцов у крабов может существенно отличаться до и после полового созревания [1], поэтому, пользуясь аллометрическим уравнением роста [1] изучены особенности роста ряда значимых элементов) и гистологический (при вскрытии карапакса по 3-х бальной шкале оценивали степень созревания семенников).

Проведен анализ размеров девяти элементов экзоскелета 137 самцов *S. vittata*. Получен диапазон их изменчивости, средние значения, рассчитаны коэффициенты перехода от них к ШК. Данные войдут в биометрический паспорт вида, будут полезны исследователям его биологии и трофологам, изучающим питание гидробионтов Южно-Китайского моря.

Размеры (общая длина тела [U+0336] ДТ) самцов составили 32,3-42,9 мм (в среднем - $37,9 \pm 1,79$ мм), при ШК от 17,2 до 21,7 мм ($19,6 \pm 0,97$ мм) и ДК 19,1-24,9 мм ($22,7 \pm 1,06$ мм). Доминировали в пробе самцы размерной группы 18,1-21,0 мм ШК (их доля была 86,9%; доля более мелких особей (до 18,0 мм), как и более крупных (более 21 мм) не превысила 6,6 %. Мелкие самцы (ШК меньше 17 мм) и ювенильные особи в анализ не вошли из-за особенностей сбора материала. По данным Галил [5] ДК ювенильных *S. vittata* в Тихом и Индийском океанах составляла 10,5-16,5 мм; ДК самцов - 14,2-23,9 мм, то есть мы обнаружили в заливе Нячанг самцов вида самых крупных размеров.

Для изучения особенностей роста элементов экзоскелета самцов краба *S. vittata* проведен анализ аллометрии роста их шести значимых элементов экзоскелета по отношению к двум базовым размерам тела - ШК и ДК. Обнаружено, что рост всех признаков у самцов более связан с ростом карапакса в ширину, поэтому этот вариант мы и будем обсуждать далее. Средняя по силе корреляция обнаружена у размеров карапакса и клешни, при этом у признака длина клешни отмечена изометрия относительно ШК, а у наиболее связанного признака (ширина ладони клешни) - положительная аллометрия (коэффициент аллометрии 1,2), то есть рост клешни в ширину с определенного размера самцов крабов *S. vittata* начинает опережать рост карапакса в ширину [1]. Смену типа роста с изометрического на аллометрический связывают с наступлением функцио-

нального полового созревания [4]. Анализ графиков аллометрии роста показал, что различия в росте клешни у половозрелых самцов *S. vittata* появляются при ШК 19,2-19,3 мм. Для более точного определения ШК, при которой происходит переход на новый уровень аллометрии, использовали метод Хартнолла [6]. На данном материале получено, что размер наступления половозрелости самцов краба *S. vittata* - ШК 18,9-19,2 мм. Анализ показал, что измерять мерус для определения размера половозрелости самцов *S. vittata* не рекомендуется; следует оценивать закономерности роста клешни. Многолетний анализ размера полового созревания особей помогает прогнозировать состояние популяции крабов, давать рекомендации по промыслу. Оценка репродуктивного состояния самцов показала, что у 6,6 % особей (ШК 17,2-18,0 мм) гонады были слаборазвиты, имели светлую окраску и нитчатую форму; у 40,1 % самцов (ШК 18,1-19,6 мм) семенники были более развиты, они приобретали окраску и увеличивались в размере по сравнению с предыдущими особями; 53,3 % самцов с ШК 19,7-21,7 мм имели хорошо развитые гонады, выраженно окрашенные, извитые. Обобщая данные, размером полового созревания самцов *S. vittata* в заливе Нячанг можно считать 18,9-21,7 мм.

Визуально различимые паразиты на поверхности экзоскелета самцов крабов *S. vittata* не встречены, так же, как и линяющие особи. У шести самцов на карапаксе (5 экз.) и клешненой ноге (1 экз.) обнаружены разрушения экзоскелета разной степени, неправильной формы, крупные, напоминающие признаки панцирной болезни ракообразных. Экстенсивность поражения составила 4,3 %.

Работа проводится в рамках совместного проекта Российско-Вьетнамского Научно-Технического Тропического Центра и Института проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова (г. Москва).

Список литературы

- 1) Клитин А.К. Распределение, биология и функциональная структура ареала камчатского краба в водах Сахалина и Курильских островов: дис. ... канд. биол. наук. 03.00.18 / Клитин Андрей Константинович; СахНИРО ; науч. рук. Б.Г. Иванов. Южно-Сахалинск, 2002. — С. 12—17.
- 2) Судник С.А. Биология крабов *Lyphira perplexa* Galil, 2009 (Crustacea: Brachyura: Leucosiidae) Южно-Китайского моря / Судник С.А., Поддужева Е.А. // Научный журнал «Известия КГТУ». — 2019. — № 52. — С. 43—59.
- 3) Судник С.А. Некоторые данные о биологии самцов крабов *Seulocia vittata* (Stimpson, 1858) (Crustacea: Malacostraca: Decapoda: Brachyura: Leucosiidae) залива Нячанг, Вьетнам [Электронный ресурс] / Судник С.А., Поддужева Е.А. // 69-я Международная студенческая научно-техническая конференция (Астрахань, 15-19 апреля 2019 г.): материалы — Астрахань : АГТУ, 2019 — 5 с. Режим доступа : CD-диск. — № гос. Регистрации 0321902694.
- 4) Шагинян Э.Р. Размер половозрелости самок и самцов равношипого краба восточной части Охотского моря / Э.Р. Шагинян // Современное состояние популяций крабов Баренцева моря и их взаимодействие с донными биоценозами: тр. межд. конф. Мурманск, 2006. — С. 109—111.
- 5) Galil B.S. Contributions to the knowledge of Leucosiidae IV. *Seulocia* gen. nov. (Crustacea: Brachyura) / B.S. Galil // Zool. Med. Leiden. — 2005. — Vol. 79. № 2. — P. 41—59.
- 6) Hartnoll R.G. The determination of relative growth in crustacean / R.G. Hartnoll // Crustacea. — 1978. — Vol. 34. № 3. — P. 281—293.

ПОДРАЗДЕЛЁННОСТЬ ПОПУЛЯЦИЙ МИКРОФАЛЛИДНЫХ ТРЕМАТОД (TREMATODA, MICROPHALLIDAE) - ПАРАЗИТОВ МОРСКИХ ГАСТРОПОД РОДА LITTORINA

Репкин Е.А., Мальцева А.Л., Варфоломеева М.А., Гранович А.И.

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

erepkin53@gmail.com

Ключевые слова: трематоды, Microphallidae, Littorina, паразито-хозяйные отношения, популяции паразитов, параксенция, литораль, Белое море, Баренцево море.

Морские гастроподы семейства Littorinidae (Gastropoda, Caenogastropoda) широко распространены в литоральной и сублиторальной зонах морей по всему земному шару. Эти моллюски массово заселяют приливно-отливную зону и играют важную роль в формировании её экосистемы: в частности, они служат пищей птицам, рыбам и другим животным. Кроме того, с литоринами неразрывно связаны паразитирующие в них трематоды, или сосальщики (Rhabditophora, Trematoda), использующие данных моллюсков в качестве промежуточных хозяев. Популяции трематод вместе с популяциями их промежуточных хозяев (моллюсков и ракообразных) и окончательных хозяев (птиц, рыб и др.) образуют сложно устроенные паразитарные системы, представляющие из себя синэкологические элементы биоценозов [1].

В паразитарных системах происходит не только формирование потоков вещества и энергии между особями разных видов животных, но и взаимное влияние популяций паразитов и хозяев друг на друга, что может способствовать протеканию микроэволюционных процессов. Так, заражение трематодами может влиять на репродуктивную, половую, возрастную структуру популяций моллюсков-хозяев; кроме того, паразиты могут влиять на поведение моллюсков, например, изменять двигательную активность улиток, чтобы успешно заражать поедающих их окончательных хозяев [2]. В свою очередь популяции литорин в связи с физиологическими различиями особей (пол, возраст, иммунный статус и т.д.) способствуют неравномерному распределению группировок паразитов [3].

Немаловажную роль в формировании структуры популяции паразитов играет также т.н. параксенция - явление, при котором одна и та же стадия жизненного цикла паразита заражает несколько разных видов животных. Разные виды параксенных хозяев неравнозначны для поддержания популяции паразита (в силу межвидовых физиологических отличий хозяев, разной частоты встречаемости паразита с особями разных видов хозяев и т.д.) [4]. На видовую структуру и дифференциацию популяций трематод может также влиять их широкое географическое распространение: если связь между удалёнными группировками паразитов в силу тех или иных причин прерывается, это может приводить к накоплению генетических различий между отдельными популяциями паразитов.

В нашей работе мы предприняли попытку исследовать формирование подразделённости внутри и между популяциями сосальщиков в связи с видом параксенного хозяина и географическим распространением трематод. Для этого мы исследовали метацеркарии и дочерние спороцисты трематод из семейства Microphallidae, паразитирующих в литоринах подрода *Neritrema* (*Littorina saxatilis*, *L. arcana*, *L. compressa*, *L. obtusata*, *L. fabalis*). Данные моллюски встречаются повсеместно на побережьях морей Северной Европы (как и паразитирующие в них трематоды) и характеризуются рядом отличий в морфологии, физиологии, ареале и паттернах микробиотопического распределения [5]. Наличие нескольких видов параксенных промежуточных хозяев и широкое географическое распространение микрофаллидных трематод делает данную паразитарную систему удобной моделью при изучении вопроса формирования структуры популяций паразитов.

Материал для работы был собран нами на побережьях Белого, Баренцева и Норвежского морей в течение летних полевых сезонов 2017-2019 гг. Предпринятый нами на первом этапе работы

анализ морфологии (с использованием геометрической морфометрии) и генетики (с использованием молекулярных маркеров ITS-1 и *cox-1*) метацеркарий трематод *Microphallus piriformes* показал частичную подразделённость популяций паразита в связи с географической точкой сбора материала (был выявлен ряд регион-специфичных гаплотипов, часть из них формировали регион-специфичные клады на филогенетическом дереве), но не в связи с видом хозяина-моллюска. Вероятно, формирование частично изолированной группировки трематод на Белом море произошло в связи с (1) нерегулярными и не повсеместными перелётами морских птиц (окончательных хозяев *M. piriformes*) между Белым и Баренцевым морем, что привело к снижению потока генов между удалёнными популяциями паразита; (2) краткой продолжительностью жизни взрослой стадии (мариты) микрофаллид в окончательном хозяине (7-10 дней [6]), т.е. эти трематоды обычно не могут быть далеко перенесены птицами-хозяевами. Выявленные морфологические отличия в форме тела и степени ее вариабельности у метацеркарий с Белого и Баренцева моря, по-видимому, могут быть связаны с существующими различиями в условиях окружающей среды на побережьях этих морей (различная солёность, средняя температура и, соответственно, содержание кислорода, иные по длительности периоды обледенения и т.д.), которые сказываются на физиологии моллюсков и развивающихся внутри них паразитов.

На следующем этапе работы мы, используя методы протеомики и метаболомики, начали исследование различий в физиологических особенностях трематод *Microphallus pygmaeus* из двух видов моллюсков-хозяев (*L. saxatilis*, *L. obtusata*), собранных с разных уровней литорали. Так мы рассчитываем более подробно изучить влияние вида параксенного хозяина и микробиотопа, в котором он обитает, на состав метаболитов в тканях трематод из различных группировок (распределённых в разных видах моллюсков на разных горизонтах приливно-отливной зоны) внутри одной популяции паразитов.

Данная работа была поддержана средствами гранта РФФИ (19-04-00392-А).

Список литературы

- 1) Беклемишев В.Н. Биоценологические основы сравнительной паразитологии. М.: Наука. 1970. 504 с.
- 2) McCarthy H.O., Fitzpatrick S.M., Irwin S.W.B. A transmissible trematode affects the direction and rhythm of movement in a marine gastropod // *Animal Behaviour*. V. 59(6). 2000. P. 1161–1166.
- 3) Гранович А.И., Горбушин А.М. Различия зараженности самок и самцов литоральных моллюсков родов *Littorina* и *Hydrobia* Кандалакшского залива Белого моря партенитами трематод // *Паразитология*. № 29(3). С. 167–178.
- 4) Гранович А.И. Паразитарные системы и структура популяций паразитических организмов // *Паразитология*. № 30(4). 1996. С. 343–356.
- 5) Гранович А.И., Михайлова Н.А., Знаменская О., Петрова Ю.А. Видовой состав моллюсков рода *Littorina* (Gastropoda, Prosobranchia) Восточного Мурмана // *Зоологический журнал*. № 83(11). 2004. С. 1305–1317.
- 6) Галактионов К.В. Жизненные циклы трематод как компоненты экосистем (опыт анализа на примере представителей семейства Microphallidae). Апатиты: Изд. КНЦ РАН. 1993. 190 с.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ АЦИДИФИКАЦИИ МОРСКИХ ВОД НА ПРОМЫСЛОВЫЕ ВИДЫ РЫБ (ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР)

Сакович А.Д.

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

a.sackovitch2016@yandex.ru

Ключевые слова: ацидификация океана, рыбный промысел, треска, сельдь.

Ацидификация морских вод - процесс, при котором поглощенный морской водой углекислый газ вступает в химические реакции, вследствие которых увеличивается концентрация ионов водорода и понижается рН воды. Согласно прогнозам МГЭИК, к концу столетия двуокись углерода в атмосфере может достигнуть более 1000 мкатм [1], и считается, что это может негативно отразиться на функционировании морских экосистем. В данном аспекте не менее важно изучение того, как в долгосрочной перспективе ацидификация морских вод может повлиять на социально-экономическую составляющую нашего общества - а именно через негативные эффекты снижения рН воды на рыбный промысел и аквакультуру.

Растворение избыточного количества CO_2 в морской воде является потенциальным стрессором для многих видов морских рыб. При этом необходимо учитывать, на какой стадии онтогенеза организм наиболее уязвим для данного воздействия. В данном случае считается, что молодь и взрослые особи могут переносить изменения рН внешней среды значительно легче, чем эмбрионы и личинки рыб [1]. Вместе с тем, именно ранние стадии развития рыб имеют большое значение для рыбного промысла, так как благоприятное эмбриональное и постэмбриональное развитие особей во многом определяет процессы роста и воспроизводства популяции [1]. В связи с этим, большинство научных исследований по данной проблеме посвящены изучению воздействия снижения рН на эмбрионы и личинок промысловых видов рыб. В большинстве данных работ объектом исследования являются два важных для рыбного промысла вида - атлантическая сельдь (*Clupea harengus*) и атлантическая треска (*Gadus morhua*).

Личинки морских рыб могут быть особенно уязвимы к ацидификации океана [1]. На данный момент уже имеются результаты исследований, иллюстрирующие специфику воздействия снижения рН воды на анатомические и физиологические признаки личинок рыб. В качестве примера можно привести результаты исследования совместно с университетом Бергена и центром исследований океана им. Гельмгольца (GEOMAR) [2]. Личинки атлантической сельди выращивались в различных по содержанию CO_2 условиях: ~ 380 мкатм и ~ 1800 мкатм (предполагаемый уровень CO_2 на конец следующего столетия). Результаты исследования показали, что повышенное содержание растворенного CO_2 в воде приводит к задержке роста и развития, а также к серьезному повреждению тканей во многих органах, и степень повреждения возрастала с увеличением концентрации CO_2 [2]. Авторы дополняют, что аналогичное повреждение органов и тканей было зафиксировано в экспериментах на личинках атлантической трески [2].

Еще одним направлением исследований в данной области является изучение выживаемости личинок рыб как наиболее важного показателя для прогноза пополнения популяции. Научные сотрудники GEOMAR и институтов Германии и Норвегии исследовали экспериментальную смертность личинок атлантической трески при различных сценариях ацидификации морских вод [1]. Было выявлено, что уровни CO_2 около 1000 мкатм приводят к удвоению суточной смертности по сравнению с современными концентрациями CO_2 [1]. Данные результаты оставались неизменными при различных режимах питания, плотности популяции личинок, а также в исследованиях на двух разных популяциях: Западной Балтики и Баренцева моря [1]. Полученные по данному исследованию результаты подчеркивают важность включения анализа уязвимости ранних стадий жизни рыб при изучении механизмов воздействия изменения климата на рыбные запасы.

Развивается также направление исследований по изучению воздействия acidификации морских вод на пищевые сети. Один из примеров таких работ - исследование *in situ* на личинках атлантической сельди в качестве основных хищников в пелагической пищевой сети [3]. В ходе эксперимента популяция подвергалась воздействию уровня $p\text{CO}_2 \sim 760$ мкатм в течение 113 дней. В результате было получено, что выживаемость личинок сельди была значительно увеличена на $19 \pm 2\%$ [3]. Объяснение этому можно найти исходя из результатов анализа динамики сообщества планктона. Результаты показали, что высокое содержание CO_2 стимулирует увеличение первичной продукции и количества зоопланктона, тем самым положительно влияя на выживаемость личинок [3]. Авторы делают вывод, что данный эффект потенциально может нивелировать прямое негативное воздействие acidификации морских вод на показатели выживаемости особей на ранних стадиях жизни.

Интерес для изучения также представляет потенциал особей к акклиматизации и адаптации к изменениям pH водной среды. Одно из подобных исследований также было проведено научными сотрудниками GEOMAR и других институтов и университетов Германии и Норвегии [4]. Оно заключалось в экспериментах на нескольких поколениях атлантической трески. Суть исследования заключалась в том, что в течение шести недель до нереста одна часть популяции взрослых особей подвергалась воздействию невысокого уровня CO_2 , а другая часть - повышенного уровня (~ 1100 мкатм). Было получено, что особи под высоким уровнем CO_2 показали признаки акклиматизации к данным условиям среды [4]. После нереста была проведена количественная оценка выживаемости личинок от двух групп родительского поколения. Авторами было обнаружено, что выживаемость личинок от группы особей, подвергнутого воздействию высокого уровня CO_2 , была выше по сравнению с выживаемостью личинок от группы не адаптированных к высокому содержанию CO_2 особей. Однако, данный эффект сохранялся только при условиях с высокой доступностью пищевых ресурсов, и становился обратным при условиях с низкой доступностью пищи [4]. Полученные результаты могут служить свидетельством того, что популяции морских рыб могут приспосабливаться даже к высокому содержанию растворенного в воде CO_2 , однако для достижения этого эффекта необходимо, чтобы иные условия среды подходили для благоприятной жизнедеятельности особей.

Список литературы

- 1) Stiasny M. H., Mittermayer F. H., Clemmesen C. et al. Ocean acidification effects on Atlantic cod larval survival and recruitment to the fished population // PLOS ONE. – 2016. – Vol. 1. – 8. – doi: 10.1371/journal.pone.0155448.
- 2) Frommel, A. Y., Maneja, R., Clemmesen, C. et al. Organ damage in Atlantic herring larvae as a result of ocean acidification // Ecological Applications. – 2014. – Vol. 24. – 5. – P. 1131–1143.
- 3) Sswat M., Stiasny, M. H., Clemmesen, C. et al. Food web changes under ocean acidification promote herring larvae survival // Nature Ecology & Evolution. – 2018. – Vol. 2. – 5. – P. 836–840.
- 4) Stiasny M. H., Mittermayer F. H., Clemmesen C. et al. Effects of parental acclimation and energy limitation in response to high CO_2 exposure in Atlantic cod // Scientific Reports. – 2018. – Vol. 8. – 1. – doi:10.1038/s41598-018-26711-y.

ВЛИЯНИЕ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЗЕЛЕННОЙ ВОДОРОСЛИ *ULVA LACTUCA* L. БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Салахов Д.О., Рыжик И.В.

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

Salahov04@yandex.ru

Ключевые слова: *ulva lactuca*, загрязнение, Баренцево море, дизельное топливо, эксперимент

В настоящее время одной из главных экологических проблем является нефтяное загрязнение вод Мирового океана, основными источниками которого являются добыча, транспортировка нефти и нефтепродуктов (НП), эксплуатация водного транспорта. Вблизи крупных городов вследствие антропогенной нагрузки концентрация углеводородов в бухтах и заливах может превышать предельно допустимые значения в тысячи раз [4].

В прибрежной зоне наибольшее негативное воздействие НП испытывают водоросли-макрофиты. Имеются сведения о влиянии токсиканта на фукусовые водоросли [2], в последнее время уделяется внимание исследованию ответной реакции у зеленых водорослей. В экспериментах с участием *Ulvaria obscura* (Chlorophyta) показано, что данный вид макрофитов демонстрирует высокую физиологическую устойчивость к действию дизельного топлива (ДТ) [1].

Объектом данного исследования являлись литоральные водоросли *Ulva lactuca* Linnaeus (Chlorophyta) 1753 - бореальный атлантический вид.

Целью исследования являлось определение влияния дизельного топлива на физиологическое состояние *Ulva lactuca*.

Водоросли собирали в июле - августе 2019 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/м², температуре 8-10 °С и постоянной аэрации морской воды.

Талломы *Ulva lactuca*, предварительно адаптированные к условиям лаборатории, помещали в стеклянные емкости, содержащие 1.5 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 [6]. В контрольных емкостях использовали морскую воду без добавления нефтепродукта. Длительность эксперимента составила 10 суток. По его окончании исследовали морфологическое состояние клеток, измеряли фотосинтетическую активность водорослей [3] и концентрацию фотосинтетических пигментов (хлорофиллы А и В, каротиноиды) [5].

В результате эксперимента было показано, что в контрольном образце изменений в строении клеток не происходит: цитоплазма прозрачная, хлоропласты располагаются либо по всей поверхности клеток равномерно, либо локализованы у одной из сторон клетки. При концентрации ДТ 20 ПДК происходит увеличение объема «органовидов», снижается прозрачность цитоплазмы, хлоропласты распределяются по всей поверхности клетки. При концентрации ДТ от 1000 ПДК в части клеток наблюдается плазмолиз, содержимое клеток прилегает к одной из сторон, хлоропласты сгруппированы в один конгломерат, при концентрациях ДТ от 2000 ПДК хлоропласты разрушаются.

Интенсивность фотосинтеза (ИФ) в контроле составляла 0.05 мкгО₂/г сыр.массы*ч; при концентрации ДТ 20 ПДК наблюдается увеличение ИФ по сравнению с контролем в 2 раза. При воздействии ДТ в концентрациях 100 и 1000 ПДК ИФ сходна с контролем. В опытных емкостях с концентрацией ДТ выше 1000 ПДК у водорослей преобладали процессы дыхания.

Концентрация фотосинтетических пигментов в вариантах «контроль» и 20 ПДК не отличается друг от друга, у вариантов с концентрациями ДТ 100 и 1000 ПДК количество хлорофиллов и

каротиноидов увеличивается в 2 раза по сравнению с контролем. В более высоких концентрациях ДТ происходит резкое снижение количества пигментов.

Ulva lactuca выдерживает краткосрочное (10 суток) загрязнение ДТ до 1000 ПДК. Небольшие концентрации ДТ (до 20 ПДК) в течение эксперимента оказали стимулирующее воздействие на фотосинтетический аппарат.

Концентрации ДТ до 20 ПДК не вызывают значительных структурных изменений в клетках водорослей. При более высоких концентрациях происходит развитие плазмолиза и нарушение функционирования хлоропластов, что выражается в изменении концентрации фотосинтетических пигментов и снижении фотосинтетической активности. Концентрации выше 1000 ПДК подавляют развитие водорослей и угнетают активность фотосинтетических процессов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-05-80058\18

Список литературы

- 1) Воскобойников Г.М., академик 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) Лурье Ю.Ю. Унифицированные методы анализа вод. Изд. 2-е. — М.: Химия, 1973. 376 с.
- 4) Патин С.А. Нефтяные разливы и их воздействие на морскую среду и биоресурсы. – М.: Изд-во ВНИРО, 2008. – 508 с.
- 5) Пигменты пластид зеленых растений и методика их исследований. М.; Л.: Наука. 1964. 120 с.
- 6) ГОСТ Р 55978-2014 Общие требования по экологической безопасности. Рекомендации по разработке технических требований по экологической безопасности

ОТКЛИК ФИТОПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ЧЕРНОГО МОРЯ НА ВЫНОС МАЛЫХ РЕК КАВКАЗА В ПЕРИОД ИХ МИНИМАЛЬНОГО СТОКА

Сергеева В.М., Шульга Н.А., Ульяновцев А.С.

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

nash.ocean@gmail.com

Ключевые слова: фитопланктон, Черное море, плюм.

Фитопланктон прибрежной части черноморского побережья Северного Кавказа находится под постоянным воздействием пресноводного стока, поступающего из многочисленных малых и средних рек. Материковый вынос является важным источником минеральных форм азота, фосфора, кремния, взвешенного и растворенного органического вещества (ОВ), которые включаются в локальные продукционные циклы прибрежно-шельфовой зоны акваторий. Кроме того, речной сток влияет на гидрологический режим, изменяя соленость, температуру и мощность эуфотического слоя в зоне смешения вод. Однако влияние таких гидрологических изменений на структуру и функционирование прибрежного морского фитопланктонного сообщества практически не изучено. В рамках этой проблемы мы оценили таксономический состав, численность и биомассу планктонных микроводорослей, концентрацию и генезис ОВ во взвеси и пространственную изменчивость перечисленных характеристик.

Работа базируется на исследовании проб воды, отобранных в реке и в прибрежной морской области в поверхностном слое в градиенте солености. Район работ находился под влиянием пресноводного выноса р. Кодор (Абхазия) в условиях минимального стока (начало апреля 2019 г.). Всего было отобрано и обработано 13 проб при изменении солёности от 0 до 17,5.

Для определения и подсчета общих количественных характеристик и определения видового состава водорослей была использована методика [1]. Для анализа ОВ взвесь фильтровали через фильтры Whatman GF/F. Взвешенный органический углерод (ВОУ) определяли методом высокотемпературного сжигания (EuroVector-EA3000 [2]). Состав и содержание н-алканов изучали методом газовой хроматографии масс-спектрометрии (GC-MS Shimadzu QP5050) [3].

Анализ распределения численности и биомассы фитопланктона показал выраженную пространственную изменчивость количественных характеристик в поверхности в зоне влияния речного выноса р. Кодор в прямо пропорциональной зависимости от солености. В реке биомасса водорослей составляла 4,3 мкгС/л, при солености 9-11 биомасса водорослей варьировала в пределах 14,4-17 мкгС/л, при возрастании солености до 15 биомасса также возрастала до 18 мкгС/л. При солености 16-17 биомасса водорослей достигала 20,8 мкгС/л, увеличиваясь в мористой при солености более 17 до 31 мкгС/л. При этом в морской части, наиболее удаленной от зоны влияния речного выноса, биомасса фитопланктона не превышала 20,4 мкгС/л. Возрастание биомассы водорослей в прибрежной части Черного моря было прямо пропорционально изменению биомассы морских динофлагеллят ($R^2=0,85$). Численность планктонных микроводорослей изменялась в прямо пропорциональной зависимости от численности кокколитофорид ($R^2=0,92$). Доля непосредственно пресноводных форм планктонных микроводорослей убывала от реки в мористую область от 94% до 0% в обратно пропорциональной зависимости от солености ($R^2=0,86$).

Концентрация ВОУ колебалась в широких пределах от 0,13 мг/л до 0,98 мг/л. Минимальные значения наблюдались в реке и удаленной от плюма морской области, использованной в качестве фона. Зависимости от солености в пространственном распределении ВОУ не наблюдалось.

Анализ молекулярного состава и распределения н-алканов во взвеси позволил выявить источник поставки ОВ в разных зонах плюма и степень его трансформации. Вклад ОВ преимущественно фитопланктоногенного происхождения прослеживается на всех изученных станциях.

Таким образом, в прибрежной зоне Черного моря в области плюма р. Кодор в период минимального стока по биологическим характеристикам можно выделить разные участки: среднюю зону плюма (с соленостью 9-11), внешнюю зону плюма (с соленостью 15), границу плюма и моря (с соленостью 16-17), морскую область, расположенную рядом с плюмом (с соленостью более 17).

Список литературы

- 1) Пересыпкин В.И., Смуров А.В., Шульга Н.А., Сафонова Е.С., Смурова Т.Г., Банг Ч.В. Состав органического вещества воды, взвеси и донных осадков залива Нячанг (Вьетнам, Южно-Китайское море) // Океанология. 2011. Т. 51. № 6. С. 1020.
- 2) Сергеева В.М., Суханова И.Н., Флинт М.В., Паутова Л.А., Гребмайер Д.М., Купер Л.В. Фитопланктон Западной Арктики в июле-августе 2003 г. // Океанология. 2010. Т. 50. № 2. С. 203-217.
- 3) Ульяновцев А.С., Романкевич Е.А., Братская С.Ю., Семилетов И.П., Авраменко В.А. Органический и карбонатный углерод в многолетнемерзлых и талых отложениях губы Буор-Хая (море Лаптевых) // Доклады АН, 2017. Т.473, № 6, С. 709–713.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ БИОМАССЫ И ЧИСЛЕННОСТИ ФИТОПЛАНКТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОГРУЖНОГО ФЛУОРИМЕТРА CYCLOPS-7 В БЕЛОМ МОРЕ

Смирнов В.В.¹, Радченко И.Г.², Сухотин А.А.¹

¹Зоологический институт РАН, г. Санкт-Петербург

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва

electroniq.ape@gmail.com

Ключевые слова: биомасса фитопланктона, численность фитопланктона, флуоресценция хлорофилла, Белое море.

Фитопланктон - важнейший источник первичной продукции в море. В Белом море годовая продукция фитопланктона составляет $6 \cdot 10^{13}$ ккал/год и превосходит таковую макрофитов в десятки раз, уступая лишь бактериопланктону по этому показателю [Бергер, 2007]. Детальное изучения процессов, происходящих на этом трофическом уровне, невозможно без учета численности и биомассы планктонных водорослей. Биомассу традиционно определяют прямым подсчетом клеток с определением их видовой принадлежности и размеров. Это позволяет получить детальную информацию о таксономическом и размерном составе фитопланктонного сообщества, но является крайне трудоемким методом. Содержание пигмента зеленых растений хлорофилла а считается универсальной характеристикой развития фитопланктона, его физиологического состояния и продуктивности, позволяющей выражать биомассу в единицах концентрации хлорофилла а в объеме воды. Используя свойство молекулы хлорофилла флуоресцировать под воздействием света, измерение концентрации хлорофилла а возможно с использованием погружных океанологических зондов с флуориметрическими датчиками, позволяющих мгновенно получать данные о распределении хлорофилла а в столбе воды. Для определения биомассы автотрофного компонента пелагиали требуются переходные коэффициенты содержания хлорофилла в единице биомассы, однако в разных экологических условиях эти коэффициенты обладают высокой изменчивостью и даже в одном водоеме могут различаться на несколько порядков [Минеева, 2012].

Данные о связи флуоресценции хлорофилла а и биомассы планктонных водорослей немногочисленны для Белого моря, носят эпизодический характер и чаще приводятся для летнего сезона. Отсутствие этих сведений и определило цель этой работы - оценить связь флуоресценции хлорофилла а и концентрации клеток и биомассы фитопланктона в пелагиали губы Чупа Белого моря на протяжении всего вегетационного периода. Исследования проводились с конца марта до конца ноября 2017 года на базе ББС ЗИН «Картеш», захватывая все стадии развития фитопланктона в вегетационный период. Пробы фитопланктона отбирались весной каждые 5 дней, в летний период и вплоть до ноября каждые 10 дней с четырех глубин: 0, 5, 10 и 20 метров. Параллельно проводились измерения флуоресценции хлорофилла погружным флуориметром CYCLOPS-7. Связь параметров определялась методом линейной регрессии лог-трансформированных данных по сезонам - период наблюдений был разделен на подледный период, весну, лето, осень и зиму, а так же по глубинам и в их взаимодействии.

Исследования показали значимую ($P < 0,05$) связь биомассы и количества клеток фитопланктона с измеренной флуоресценцией в течение всего периода измерений. Коэффициент детерминации для лог-линейной связи биомассы и флуоресценции составил 24%, а для связи концентрации клеток и флуоресценции хлорофилла 56%.

В сезонном отношении, значимая связь ($P < 0,05$) биомассы и флуоресценции обнаружилась в подледный период, летом и осенью. Коэффициент детерминации для лог-линейной связи этих двух параметров составил 56%, 27% и 45% соответственно. Значимая ($P < 0,05$) связь концентрации клеток и флуоресценции хлорофилла наблюдалась в подледный период, весной, летом и осенью.

Доля объясненной дисперсии концентрации клеток фитопланктона 51%, 49%, 48% и 89% соответственно.

По глубинам значимая ($P < 0,05$) лог-линейная связь биомассы и флуоресценции обнаружилась на глубинах 5, 10 и 20 метров, доля объясненной дисперсии составила 25-34%. Для связи концентрации клеток и флуоресценции эта доля составила 62-72% на тех же глубинах.

Рассматривая зависимость биомассы и флуоресценции по сезонам на разных глубинах, значимым взаимодействием биомасса и флуоресценция обладают в подледный период на глубине 5 метров ($P < 0,05$, $R^2 = 0.76$), осенью на глубине 10 метров ($P < 0,05$, $R^2 = 0.94$) и зимой на глубине 5 метров ($P < 0,05$, $R^2 = 0.94$). Концентрация клеток фитопланктона и флуоресценции хлорофилла находятся в значимой связи в подледный период на глубинах 10 метров ($P < 0,05$, $R^2 = 0.67$), весной на глубине 5 метров ($P < 0,05$, $R^2 = 0.68$), 10 метров ($P < 0,05$, $R^2 = 0.59$) и 20 метров ($P < 0,05$, $R^2 = 0.82$), осенью на глубине 20 метров ($P < 0,05$, $R^2 = 0.95$), зимой на глубине 5 метров ($P < 0,05$, $R^2 = 0.98$) и 20 метров ($P < 0,05$, $R^2 = 0.99$).

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что использование погружного флуориметра для определения концентрации клеток фитопланктона и его биомассы возможно в Белом море, но с весьма высокой долей ошибки.

Работа выполнена в рамках Госзадания Зоологического института РАН, № АААА-А19-119022690122-5

Список литературы

- 1) Бергер В. Я. Продукционный потенциал Белого моря. - Санкт-Петербург : Зоологический институт РАН, 2007. – 289 с.
- 2) Минеева Н.М., Щур Л.А. Содержание хлорофилла а в единице биомассы фитопланктона (обзор) // Альгология. - 2012. - 12, №4. - С. 423-437

ЦИАНОБАКТЕРИАЛЬНЫЕ «ЦВЕТЕНИЯ» В ПРИБРЕЖНОЙ ЧАСТИ КУРШСКОГО ЗАЛИВА В 2015-2017 ГГ.

Смирнова М.М.

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

smirnova-mm@mail.ru

Ключевые слова: цианобактериальные «цветения», фитопланктон, температура воды, гидрологические сезоны, Куршский залив.

Куршский залив - крупнейшая лагуна Балтийского моря, полузакрытая, мелководная, преимущественно пресноводная, гипертрофная. Прибрежная зона Куршского залива, в т.ч. национальный парк федерального значения «Куршская коса», является местом интенсивной рекреации. Для залива характерно массовое развитие цианобактерий; в 1990-2000-х гг. их средняя биомасса возросла более чем на порядок, по сравнению с серединой XX в. [1]. С 1986 по 2006 гг. отмечено 11 лет, когда биомасса цианобактерий летом достигала уровня «гиперцветения» [2] ($> 100 \text{ г/м}^3$). С начала 1990-х показана приуроченность «гиперцветений» к годам наибольшего прогрева воды [1]. С конца 2000-х годов «гиперцветения» с доминированием потенциально-токсичных видов цианобактерий из родов *Microcystis*, *Aphanizomenon*, *Woronichinia*, *Planktothrix*, *Anabaena* стали регулярными и более продолжительными [3, 4, 5].

«Цветения» цианобактерий имеют множество негативных последствий: ухудшение качества и изменение гидрохимических свойств воды, заморы и гибель рыб и гидробионтов, снижение рекреационной привлекательности, а также - опасность для здоровья населения в связи с присутствием в воде токсичных метаболитов цианобактерий. Негативные последствия этого явления и происходящие погодные изменения обуславливают актуальность данного исследования. Цель данной работы - анализ фенологических проявлений, частоты и продолжительности «цветений» фитопланктона и некоторых гидрологических показателей на станции наблюдений в период 2015-2017 гг.

Работа проводилась совместно с научным отделом национального парка «Куршская коса»; старшим научным сотрудником О.В. Рыльковым были предоставлены данные по температуре и прозрачности воды. Станция наблюдения расположена в прибрежной части Куршского залива в районе музейного комплекса «Визит-центр». Измерения проводились по рабочим дням, утром. Температуру воды измеряли с помощью водного термометра, прозрачность воды - с помощью диска Секки. Были проанализированы фенологические изменения, связанные с развитием фитопланктона (на основе ежедневного фотоархива национального парка и собственных наблюдений), данные по температуре и прозрачности воды на станции наблюдений в исследуемый период. Определены время наступления и продолжительность гидрологических сезонов. Подробные результаты исследований были опубликованы [6].

По данным наших наблюдений в 2015 г. отмечена наибольшая частота и продолжительность «цветений» по сравнению с 2016 и 2017 гг. В этом же году были зафиксированы и наименьшие значения прозрачности воды за рассматриваемый период: 38 см - среднее для биологического лета и 0 см - минимальное. Интенсивное «цветение» началось в июле и закончилось в ноябре. Температурный пик воды ($+24 \text{ }^\circ\text{C}$) пришелся на вторую половину лета, когда в фитопланктоне преобладали потенциально-токсичные виды цианобактерий, что вызвало мощное и продолжительное «цветение».

В 2016 г. частота «цветений» фитопланктона была ниже, чем в 2015 г., и они были менее продолжительными. В течение летнего биологического сезона 2016 г. количество дней с температурой воды более $+20 \text{ }^\circ\text{C}$ было больше, чем в 2015 г., но «цветения» отмечены не были. Непродолжительное «цветение» было отмечено в середине сентября, затем с начала и до конца октября. В

начале ноября, несмотря на понижение температуры до $+5^{\circ}\text{C}$, снова было отмечено «цветение», длившееся несколько дней.

В 2017 г. «цветения» фитопланктона визуально не были сильно выраженными, как в предшествующие годы, в связи с иным температурным режимом. Также, были отмечены наибольшие значения прозрачности воды: 52 см - среднегодовое и 89 см - максимальное для биологического лета. Со второй декады июня было отмечено изменение цвета воды залива, связанное с развитием фитопланктона, продолжавшееся до начала октября, что, по температурным показателям, соответствовало биологическому лету. Характерные осенние «цветения» цианобактерий в 2017 г. также не были зафиксированы.

Самые интенсивные и продолжительные «цветения» за три года наблюдений отмечены в 2015 г. Температурный пик ($+24^{\circ}\text{C}$) пришелся на вторую половину лета, когда в фитопланктоне преобладают потенциально-токсичные виды цианобактерий, что вызвало мощное и продолжительное «цветение», продолжавшееся до конца осени. В 2016 г. отмечено меньше «цветений», т.к. температурный пик пришелся на первую половину лета, что в сочетании с гидрохимическими условиями не привело к цианобактериальному «цветению», но характерные осенние «цветения» все же наблюдались. В 2017 г. выраженных «цветений» не было отмечено. Из рассматриваемых трех лет это было самое холодное лето: температура воды не достигла $+24^{\circ}\text{C}$ ни разу, количество дней с температурой воды более $+20^{\circ}\text{C}$ было небольшим, что привело к незначительному уровню развития цианобактерий.

В то же время, среднегодовые значения температуры воды в 2015-2017 гг. были одинаковыми. Средняя температура воды в период биологического лета в 2015 и 2017 гг. была одинакова и составляла $+18^{\circ}\text{C}$. В 2015 и 2016 гг. максимальная температура воды достигала $+24^{\circ}\text{C}$. Таким образом, для выявления связи между температурой воды и интенсивностью «цветений» использование средних и максимальных значений температуры не подходит. Важную роль играет количество дней с определенной температурой и временное распределение тепла. Также необходимо учитывать совокупность целого ряда других абиотических и биотических факторов.

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы ИО РАН № 0149-2020-0035.

Список литературы

- 1) Александров С.В., Дмитриева О.А. Первичная продукция и показатели фитопланктона как критерии эвтрофирования Куршского залива Балтийского моря // Водные ресурсы. 2006. Т. 33, № 1. С. 104-110.
- 2) Александров С.В. Влияние климатических изменений на уровень эвтрофирования Куршского залива // Вестник Российского государственного университета им. И. Канта. – 2010. – Вып. 1. – с. 49-57.
- 3) Ежова Е.Е., Ланге Е.К., Русских Я.В., Жаковская З.А., Чернова Е.Н. Вредоносные цветения микроводорослей в Куршском заливе Балтийского моря в 2008-2011 гг. // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка "Куршская коса": сб. науч. ст. Калининград: Издательство БФУ им. И. Канта, 2012. Вып. 8. С. 81-95.
- 4) Ланге Е.К. Фитопланктонный комплекс российской части Куршского залива (2001-2007 гг. // Известия КГТУ. – Калининград: КГТУ, 2013. № 28. – С. 87-94.
- 5) Ezhova E., Lange E., Russkikh Y., Chernova E., Zhakovskaya Z. Dynamics of toxic HABs in the Curonian Lagoon, Baltic Sea during 2010-2013 / Book of abstracts. ICES Annual Science Conference (ASC) 15 – 19 September 2014. – H26 [1 электрон. опдиск (CD-ROM)].
- 6) Смирнова М.М., Рыльков О.В. Некоторые гидрологические показатели и динамика «цветений» фитопланктона в литорали Куршского залива в районе музейного комплекса «Курш-

ская коса» в 2015-2017 гг. // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка "Куршская коса": сб. науч. ст. Калининград: Издательство БФУ им. И. Канта, 2018. Вып. 14. С. 115-126.

КРИОФАУНА МОРСКОГО ЛЬДА В РАЙОНЕ АРХИПЕЛАГА ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА

Тимченко А.И.¹, Портнова Д.А.¹, Семин В.Л.²

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

²Южное отделение института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Геленджик

anna.timchenko@yandex.ru

Ключевые слова: криофауна, морской лед, Арктика.

Рассматривался состав криофауны морского льда в весенний период, в высокоширотном районе Арктики между градусами 80°-82° с.ш. Нижнюю поверхность арктического льда населяют различные многоклеточные организмы, среди них преобладают нематоды, копеподы, коловратки, бескишечные турбеллярии и др. [1]. Ледовая фауна является основным компонентом в морских экосистемах в полярных регионах, так как формирует основную часть суммарной продукции ледовых сообществ [2]. Ледяной покров на исследуемой территории, по многолетним данным, представлен преимущественно однолетним (северная часть Баренцева моря) и двухлетним льдом (южная часть бассейна Нансена) (PolarPortal).

Материал собран в ходе экспедиции «Трансарктика-2019» в Северном Ледовитом океане на НЭС «Академик Трешников». Пробы ледовых кернов были отобраны в период с апреля по май 2019 г. в течение сезонной дрейфующей научно-исследовательской станции «Северный полюс-2019» в районе архипелага Земля Франца Иосифа. Керны льда были вырезаны кольцевым буром с диаметром режущего кольца 15 см. Нижние 10 см льда растапливали при температуре 5-7 °С.

Далее растопленный лед фильтровали на сите с диаметром ячеек 20 мкм. Фильтрат смывали в емкость и фиксировали DESS (диметилсульфоксид с хлоридом натрия и ЭДТА-динатриевой солью). Дальнейшая обработка материала проводилась в лаборатории. Каждая проба была сконцентрирована на сите (20 мкм) и промыта. Тотальный подсчет материала происходил в камере Богорова.

Во всех пробах, на нижней поверхности льда ярко выраженного цветения фитопланктона не наблюдалось. Температура подледной воды изменялась в пределах от -1,1 до -1,8 °С. Соленость составляла 34,2-34,46 psu. Концентрации хлорофилла *a* в подледной воде на горизонтах 0-100 м изменялись в пределах 0,1-0,36 мг/м³. Невысокие значения концентраций пигментов могут свидетельствовать о снижении фотосинтетической активности, что характерно для данного региона Арктики в весенний период [3].

В исследуемый период на нижней поверхности льда всего идентифицировано четыре таксона фауны — Copepoda, Amphipoda, Nematoda и Acari. Доминируют Nauplia (Copepoda) и Harpacticoida. Большая часть животных была посчитана и классифицирована до вида и рода, если это было возможно. Копеподитные и науплиальные стадии были подсчитаны, но не были идентифицированы до вида.

Отмечено, что копеподы составляют 90 % от общей численности криофауны, и их средняя численность изменяется от 9 до 56 экз./10 см². В целом, гарпактициды составляют около 30-40 % от численности общей криофауны. Бентосные гарпактициды *Tisbe furcata* Baird, 1837 были представлены всеми возрастными стадиями, включая самку с яичевым мешком. Также отмечается единичное присутствие планктонной гарпактициды *Microsetella norvegica* Voesek, 1865. На нижней поверхности 0-5 см отмечалось присутствие *Calanus* spp. Все амфиподы представлены ювенильными стадиями. Преобладание ракообразных, входящих в состав криофауны арктического льда, ранее отмечалось во многих работах [1, 4, 5]. Нематоды были представлены половозрелыми самками ледовых видов *Cryonema tenue* Tchesunov, Rieman, 1995 и *Theristus melnikovi* Tchesunov, 1986.

Наибольший вклад в численность криофауны в апреле-мае 2019 года давали науплии копепод и бентосные гарпактициды. Северная часть Баренцева моря покрыта однолетним и двухлетним льдом. По сравнению с паковыми льдами в Центральном Арктическом бассейне, где преобладают нематоды и коловратки, в относительно молодых льдах происходит массовое расселение веслоногих и разноногих ракообразных. Адаптация к низким температурам и высокой солености позволяет проводить полный жизненный цикл в морском льду [6]. Также стоит отметить, что увеличение видового разнообразия и численности повышалось с увеличением толщины льда и продолжительности светового периода.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-05-00128

Список литературы

- 1) Bluhm B., Hop H., Vihtakari M., Gradinger R., Iken K., Melnikov I., Søreide J. 2018. Sea ice meiofauna distribution on local to pan-Arctic scales // *Ecology and Evolution*. 8. 10.1002/ece3.3797.
- 2) Дворецкий В.Г., Дворецкий А.Г. 2013. Особенности биологии ракообразных, ассоциированных с морским льдом в Арктике (обзор) // *Вестник Кольского научного центра РАН*. №1(12). С. 43-57.
- 3) Водопьянова В.В., Ващенко П.С., Макаревич П.Р. 2017. Концентрация хлорофилла в пелагиали Баренцева моря в весенний период // *Труды Кольского научного центра РАН* №2-4 (44). С. 31-39.
- 4) Melnikov, I.A. 1997. *The Arctic sea ice ecosystem*. Gordon Breach Science Publishers, Amsterdam, 204 pp.
- 5) Sakshaug E., Johnsen G., Volent Z. 2009. Sea Ice Fauna. In Caroline E. Arnt, Bjorn Gulliksen, Ole Jorgen Lonne and Jorgen Berge. *Ecosystem Barents Sea* (pp. 303-323). Trondheim, Norway: Tapir Academic Press.
- 6) Nozais C., Gosselin M., Michel C., Tita G. 2001. Abundance, biomass, composition and grazing impact of the sea-ice meiofauna in the North Water, northern Baffin Bay // *Marine Ecology Progress Series*. Vol. 217. P. 235–250.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИКТОФОВЫХ РЫБ В ЗОНЕ МАРОККО В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Халматова Э.Р., Гулюгин С.Ю.

Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»), г. Калининград

elmira_halmatova@mail.ru

Ключевые слова: миктофиды, Марокко, распределение, индекс численности, гидрологические условия.

После последней переоценки общей биомассы мелких мезопелагических видов рыб (ММР) в Мировом океане в сторону их десятикратного увеличения [1] резко возрос интерес к роли этих видов в экосистеме и возможности их коммерческого использования [2]. В результате экологических исследований миктофид в районе Центрально-Восточной Атлантике (ЦВА) в 1980-х годы и нашим наблюдениям в 2000-2010-е годы в ИЭЗ Марокко и Мавритании было выявлено, что в темное время суток значительная часть обитающих над континентальным склоном мелких мезопелагических рыб (ММР) поднимается с глубин 120-390 м в верхний 50-ти метровый слой [3, 4, 5]. В связи с этим используемая в АтлантНИРО методика съёмок пополнения мелких пелагических промысловых рыб ЦВА оказалась пригодной для экологических исследований ММР [4, 5, 6]. Использование этой методики позволяет получать сравнимые индексы численности миктофид, отражающие межгодовую динамику процессов, происходящих в мезопелагической части ихтиоценоза.

Материал по видовому составу и численности миктофид собирался на 9 съёмках пополнения молоди промысловых пелагических видов в 2008-2019 гг. между 20°40' и 32° с.ш. Съёмки выполнялись почти ежегодно с конца октября-ноября до декабря-начала января при использовании трала РТТМ 70/300 со вставкой с размером ячеей 5 мм. Облов верхнего 100 метрового слоя воды проводился в течении 30 минут в темное время суток по стандартной схеме станций. При сборе и обработке материала были использованы стандартные ихтиологические методики.

В целом в исследованных пробах было определено 17 видов миктофид, относящихся к 7 родам. Зона Канарского течения является местом смешения фаун, поэтому обнаруженные виды миктофид принадлежали двум зоогеографическим комплексам - бореальному (4 вида) и тропическо-субтропическому (13 видов). Кроме того, над внешним шельфом и материковым склоном присутствовали две экологические группировки миктофид - дальненеретические и океанические. Наибольшую численность в таксоценозе создают виды, принадлежащие к дальненеретическому надсклоновому комплексу (теплолюбивые: *Diaphus dumerilii*, *D. taaningi*; холодолюбивые: *Notoscopelus bolini* и *Ceratoscopelus maderensis*), тогда как увеличение видового разнообразия достигается за счет более чем десятка теплолюбивых океанических видов (*D. perspicillatus*, *Myctophum selenops* и пр.) Отмечено, что часто тепло- и холодолюбивые виды миктофид попадают в одном улове.

По численности и биомассе доминирующими видами были *D. dumerilii* и *D. taaningi*. Широко-тропический *D. dumerilii* ежегодно составлял 50-80% биомассы общего улова ММР за съёмку. Поэтому межгодовая динамика индексов численности миктофид в первую очередь обусловлена динамикой обилия именно дальненеретического *D. dumerilii*.

В осенне-зимний период у побережья Марокко миктофиды образуют максимальные концентрации в районах фронтальных зон на границе апшвеллинга и на периферии антициклонических круговоротов на участках 27-28° и 22-24° с.ш. Видовое разнообразие миктофид во многом обусловлено присутствием затоков океанических вод, особенно в районе 22-24° с.ш. При наличии этих вод миктофиды обнаруживались над глубинами 70-100 м, а также часто встречались представители океанических видов, более характерных для крупномасштабных циркуляционных систем.

При анализе зависимости индекса численности миктофид от гидрологических условий была найдена обратная связь между величиной индекса численности и осредненной по исследуемой

акватории температурой на глубинах 100-150 м. Замечено, что в холодные годы общая численность миктофид, в первую очередь *D. dumerilii*, увеличивается, а в теплые годы, наоборот, снижается по сравнению с численностью предшествующего года. В отличие от 2000-х годов, в 2015-2019 гг. у побережья Марокко наблюдался общий тренд на похолодание. Максимальный индекс численности миктофид за рассматриваемый период (2008-2019 гг.) был получен по результатам обработки съемки 2019 г. и составил 112 млрд экз., что значительно выше среднемноголетнего значения (25 млрд экз.). Феномен увеличения численности тропических видов при понижении температуры в районе требует дополнительного изучения.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания № 076-00005-19-00.

Список литературы

- 1) Irigoien X. Large mesopelagic fishes biomass and trophic efficiency in the open Ocean / X. Irigoien, T.A. Klevjer, A. Røstad, U. Martinez, G. Boyra, J. L. Acuña, A. Bode, F. Echevarria, J. I. Gonzalez-Gordillo, S. Hernandez-Leon, S. Agusti, D.L. Aksnes, C.M. Duarte, S. Kaartvedt // Nature Communications. – 2014. – 5: 3271. – P. 1–10.
- 2) Smith A.D.M. Impacts of fishing low-trophic species on marine ecosystem / A.D.M. Smith, C.J. Brown, C.M. Bulman, A.F. Elizabeth, J.Penny, C.K. Isaac, H. Lozano-Montes, S. Mackinson, M. Marzloff, L.J. Shannon, Y. Shin, J. Tam // Science. – 2011. – № 333. – P. 1147–1150.
- 3) Константинова М.П. Мелкие мезопелагические рыбы Атлантического океана / М.П. Константинова, Т.Г. Васильева // Состояние биологических ресурсов рыбной промышленности в Центральной и Южной Атлантике и Восточной части Тихого океана: сб. науч. тр. – Калининград: Изд-во АтлантНИРО, 1991. – С. 132–142.
- 4) Гулюгин С.Ю. Распределение рыб семейства Mictophidae у побережья Марокко в декабре 2011 г. - январе 2012 г. / С.Ю. Гулюгин., В.Н. Шнар, Е.И. Кукуев // Труды АтлантНИРО. – Калининград: Изд-во АтлантНИРО, 2017. – Т. 1. – № 4. – С. 107–120.
- 5) Халматова Э.Р. Краткая характеристика таксоцена миктофовых рыб (Сем. Mictophidae) в зоне Марокко по данным съемки 2017 года / Э. Р. Халматова, Е. И. Кукуев, О. Ю. Краснобородько, С. Ю. Гулюгин // Вестник молодежной науки. – 2019. - № 2 (19). - С. 23.
- 6) Тимошенко Н.М. Планирование, результаты и совершенствование количественного учёта пополнения пелагических рыб Центрально-Восточной Атлантики [Текст] / Н. М. Тимошенко, П.А. Винницкий // Труды АтлантНИРО. Промыслово-биологические исследования в 2004-2005 годах. - Т.1. Условия среды, методы исследований, динамика численности гидробионтов и промышленное рыболовство. - Калининград, 2007. - С. 24-39.

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ МЕТАБОЛИТОВ POTAMOGETON PERFOLIATUS L. В РАЗНОТИПНЫХ ВОДОЕМАХ КАК ИНДИКАТОР ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Ходонович В.В., Явид Е.Я.

Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ "ВНИРО" ("ГосНИОРХ" им. Л.С. Берга), г. Санкт-Петербург

vapity94@mail.ru

Ключевые слова: макрофиты, *Potamogeton perfoliatus* L., летучие низкомолекулярные органические соединения, хромато-масс-спектрометрия, Ладожское озеро, Онежское озеро, водные экосистемы.

В настоящее время в мире интенсивно развиваются хромато-масс-спектрометрические исследования растений. Наиболее высокими темпами идёт развитие хромато-масс-спектрометрических исследований в отношении наземных растений, прежде всего имеющих пищевое, медицинское, фармакологическое значение и продуцентов эфирных масел. Подобных же работ в отношении водных растений в сотни раз меньше. Водные макрофиты играют важную роль в формировании химического состава органических веществ в водоемах. Они продуцируют и выделяют в окружающую среду ряд соединений, которые называются метаболиты - вещества, образующиеся в клетке в процессе метаболизма. Так как соединения, которые входят в состав метаболитов водных растений, являются биологически активными, то есть при малых концентрациях они способны участвовать в физиологических процессах живых организмов, то становится понятным интерес к этим веществам с точки зрения функционирования и управления экосистем.

Одним из ярких примеров служит возможность подавления «цветения» водоемов с использованием низкомолекулярных органических соединений растений, относящихся к группе аллелохемиков, для угнетения роста водорослей и цианобактерий в водных объектах [1].

Впервые проведено сравнительное хромато-масс-спектрометрическое исследование эфирных масел рдеста пронзеннолистного (*Potamogeton perfoliatus* L.) в разных по генезису водоемах - Ладожском и Онежском озерах, в прудах Парка Победы, с целью исследования компонентного состава летучих низкомолекулярных органических соединений рдеста и оценки возможности использования его низкомолекулярного метаболома для индикации экологического состояния водных экосистем.

Основной исследовательский метод работы - газовая хромато-масс-спектрометрия. Собранные растения тщательно отмывались от имеющихся обрастаний и сушились без доступа прямых солнечных лучей до воздушно-сухого состояния. Эфирное масло, содержащее низкомолекулярные органические соединения (НОС), из высушенных растений, было получено методом гидроdistилляции в течение 6 часов с использованием аппарата Клевенджера. Перед перегонкой сухой растительный материал измельчался до порошкообразного состояния в блендере Waring BB-25E (США). Полученный дистиллят экстрагировался гексаном. Состав НОС изученных видов растений выявлялся в гексановых экстрактах на хромато-масс-спектрометрическом комплексе TRACE ISQ с последующей пошаговой обработкой хроматограмм. Идентификация выявленных НОС проводилась с использованием библиотек масс-спектров NIST-2014 и Wiley. Для более точной идентификации применялись линейные индексы удерживания, полученные с использованием стандартов алканов C7-C30. Количественный анализ выполнялся с использованием декафторбензофенона и бензофенона в качестве внутренних стандартов. Для выявления сходства полученных образцов эфирного масла по составу НОС применялись коэффициенты сходства Жаккара и Съёренсена-Чекановски. По результатам сравнения Ладожского и Онежского озер можно говорить о достаточно высоком сходстве компонентного состава НОС рдеста пронзеннолистного из этих водоемов (коэффициент общности Съёренсена-Чекановски равен 0,6). Пруды Парка Победы имеют низкий

уровень сходства с озерами Ладожским и Онежским по компонентному составу НОС *P.perfoliatus* (индекс равен 0,3).

По результатам проведенного хромато-масс-спектрометрического анализа эфирного масла рдеста пронзеннолистного во всех трех изучаемых нами водоемов было обнаружено 324 компонента, из которых 46 были обнаружены во всех трех местообитаниях - Ладожском, Онежском озерах и в прудах Парка Победы. Известен факт уменьшения количества и ухудшение качества эфирного масла у наземных растений при увеличении антропогенного воздействия. Наибольшее число НОС зафиксировано у рдеста пронзеннолистного из прудов Парка Победы, а именно в Корабельном пруду (162 вещества), что может свидетельствовать о благоприятных условиях произрастания *P. perfoliatus*. В крупном естественном водоеме - в Ладожском озере в Свирской губе было найдено 94 соединения, а наименьшее количество в Волховской губе - 77 соединений, что, возможно, связано с угнетением здесь растений из-за повышенной антропогенной нагрузки. Онежское озеро - водоем с наименьшим числом НОС (д. Суйсарь 85 веществ, р. Лижма - 81 вещество), что обусловлено олиготрофными условиями обитания, которые неблагоприятны для рдеста и могут его угнетать так же, как и антропогенное загрязнение. Но, в целом, количество НОС в водоемах (Ладога, Онега, пруды Парка Победы) говорит о ненарушенности местообитаний и о минимальной антропогенной нагрузке.

Основная группа веществ, обнаруженная во всех местообитаниях - спирты, которые известны своим повышенным содержанием в биотопах с повышенным антропогенным воздействием. В озерах естественного происхождения количество найденных спиртов - 25, а в прудах Парка Победы - 36 соединений. Карбоновых кислот, как индикаторов ненарушенного водного биотопа, в составе метаболома рдеста из Ладожского и Онежского озер выявлено достаточно много (7 соединений), но еще больше их было обнаружено в прудах Парка Победы - 16 соединений, что как и большое общее число НОС свидетельствует о благоприятной среде обитания для *P.perfoliatus* в этих водоемах.

Полученные результаты показали, что существует возможность использования низкомолекулярных метаболитических профилей водных макрофитов для исследования и оценки экологического состояния водных систем. Более того, компонентный состав НОС водных макрофитов и их роли в водных экосистемах, в частности - рдестов, изучен достаточно слабо, и это определяет задачу дальнейших всесторонних исследований закономерностей формирования низкомолекулярного метаболома водных растений [2].

Список литературы

- 1) Курашов Е.А., Крылова Ю.В. Перспективы использования низкомолекулярного метаболома водных макрофитов для индикации экологического состояния водных экосистем // Вода: химия и экология, 2018, с. 68-79
- 2) Курашов Е. А., Крылова Ю. В., Митрукова Г. Г., Чернова А.М. Летучие низкомолекулярные метаболиты водных макрофитов, произрастающих на территории России и их роль в гидроэкосистемах // Сибирский экологический журнал, 2014. №4. С. 573-591.

НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ ПО МОРФОМЕТРИИ И СОЗРЕВАНИЮ САМЦОВ КРАБА RHITHROPARANOPEUS HARRISII (GOULD, 1841) (DECAPODA: BRACHYURA: PANOPEIDAE) С АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО БАССЕЙНА

Чаузова Д.В., Судник С.А.

Калининградский государственный технический университет, г. Калининград.

Chaauz@icloud.com

Ключевые слова: *rhithroparopeus harrisi*, размер половозрелости, морфометрия, аллометрия роста, комменсалы, размерная структура.

Краб Харриса, *Rhithroparopeus harrisi*, - широко распространенный вид, встречается в Тихом и Атлантическом океанах, во всех морях Европы. Родина краба - Северная Америка. В Черное море вселился в 1937 г.; теперь его мелководье и Азовского моря густо им заселена. При пищевой конкуренции, а также, будучи носителем вирулентных бакуловирусов, хозяином ряда паразитов, может подавлять местных ракообразных. Интенсивная биотурбация крабов вносит изменения в новые экосистемы. Быстро становятся пищевыми объектами для рыб-бентофагов [4]. Биология краба в российских водах изучалась крайне неравномерно. Данных о репродуктивной биологии, морфометрии крабов у Азово-Черноморских берегов РФ недостаточно. Цель работы: оценка размеров ювенильных особей и самцов краба Харриса Азово-Черноморского бассейна, изучение линейного роста самцов, в том числе для определения размера их полового созревания.

Материалом послужили 217 особей (ювенильных и самцов; анализ состояния самок в работу не вошёл) из 15 проб, собранных на глубине до 3,2 м у берегов Черного (36 экз.) и Азовского морей (181 экз.) сотрудниками Института океанологии им. П.П. Ширшова (г. Москва) и Колесниченко А.И. («КГТУ») в 2013-2015 гг. Использована методика лабораторного биологического анализа крабов [5]. Морфометрия включала измерения длины и ширины карапакса (ДК, ШК), абдомена (ДА, ША), правой клешни (Дкл и Шкл, а также - длины её ладони (ДЛкл)) и меруса 3-ей пары то-ракоподов (ДМ, ШМ)). Для определения размера половозрелости самцов применено два метода: морфометрический, базирующийся на том, что при половом созревании самцов крабов происходит изменение в аллометрическом росте ряда элементов их экзоскелета [3]. и гистологический (по 4-балльной шкале определялась стадия созревания семенников). Используя аллометрическое уравнение роста [3], изучали особенности роста размерных признаков относительно базового размера тела - ШК. Проведена оценка состояния экзоскелета крабов.

Размеры 7 ювенильных особей составили: ШК 3,2-4,8 мм (в среднем - $4,2 \pm 0,66$ мм) при ДК 2,2-4,0 мм ($3,2 \pm 0,64$ мм); 210 самцов: ШК 5,7-31,2 мм ($20,4 \pm 4,50$ мм) при ДК 4,0-21,2 мм ($15,2 \pm 3,28$ мм). Среди самцов доминировали особи с ШК 18-24 мм (67,2 %), доля более мелких самцов составила 20,9 %, более крупных не превысила 11,9 %. Постоянное присутствие в 2011-2014 гг. группы самцов с ШК 18-20 мм отмечали, например, в Таманском заливе, и другие авторы [2].; по нашим данным средняя ШК самцов здесь в 2014 г. составила $21,2 \pm 3,38$ мм, при диапазоне 9,4-31,2 мм - нам встретились максимально крупные для залива самцы, так как ранее были известны с ШК до 23,9 мм [2].

Анализ данных морфометрии ювенилов и самцов *R. harrisi* позволил оценить изменчивость размеров девяти элементов их экзоскелета, рассчитаны коэффициенты перехода от них к ШК крабов. Полученные данные - часть биометрического паспорта вида, будут полезны исследователям биологии крабов Харриса и трофологам - для идентификации размеров краба в желудках гидробионтов Азово-Черноморского бассейна.

Для изучения закономерностей роста элементов экзоскелета самцов краба Харриса, в том числе и с целью выяснения возможности применения морфометрического метода для определения размера их полового созревания, проведены анализы аллометрии роста их пяти значимых пластических признаков (Дкл, Шкл, ДЛкл, ДМ и ШМ) по отношению к двум базовым размерам

тела - ШК и ДК. Выявлена высокая сила связи между размерами карапакса с одной стороны и размерами клешни и длиной меруса - с другой. При этом и у самцов и у ювенилов отмечена отрицательная аллометрия их роста (особенно клешни), и смены её с ростом крабов на положительную не наблюдалось, как это отмечено при половом созревании ряда крабов [3], что не позволило применить морфометрический метод для определения размера половозрелости самцов краба *R. harrisi*. Анализ репродуктивного состояния самцов показал, что совсем неразвитые семенники имело 4,2 % особей (ШК 5,7-9,8; $7,8 \pm 1,67$ мм); гонады в начале созревания были у 4,7 % самцов (ШК 10,0-13,0; $12,1 \pm 0,9$ мм); активно созревающие - у 41,4 % (ШК 13,4-22,0; $18,8 \pm 1,90$ мм); доминировали самцы со зрелыми семенниками (49,5 %; ШК 18,9-31,2; $23,6 \pm 2,16$ мм).

Линяющие особи крабов обнаружены не были. У одного самца (ШК 27,2 мм) на клешненоносной ноге найдено разрушение экзоскелета размерами 1,4x1,0 мм, которое напоминает признаки панцирной болезни ракообразных [6]; частота встречаемости 0,47 %. Покровы крабов Харриса с побережья Азово-черноморского бассейна, как это часто случается у крабов [1], - субстрат для размножения и транспортировки усонюгих раков: у трех самцов обнаружены морские желуди (надотряд Thogacis; возможно *Balanus improvisus*; экстенсивность заселения - 1,4 %): у двух особей (ШК 20,6-24,6 мм) по 1 экз. - на карапаксе, у одной (ШК 23,2 мм) - 1 экз. на клешненоносной ноге.

Список литературы

- 1) Дворецкий А.Г. Основные симбионты камчатского краба в Баренцевом море / А.Г. Дворецкий, С.А. Кузьмин, Т.А. Бритаев // Междунар. конф. «Современное состояние популяций крабов Баренцева моря и их взаимодействие с донными биоценозами» (Мурманск, 25-29 сент. 2006 г.): материалы. — Мурманск: Мурманский морской биологический ин-т КНЦ РАН, 2006. — С. 25—28.
- 2) Залота А.К. Чужеродные виды десятиногих ракообразных (Crustacea Decapoda) в морях России и сопредельных водах: дисс. ... канд. биол. наук : 03.02.10 / Залота Анна Константиновна; Ин-т океанологии им. П.П. Ширшова РАН; науч. рук. В.А. Спиридонов. Москва, 2017. — 255 с.
- 3) Клитин А.К. Распределение, биология и функциональная структура ареала камчатского краба в водах Сахалина и Курильских островов: дис. ... канд. биол. наук. 03.00.18 / Клитин Андрей Константинович; СахНИРО ; науч. рук. Б.Г. Иванов. Южно-Сахалинск, 2002. — 215 с.
- 4) Резниченко О.Г. Трансокеаническая аутоакклиматизация ритропанопеуса (*Rhithropanopeus harrisi*: Crustacea, Brachyura) / О.Г. Резниченко // Тр. Ин-та океанол. АН СССР. — 1967. — № 85. — С. 136—177.
- 5) Судник С.А. Биология крабов *Lyphira perplexa* Galil, 2009 (Crustacea: Brachyura: Leucosiidae) Южно-Китайского моря / С.А. Судник, Е.А. Поддубева // Научный журнал «Известия КГТУ». — 2019. — № 52. — С. 43—59.
- 6) Устименко Е.А. Воздействие патогенов различной этиологии на камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius) в Охотском море / Е.А. Устименко, И.В. Карманова, Т.В. Рязанова // Междунар. конф. «Современное состояние популяций крабов Баренцева моря и их взаимодействие с донными биоценозами» (Мурманск, 25-29 сент. 2006 г.): материалы. — Мурманск: Мурманский морской биологический ин-т КНЦ РАН, 2006. — С. 101—103с.

АНАЛИЗ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ ЧЕРВЕЙ ТИПА ANNELIDA АКВАТОРИИ БЕЛОГО МОРЯ

Щербакова П.А.¹, Гавирова Л.А.¹, Попова А.А.², Ельченинов А.Г.², Шестаков А.И.¹,
Кубланов И.В.^{1,2}

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

²ФИЦ "Фундаментальные основы биотехнологии" РАН, г. Москва

polia.scherbackova@yandex.ru

Ключевые слова: аннелиды, микробиом, секвенирование.

Кольчатые черви (тип Annelida) - одна из важнейших групп морского бентоса. Аннелиды доминируют в донных сообществах шельфа и обычно составляют 45-50% от общей биомассы и до 80% от общего числа организмов макробентоса. В то же время микробентос, основой которого являются микроорганизмы (бактерии и археи), также играет большую роль в круговороте веществ донных осадков. Однако взаимодействие этих важнейших компонентов бентоса изучено крайне слабо, в частности, нет никаких данных о конкретной роли микроорганизмов в питании и адаптации червей к условиям окружающей среды. Целью данной работы является исследование микробиомов червей типа Annelida - массовых обитателей морских донных осадков. Исследование позволит выяснить роль микроорганизмов в сложном процессе трансформации органики в современных донных сообществах, а также определить связи микробентоса и макробентоса. Кроме того, в составах микробных сообществ аннелид могут быть обнаружены новые микроорганизмы.

Были исследованы составы микробиомов червей типа Annelida из семейств Terebellidae и Orbiniidae, различных по способу питания, а также микробные сообщества окружающей их среды. Выбраны несколько типов образцов материала: целый червь вида *Terebellides stroemi*, а также венчик щупалец и кишечник особи того же вида, целый червь вида *Scoloplos armiger*, а также образцы грунта и воды в местах отбора червей. Сбор материала проводили в Кандалакшском заливе Белого моря в окрестностях Беломорской Биологической Станции им. Н. А. Перцова Биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (ББС МГУ) в августе 2019 г. Образцы выделенной ДНК использовали для анализа микробных сообществ с помощью NGS-профилирования образцов по V4 участку 16s рРНК, в результате данного анализа были выявлены доминирующие представители микробиоты морских червей.

Во всех исследуемых образцах доминирующей группой являются протеобактерии (*Gamma-proteobacteria*). Однако между микробными сообществами разных образцов наблюдаются существенные отличия. Так, для образца щупалец характерно преобладание бактерий рода *Pseudoalteromonas* (до 80% от общего числа микроорганизмов). Это типичные представители морских местообитаний, аэробные микроорганизмы, преимущественно психротолерантные. Могут быть как свободноживущими организмами, так и симбионтами морских водорослей, грибов и животных. В образцах кишечника и целого червя было отмечено большое разнообразие микроорганизмов, без значительного преобладания какой-либо группы. В целом в этих образцах можно выделить семейство *Vibrionaceae*, доля которого составила 12% и 18% от общего количества микроорганизмов соответственно. По сравнению с образцами целого червя, в кишечнике наблюдали большую долю анаэробных микроорганизмов. Так, доля представителей класса *Deltaproteobacteria* составила 8% и 17% от общего количества микроорганизмов в образце целого червя и кишечника (выше, в частности, доля анаэробных бактерий порядка *Desulfobacterales* - 5 и 12%). Наблюдалось также большее количество строгих анаэробов порядка *Clostridiales* (0,7% в образце целого червя и 6% в составе кишечника), а также увеличение доли некультивируемой группы B2M28 из класса *Gamma-proteobacteria*, представители которой были ранее обнаружены в образцах донных осадков северных морей и по филогенетическим данным наиболее близки к симбионтам морских беспозвоночных (моллюска *Codakia orbicularis*). Образцы червя *Scoloplos armiger*, окружающей среды

(толща и поверхность грунта, вода) и трубок червей *Terebellides stroemi* еще находятся в стадии обработки.

В целом для всех исследованных образцов, кроме щупалец *Terebellides stroemi*, отмечено высокое разнообразие состава обнаруженных микробных сообществ, который варьирует в зависимости от типа исследуемого материала. После завершения анализа образцов червей *Scoloplos armiger*, окружающей среды (толща и поверхность грунта, вода) и трубок червей *Terebellides stroemi* можно будет выявить группы микроорганизмов, типичные для разных аннелид, что позволит оценить их роль в жизнедеятельности червей, а также предположить механизмы взаимодействия микро- и макробентосных организмов.

Работа поддержана грантом РФФИ 20-04-01010 А.

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДРЕВНИХ ПОГРЕБЕННЫХ ДОЛИН НЕВСКОЙ ГУБЫ

Буданов Л.М.

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт имени А.П. Карпинского, г. Санкт-Петербург

Leonid_Budanov@vsegei.ru

Ключевые слова: Балтийское море, Финский залив, Санкт-Петербург, палеодолины, геофизика.

Для территории Санкт-Петербурга по данным многочисленных скважин, пробуренных различными изыскательскими организациями, построена схема кровли дочетвертичных пород, которая отражает геометрию древней системы русел. Однако в пределах обширных мелководных акваторий города (Сестровецкий разлив, Невская губа) данные о погребенной дочетвертичной поверхности носят преимущественно гипотетический характер и подтверждены бурением только в районе створов комплекса защитных сооружений от наводнения.

На территории города и в акватории Невской губы погребенные долины являются врезами в отложениях вендского (в центральной и северной частях рассматриваемого района) или кембрийского (на юге) возрастов, которые полностью заполнены и перекрыты четвертичными отложениями. В строении врезов выделяют тальвеги - самые глубокие (осевые) части врезов, склоновые участки и террасы. Врезы имеют U-образную форму, как правило, они ассиметричны, то есть борта имеют различную крутизну, на пологом склоне возможно террасирование, и высота бортов (от тальвега до террас) может отличаться. Палеодолины характеризуются значительной глубиной вреза в дочетвертичных породах до 100 м при ширине до 1-2 км, крутизна склонов относительно невелика и изменяется обычно в пределах 12-15°, реже 18°, в верхней части - менее 10°. Тальвеги самых глубоких долин находятся на абсолютных отметках до -110 м. Палеодолины широко проявлены на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области, а также на многочисленных акваториях региона, многие из которых можно отнести к малоглубинным. Особенности геологического строения погребенных врезов обуславливают сложные инженерно-геологические и гидрогеологические условия, которые необходимо учитывать при проектировании строительных объектов, прокладке подземных коммуникаций и решении гидрогеологических задач.

В четвертичных отложениях города прослеживается до трех водоносных горизонтов: нижний межморенный (вологодско-московский), верхний межморенный (московско-осташковский), а также горизонт грунтовых вод поздне- и послеледниковых отложений. В коренных породах выделяют вендский комплекс, ломоносовский, кембро-ордовикский и ордовикский горизонты. Высокая изменчивость четвертичных отложений, а также наличие нескольких водоносных горизонтов различной минерализации, некоторые из которых напорные, существенно осложняет геоэлектрическую модель погребенных долин [1]. Большой научный интерес представляет информация о строении погребенных долин, которая отражает условия седиментации в ледниковые и межледниковые периоды и может быть использована для палеореконструкций.

На малоглубинных акваториях восточной части Финского залива для изучения верхней части донных отложений погребенных долин было принято решение использовать методы сопротивлений, так как на данный момент существует методика непрерывных измерений - непрерывное электрическое акваторное зондирование (НАЗ), разработанная в лаборатории малоглубинной электроразведки геологического факультета МГУ [2]. Такой метод в условиях высокой изменчивости верхней части геологического разреза по латерали и его преимущественно осадочного

происхождения способен обеспечить получение достоверной геофизической информации. На основе опубликованной информации была составлена априорная геоэлектрическая модель погребенной долины, характерной для акватории Невской губы. Проведенное моделирование показало, что применение симметричной установки Шлюмберже обеспечивает наибольшую геологическую информативность, позволяя обнаружить и расчленив внутреннее строение погребенной долины.

Технология НАЗ предусматривает использование одного низкочастотного генератора тока, многоканального измерителя и плавающей электроразведочной «косы». Для возбуждения поля применялся электроразведочный генератор «АСТРА-100» (ООО «Северо-Запад», Россия). В качестве регистрирующей аппаратуры использовался многоканальный электроразведочный измеритель «ИМВП-8» (ООО «Северо-Запад», Россия). В качестве рабочей установки использовалась инверсная установка Шлюмберже, в которой в центре «косы» расположен питающий диполь, а множество пар электродов приемных линий расходятся от центра к периферии. В процессе съемки непрерывно осуществлялись электроразведочные наблюдения, GPS-привязки положения лодки и промеры глубин эхолотом. Дополнительно на каждом профиле с помощью резистивиметра выполнялись измерения удельного электрического сопротивления (УЭС) воды на глубинах 1-1.5 м. Инверсия данных НАЗ производилась с использованием программы Res2dinv. В результате инверсии данных получены 2D геоэлектрические разрезы, характеризующие распределение УЭС по профилям геофизической съемки до глубины 40 м [3].

Фактическое положение врезов, зафиксированных по результатам проведенных работ, существенно отличается от предполагаемого (по опубликованным схемам [1,4,5]). Смещение тальвегов врезов достигает 400 м на суше и до нескольких километров на акватории, при этом их пространственное распределение в Невской губе получило существенное уточнение во многом благодаря предложенной выше типизации (ранее считалось, что долина в центральной части протягивается от створа комплекса защитных сооружений (КЗС) до Василеостровского района, а не от о. Котлин). Такие расхождения, в первую очередь, связаны с отсутствием фактических материалов в зоне пляжей и на малоглубинных акваториях.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ №19-35-50072 «Выявление палеодолин в современных береговых зонах российских секторов Балтийского моря».

Список литературы

- 1) Дашко Р.Э., Александрова О.Ю., Котюков П.В., Шидловская А.В. Особенности инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга // Развитие городов и геотехническое строительство. Выпуск №1. 2011. С. 1-47.
- 2) Андреев М.А., Зайцев Д.А., Модин И.Н. Геофизические исследования на озере Тись // Природа и история Поугорья. Выпуск. 5. 2009. С. 24-28.
- 3) Буданов Л.М., Глазунов В.В., Сергеев А.Ю., Ефимова Н.Н. Применение методов гидроэлектроразведки для картирования форм палеорельефа акватории «Сестрорецкий Разлив» // Естественные и технические науки. № 3. 2017. С. 52-57.
- 4) Амантов А.В. Карта рельефа поверхности дочетвертичного рельефа // Геоэкологический атлас восточной части Финского залива. 2002. 50 с.
- 5) Ауслендер В.Г. Янковский А.С., Кабаков Л.Г., Плешивцева Э.С. Новое в геологии Санкт-Петербурга. Минерал. №1(4). 2002. С. 51-58.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗОН ФОКУСИРОВАННОЙ РАЗГРУЗКИ УГЛЕВОДОРОДОВ НА ДНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Видищева О.Н.¹, Егошина Е.Д.¹, Кудяев А.А.¹, Соловьева М.А.¹, Ахманов Г.Г.¹,
Хлыстов О.М.²

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

²Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск

vid6877@yandex.ru

Ключевые слова: донные осадки, углеводородные газы, фокусированная разгрузка флюидов, грязевой вулканизм, газовые гидраты, материнские толщи.

Озеро Байкал расположено в центре Байкальской внутриконтинентальной рифтовой зоны. В число уникальных характеристик озера Байкал входят природные выходы нефти и газа на дне озера, а также присутствие в донных отложениях газовых гидратов.

Эмиссия углеводородных (УВ) газов из донных отложений озера Байкал известна давно. Фокусированная разгрузка газов представлена в форме газовых сипов и грязевых вулканов, с которыми часто ассоциированы придонные скопления газовых гидратов. К настоящему времени обнаружено и закартировано 54 района распространения газовых гидратов в донных отложениях озера Байкал [1].

С 2014 года проводятся ежегодные Международные экспедиции Class@Baikal на акватории озера Байкал, одной из задач которых является проведение газо-геохимических исследований донных осадков. Особое внимание уделяется изучению зон фокусированной разгрузки газов и изучению структур с газовыми гидратами. За шесть лет работы проекта более 2000 проб УВ газов, отобранных в пределах центральной и южной котловин озера, проанализировано.

Результаты исследований проб УВ газов показали, что УВ газ из донных осадков озера Байкал в основном состоит из метана (на 90-100%). Из гомологов метана встречается этан, пропан и бутан. Изотопный состав углерода метана варьирует в пределах от -42,8‰ до -84,34‰, что указывает на различное происхождение изученных газов: биогенное, смешанное и термогенное [2]. Наибольший интерес представляет газ термогенного происхождения, который свидетельствует о работающей "нефтяной системе" озера Байкал.

Большинство зон разгрузки газа приурочено к тектонически ослабленным зонам. Грязевые вулканы Новосибирск, Санкт-Петербург-2 и Ухан, сипы Санкт-Петербург и МГУ приурочены к разлому Гидратный, протягивающемуся на 40 км с юго-запада на северо-восток в центральной части центральной котловины Байкала. На севере разлом хорошо выражен в рельефе и образует тектонический уступ, на юге, вероятно, разлом не выходит на поверхность и погребен под толщей современных илов. Примечательно, что в структурах, расположенных в северо-восточной части разлома, наблюдаются более высокие концентрации метана в осадках (150-200 мл/л), в то время как в структурах, расположенных в юго-западной части разлома, концентрации метана ниже (100-150 мл/л), хотя также довольно высокие. Изотопный состав углерода метана варьирует от -72‰ до -57‰. Вдоль разлома гомологи метана в пробах газов встречаются редко и в невысоких концентрациях. В целом, разлом Гидратный, вероятно, характеризуется высокой проводимостью флюидов, и вдоль него происходит активная миграция УВ газов из глубин осадочного разреза к поверхности. В тоже время в его южной ветви, где он не достигает дна Байкала, мигрировавшие газы незначительно рассеиваются в верхних слоях донных осадков.

На восточном борту котловины озера Байкал располагаются несколько зон фокусированной разгрузки УВ. Среди них наиболее интересной представляется структура Горевой Утес, расположенная в центральной котловине. Здесь вместе с разгрузкой газов происходит и разгрузка жидких УВ. Изотопный состав метана, отобранного из осадков в пределах этой структуры, тяжелый (-44,5 ‰); также в пробах газа обнаруживается большое количество гомологов метана.

Сравнение изотопного состава углерода термогенного метана и этана, отобранных на структурах флюидоразгрузки в центральных частях котловины озера и на ее восточном борту, показало, что органическое вещество толщ, генерирующих УВ газы, относится к II-III типу, но в разной степени преобразовано. Более преобразованы толщи, генерирующие газы, отобранные в центральной части озера. Газы, отобранные на восточном борту котловины озера, генерируются менее преобразованными породами. Вероятно, это связано с тем, что в центральной части котловин Байкала материнские серии более погружены, что согласуется с представлениями о геологическом строении осадочного выполнения бассейна. В центральной части котловины озера - наиболее полный осадочный разрез [3], мощность которого достигает 5-6 км. На восточном борту байкальской впадины мощность осадочного чехла уменьшается, но при этом возрастает тепловой поток [4]. Это также объясняет несколько облегченный изотопный состав метана и небольшие концентрации гомологов в газах из центральных частей по сравнению с газами восточного борта - молекулярное и изотопное фракционирование более существенно сказывается при миграции с больших глубин.

Таким образом, нашими исследованиями установлено, что состав УВ газов, разгружающихся на дне озера Байкал в его центральных и восточных частях, различается. Это обусловлено сложным геологическим строением осадочного чехла, вариациями теплового потока и различными глубинами залегания материнских толщ в разных частях бассейна.

Список литературы

- 1) Gas hydrates in Lake Baikal / Khlystov O.M., Khabuev A.V., Minami H., Nachikubo A., Krylov A.A. // *Limnology and Freshwater Biology* - 2018 (1). - P. 66-70.
- 2) Грязевые вулканы, сипы и газовые гидраты озера Байкал: геохимическая характеристика углеводородных газов / Видищева О.Н., Кислицына Е.В., Ахманов Г.Г., Юрченко А.Ю., Сливко Е.В., Сливко И.Э., Хлыстов О.М. // Труды VI Международной научно-практической конференции "Морские исследования и образование (MARESEDU-2017)": [сборник]. - Тверь: ООО "ПолиПРЕСС", 2017. - С. 211-215.
- 3) Depositional and tectonic framework of the rift basin of Lake Baikal from multichannel seismic data / Hutchinson D.R., Golmshtok A.S., Zonenshain L.P. Moore T.C., Scholz C.A., Klitgord K.D. // *Geology* - 1992. - Vol. 20. - P. 589-592.
- 4) Vanneste M. Atypical heat-flow near gas hydrate irregularities and cold seeps in the Baikal Rift Zone / Vanneste M., Poort J., De Batist M., Klerkx J. // *Marine and Petroleum Geology* - 2003.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДВОДНОЙ ДОЛИНЫ НА ЮГО-ВОСТОЧНОМ СКЛОНЕ ГОТЛАНДСКОЙ ВПАДИНЫ (БАЛТИЙСКОЕ МОРЕ)

Дудков И.Ю.

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

55671232@mail.ru

Ключевые слова: морская геология, геоакустические исследования, Балтийское море, Готландская впадина, подводная долина, цифровая модель рельефа дна, донные осадки.

Геолого-геофизические исследования подводной долины на Гданьско-Готландском пороге и юго-восточном склоне Готландской впадины в российском секторе юго-восточной части Балтийского моря были выполнены в 2019 году в 39-м и 42-м рейсах НИС «Академик Николай Страхов». Экспедиционные работы проводились в пределах двух соседних участков, практически полностью охвативших центральную часть подводной долины. Экспедиционные работы включали площадную батиметрическую съёмку многолучевым эхолотом (МЛЭ) Reson Seabat 8111 (частота 100 кГц, 101 луч) с опцией гидролокации бокового обзора (ГЛБО), а также акустическое профилирование верхнего слоя донных осадков профилографом EdgeTech 3300НМ (частоты 2-12 кГц). Геодезическая привязка съёмки и компенсация качки осуществлялись интегрированной навигационной системой Applanix POS MV. Регистрация данных эхолотной съёмки, внос поправок и их дальнейшая постобработка проводились с использованием программного обеспечения (ПО) PDS 2000. Регистрация данных акустического профилографа выполнялась в ПО EdgeTech Discover Sub-Bottom.

На основе данных многолучевой эхолотной съёмки была построена детальная цифровая модель рельефа (ЦМР) дна центральной части подводной долины, и на ее основе с привлечением литературных источников проведено геолого-геоморфологическое описание. Также был проведен предварительный анализ результатов акустического профилирования дна.

Подводная долина расположена в пределах Готландской впадины и Гданьско-Готландского порога, разделяющего Гданьскую и Готландскую впадины Балтийского моря [1], и протягивается в северо-северо-восточном направлении. Её условное начало «врезано» в Гданьско-Готландский порог более чем на 10 км и оконтурено 90-м изобатой [1]. Гданьско-Готландский порог, на котором сформирована долина, практически не прикрыт современными морскими осадками, сложен моренными и лимногляциальными отложениями, представленными бежево или коричнево-серыми глинами с галькой и железомарганцевыми конкрециями. Поверхность дна представляет собой абразионную равнину с реликтовым ледниковым рельефом [2], на которой отмечено большое количество борозд айсбергового выпаживания (плугмарков), шириной 1-300 м и глубиной 1-6 м, сформированных на стадии Балтийского ледникового озера и Иольдиевого моря [3]. Практически все плугмарки покрыты тонким слоем литориновых илов от нескольких сантиметров до 1-2 м, за исключением зоны распространения исследуемой долины [3].

Сопоставление полученной ЦМР и ранее опубликованной мозаики ГЛБО [3] позволило выявить новые отличительные особенности морфологии и геологического строения долины. На Гданьско-Готландском пороге она имеет наибольший перепад глубин, поэтому четче выражена на ЦМР. При увеличении глубины моря на юго-восточном склоне Готландской впадины долина сильно выглаживается и на глубинах 110 м практически вырождается, а на глубинах 113 м перекрывается литориновыми илами. На южном направлении в сторону Гданьской впадины ложбина морфологически перестает быть выражена на глубине около 88 м.

Ранее в [3] по данным ГЛБО было отмечено отсутствие плугмарков на поверхности дна долины. Однако многолучевая батиметрическая съёмка показала наличие множества борозд. Плугмарки в пределах долины не заполнены илистыми осадками, которые имеют меньший коэффициент рассеивания по сравнению с подстилающими глинами, и поэтому не выделяются на сонограммах

ГЛБО. Из-за небольшого перепада глубин (в среднем 2-3 м) и относительно большой ширины (в среднем 20-40 м) борозды не создают акустическую тень, что также является причиной их неразличимости на сонограммах ГЛБО в отсутствие илистых отложений на дне пługмарков.

Геоакустическое профилирование показало наличие депрессии в тальвеге долины на подстилающей поверхности. Отсутствие сейсмоакустических данных и бурения не позволяют определить ее генезис. Однако можно сделать вывод, что в районе исследования долина формировалась на разных стадиях развития Балтийского бассейна. Данный вопрос требует дополнительных исследований.

Список литературы

- 1) Dorokhov D. Single beam echo-sounding dataset and digital elevation model of the southeastern part of the Baltic Sea (Russian sector) / Dorokhov D., Dudkov I., Sivkov V. // Data in brief. – 2019. – Vol. 25. – P. 104123.
- 2) Григялис А.А., Геология и геоморфология Балтийского моря: Сводная объяснительная записка к геологическим картам масштаба 1:500000 / Науч. ред. А.А. Григялис, Редкол.: В.М.Литвин [и др.] // Лит. геологический ин-т. – Ленинград: Недра, 1991. – 420 с.
- 3) Dorokhov D.V. Iceberg and ice-keel ploughmarks on the Gdansk-Gotland Sill (south-eastern Baltic Sea) / D.V. Dorokhov, E.V. Dorokhova, V.V. Sivkov. // Geo-Marine Letters, volume 38, issue 1, Springer Berlin Heidelberg, 2018 – 83-94 pp.

ЛИТОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ФЛЮИДОНАСЫЩЕННОСТИ ОТЛОЖЕНИЙ РАЙОНА СУБАКВАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОЯВЛЕНИЙ «ГОРЕВОЙ УТЁС» (ОЗ. БАЙКАЛ)

Егошина Е.Д.¹, Видищева О.Н.¹, Деленгов М.Т.¹, Ахманов Г.Г.¹, Хлыстов О.М.²

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

²Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск

ksa_100@bk.ru

Ключевые слова: морская геология, литология, седиментология, зоны фокусированной флюидоразгрузки, нефтепроявления, озеро Байкал.

Синрифтовый осадочный комплекс котловины Байкала характеризуется доказанной нефтегазоносностью с развитием эффективных углеводородных систем [1]. В Центральной и Южной котловинах регистрируются выходы газов на дне озера, грязевой вулканизм, а также отмечены придонные скопления природных газовых гидратов. Уникальная зона фокусированной флюидоразгрузки, получившая название Горевой Утёс, располагается на восточном фланге рифта, на глубине воды 850-950 м [2]. Здесь на поверхность просачивается нефть и, окисляясь, формирует на дне специфические битумные постройки - «капельницы». Далее, всплывая, капли нефти достигают поверхности озера, где, растекаясь, формируют пятна диаметром до нескольких метров.

В рамках экспедиций проекта Class@Baikal в районе Горевоего Утёса были выполнены семь сейсмических профилей общей длиной около 30 км. На основании геофизических данных намечены 34 станции донного пробоотбора, осуществленного с использованием ударной трубки [3]. Полученные образцы характеризовали верхнюю часть осадочного разреза мощностью до 4,5 м. После визуального анализа полученного кернового материала на борту была предварительно установлена взаимосвязь литологии осадков и их флюидонасыщенности. Далее в лабораториях МГУ имени М.В. Ломоносова керн детально изучался. Выполнены гранулометрический и рентгенофазовый анализы для определения состава материала осадков, газовая хроматография и изотопные исследования флюидной фазы.

Гранулометрический состав изученных озерных накоплений варьирует в пределах различных соотношений пелитовой и алевритовой фракций с преобладанием последней. Редко встречаются прослой с высоким содержанием песка. Глинистые минералы в составе гемипелагических отложений района Горевоего Утёса представлены: гидрослюдой - 65-75%, смектитом - 5-10%, хлоритом - до 10%, каолинитом - до 11% и смешанослойными минералами - до 3%.

Установлено, что большинство *нефтепроявлений* в пределах Горевоего Утёса приурочено к хорошо выраженным субвертикальным каналам, обнаруженным в отобранных колонках. Такие каналы выполнены сильно разжиженным, водонасыщенным осадком и, вероятно, представляют собой каналы интенсивной миграции газов. Кроме того, нефть концентрируется вдоль микро-сбросов, нарушающих слаболитифицированные илы и, возможно, связанных с их локальным оползанием. В общем случае нефтяные скопления также тяготеют к прослоям и пятнам/карманам, обогащённым гидротроилитом. На большей части исследуемой территории в верхней части осадочного разреза (первые десятки сантиметров) присутствует слой диатомовых илов. Однако в точках с высоким нефтегазонасыщением осадков, а также в зонах развития оползневых процессов диатомовый слой отсутствовал / являлся весьма маломощным.

Также отмечается, что в общем случае *газонасыщенность* отложений в пределах Горевоего Утёса следует некоторым закономерностям:

- самые верхние интервалы разреза, представленные в основном диатомовыми илами, характеризуются минимальными концентрациями углеводородных газов (метана менее 10 мл/л);
- с глубиной по разрезу газонасыщение осадка увеличивается экспоненциально, а отношение пелит/алеваит возрастает линейно, достигая максимума (1:3) в отдельных интервалах;

- в центральной зоне Горевое Утёса, характеризующейся наиболее интенсивной разгрузкой жидких и газообразных флюидов (концентрации метана в осадках достигают первых сотен мл/л) литологический контроль флюидонасыщенности отложений не устанавливается.

Анализ литологических и геохимических данных, собранных в районе фокусированной разгрузки флюидов Горевой Утёс, показывает, что при детальных исследованиях природных сипов и интерпретации материала необходимо учитывать влияние состава отложений и строения разреза на характеристики флюидонасыщения осадков.

Список литературы

- 1) Конторович А.Э., Дробот Д.И., Преснова Р.Н. Геохимия нафтидов и проблема генезиса байкальской нефти // Сов. Геология. 1989. № 2 С. 21-29.
- 2) Хлыстов О.М., Горшков А.Г., Егоров А.В. и др. Нефть в озере Мирового наследия // Доклады академии наук. 2007. Т. 414. № 5. С. 1-4.
- 3) Ахманов Г.Г., Хлыстов О.М., Соловьёва М.А. и др. Открытие новой гидратоносной структуры на дне озера Байкал // Вестник Московского Университета. 2018. Серия 4. Геология. №5. С. 111-116.

РОЛЬ ЗООПЛАНКТОНА В ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПОТОКАХ ОСАДОЧНОГО ВЕЩЕСТВА В ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЕ

Карманов В.А.¹, Дриц А.В.², Кравчишина М.Д.², Клювиткин А.А.²

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

²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

karmanov-95@list.ru

Ключевые слова: вертикальный поток осадочного вещества, Лофотенская котловина, Норвежское море, биоседиментация, зоопланктон, сезонные изменения.

Изучение осадочного вещества от его формирования до отложения на дно - важнейшая задача современной седиментологии. Рассеянное осадочное вещество, взвешенное в многокилометровой толще вод океанов, является тем материалом, из которого, в конечном счете, образуются донные осадки и осадочные породы. Потоки осадочного вещества в океане - это одна из основных количественных характеристик осадкообразования, которая позволяет в динамике изучать процессы седиментации осадочного вещества, преобразование его при прохождении водной толщи, оценивать количество и состав вещества, поступающего на дно.

Согласно биоседиментационной концепции «живого океана» [1] осадочный материал, поступивший в океан из разных источников (с речным стоком, аэрозолями, эндогенным веществом), трансформируется под влиянием морской биоты. Формируя вертикальные потоки осадочного материала в морях и океанах, живые организмы являются важнейшими участниками седиментационных процессов. Количественная характеристика этих процессов, контролирующая вертикальный транспорт взвешенного вещества, имеет фундаментальное значение для понимания глобального цикла углерода в океане и процессов современного осадкообразования. Особый интерес представляют исследования потока и состава осадочного материала в течение года, поскольку дают возможность получить представление не только об изменчивости интенсивности седиментации, но и о сезонной динамике структуры и функционировании экосистем эпипелагиали.

Норвежское море является транзитной зоной, через которую осуществляется перенос теплых водных масс от Северного Атлантического океана до Северного Ледовитого океана [2, 3]. Ключевую роль в этом процессе играет Лофотенская котловина (ЛК), которая, выступая в качестве резервуара для теплого и соленого потока Атлантических вод, влияет на трансформацию водных масс и потерю тепла на поверхности [4].

В работе представлены результаты исследований вертикальных потоков осадочного вещества и вклада зоопланктона в биоседиментацию в Лофотенской котловине Норвежского моря по материалам годовой автоматической глубоководной седиментационной обсерватории (АГОС) «Лотос-7», которая работала с июля 2017 года по август 2018 года.

Получены количественные оценки вертикальных потоков валового вещества (ВВ), взвешенного органического углерода и карбоната кальция в разные сезоны в верхнем деятельном слое на глубине 550 м и в придонном слое. Анализ материала многостаканных ловушек показал значительную изменчивость потока вещества в течение года в подповерхностном слое, и относительную однородность потока в придонном слое. Сезонный ход потоков осадочного вещества в подповерхностном слое носит унимодальный характер с максимумом (191 мг/м²/сут) в осенний период. В придонном слое поток значительно выше, чем в подповерхностном слое (221.0 и 30.6 мг/м²/сут соответственно). В составе потоков наибольшую роль играет взвешенный карбонат кальция. Годовой ход потоков C_{орг} и CaCO₃, в целом, повторяет изменчивость потоков ВВ. На основании анализа осадочного вещества выделены основные компоненты планктонного происхождения и оценен их вклад в вертикальный поток ВОУ и CaCO₃ в разные сезоны. Наиболее значимыми компонентами были птероподы *Limacina retroversa*, фекальные пеллеты, раковины планктонных фораминифер и некрозоопланктон. Вклад всех компонентов в общий поток C_{орг} максимален в позднелетней -

осенний сезон, достигая в октябре 100%. В январе-марте вклад в общий поток $C_{\text{орг}}$ не превышает 1%, в апреле, возрастает до 22%, затем снижается до 1% в июне и вновь увеличивается до 12% в июле. Основу потока в августе составляли птероподы, в сентябре - фекальные пеллеты. Поток CaCO_3 во всем столбе воды, обусловленный, главным образом, седиментацией арагонита птеропод, изменялся от <1 до $104 \text{ мг/м}^2/\text{сут}$. Максимальные величины были получены сентябре-октябре. В это время от 40 до 100% общего потока карбоната кальция определялось седиментацией раковин *Limacina retroversa*. Вклад кальцита фораминифер в общий поток CaCO_3 не превышал 6%, и только в одном случае (октябрь на 550 м) достигал 60%. Поток $C_{\text{орг}}$ некрозоопланктона в слое 0-550 м изменялся от 0 до $0.45 \text{ мгС/м}^2/\text{сут}$, с максимумом в феврале. В зависимости от сезона менялся вклад разных видов: в ноябре-декабре более половины суммарного потока было обусловлено седиментацией погибших глубоководных копепод *Paraeuchaeta sp.*, в январе-марте - *Amphipoda*, в апреле-мае - интерзональными копеподами *Metridia longa*. Относительно общего потока $C_{\text{орг}}$ размерной фракции <1 мм, поток НЗ составлял 0-13% в летне-осенний сезон, 22-112% зимой, 18-38% весной. В придонном слое поток некрозоопланктона изменялся от 0.04 до $0.22 \text{ мгС/м}^2/\text{сут}$, что составляло 0.7-3% общего потока $C_{\text{орг}}$ размерной фракции <1 мм.

Результаты сопоставляются с данными, полученными в районе исследований в 90-х годах прошлого века с точки зрения оценки влияния климатических изменений на процессы седиментации.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19-05-00022 А).

Список литературы

- 1) Лисицын А.П. Потоки осадочного вещества, процессы биофильтрации и осадочные системы "живого океана" // Геология и геофизика. 2004. Т. 45. Вып. 1. С. 15–48.
- 2) Rossby T., Ozhigin V., Ivshin V., Bacon S. An isopycnal view of the Nordic Seas hydrography with focus on properties of the Lofoten Basin // Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers. 2009. Vol 56. № 11. P. 1955–1971.
- 3) Segtnan O.H., Furevik T., Jenkins A.D. Heat and freshwater budgets of the Nordic seas computed from atmospheric reanalysis and ocean observations // J. Geophys. Res. 2011. Vol. 116. P. 11003.
- 4) Nilsen J.E.Ø., Falck E. Variations of mixed layer properties in the Norwegian Sea for the period 1948–1999 // Prog. Oceanogr. 2006. Vol. 70. P. 58– 90.

БИОСТРАТИГРАФИЯ ПОЗДНЕЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ И ПАЛЕООКЕАНОЛОГИЯ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ АНАЛИЗА БЕНТОСНЫХ ФОРАМИНИФЕР (КОЛОНКА АНС41-14)

Киреенко Л.А.

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

boda11@yandex.ru

Ключевые слова: бентосные фораминиферы, четвертичная палеоокеанология, биостратиграфия, Карское море.

Арктический бассейн служит индикатором глобальных изменений климата. В Арктике современные изменения климата проявляются более интенсивно, чем в остальных районах Земного шара [1]. В прошлом изменения климата также играли значительную роль в процессах осадконакопления, атмосферной и водной циркуляций, ледовой деятельности и палеопродуктивности района.

Данное исследование направлено на реконструкцию палеоусловий и биостратиграфическое расчленение позднечетвертичных осадков в юго-западной части Карского моря на основе анализа бентосных фораминифер.

Бентосные фораминиферы занимают ведущее место среди карбонатных микроорганизмов, которые распространены в Карском бассейне. Планктонные фораминиферы в данном регионе практически не встречаются, они присутствуют только в глубоководных желобах [2]. Использование бентосных фораминифер в качестве маркеров основных параметров окружающей среды в морских и океанических бассейнах дает ценную информацию об изменении глубины, температуры, палеопродуктивности, течений и так далее.

Исследуемый разрез был отобран во время 41 рейса НИС «Академик Николай Страхов» в июне-июле 2019. Колонка АНС41-14 мощностью 4 м получена с помощью трубки большого диаметра и представлена преимущественно пелитовым илом оливкового цвета, согласно рейсовому литологическому описанию. Для исследования из колонки отобрали 40 проб донных осадков толщиной 2 см с интервалом 10 см. Гранулометрический анализ осадка не выполнялся, но был использован вес фракции >63 мкм, подготовленной для фораминифероанализа. Увеличение значений весовой фракции наблюдается в интервалах от 4 до 2,9 и от 2 до 0,7 м. Просмотр показал, что в первом случае огрубление происходит за счет примеси более крупных частиц в илистых образованиях, а во втором - за счет увеличения численности фораминифер.

На протяжении разреза численность бентосных фораминифер достаточно изменчива. В интервале 4 - 3 м составляет 100-300 экз./100 г сух. осадка. По сравнению с остальным разрезом, это минимальные значения численности. Далее в интервале 3 - 1,8 м она возрастает до 1000-2000 экз./100 г сух. осадка. Начиная с 1,8 м численность фораминифер растет, достигая максимума (~7000 экз./100 г сух. осадка) и сохраняя свои значения до 0,4 м. Интервал от 0-0,4 м содержит множество обломков раковин фораминифер, плохая сохранность может быть связана с растворением или переотложением.

Видовое разнообразие ассоциации является постоянным на протяжении всего разреза. В комплексе фораминифер выделяется 6 массовых видов, которые составляют большую часть этого сообщества: *Cassidulina reniforme*, *Buccella frigida*, *Elphidium clavatum*, *Islandiella norcrossi*, *Elphidium subarcticum*, *Stainforthia loeblichii*. Доминирующим видом для всего разреза является *C. reniforme* -типичный представитель окраинных морей Арктики, который составляет 60-98% сообщества бентосных фораминифер [3]. Важную роль играют виды *E. clavatum* и *I. norcrossi* (45-25%) [4].

Таким образом, на основе микропалеонтологического отобрания раковины моллюсков на датирование радиоуглеродным методом. Сравнив полученные результаты по весовой фракции

>63 мкм, численности, разнообразия массовых и малочисленных бентосных фораминифер с данными предыдущих исследований, выделены два этапа, соответствующих Позднему Дриасу, или комплексу II (unit II), и голоцену, или комплексу I (unit I) [5]. Предположительный возраст колонки составляет 13 тыс. лет назад.

Экспедиционные и лабораторные исследования были выполнены при поддержке Российского научного фонда (проект № 19-77-10044).

Список литературы

- 1) Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А. О разнонаправленности изменений глобального климата на материках и океанах // Доклады АН. 2005. Т. 400. № 1. С. 98-104.
- 2) Оськина Н.С., Хусид Т.А., Либина Н.В., Доманов М.М., Матуль А.Г. Тепловодные планктонные фораминиферы в осадках Карского моря // Океанология. 2019. Т. 59. № 3. С. 485-496.
- 3) Овсепян Я.С., Галденкова Е.Е., Баух Х.А., Кандиано Е. С. Реконструкция событий позднего плейстоцена–голоцена на континентальном склоне моря Лаптевых по комплексам бентосных и планктонных фораминифер // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2015. Т. 23. № 6. С. 96–112.
- 4) Polyak L., Korsun S., Febo L. et al. Benthic foraminiferal assemblages from the southern Kara Sea, a river influenced Arctic marine environment // Foraminiferal Res. 2002. V. 32. N. 3. P. 252–273.
- 5) Polyak L., Levitan M., Khusid T. et al. The impact of glaciation, river-discharge, and sea-level change on Late Quaternary environments in the southwestern Kara Sea // Internat. J. Earth Sci. 2000. V. 89. N. 3. P. 550-562.

ЛИТОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ И ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОВРЕМЕННЫХ ДОННЫХ ОСАДКОВ В ГЛУБОКОВОДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ В РАЙОНЕ СЕРОВОДОРОДНОГО ЗАРАЖЕНИЯ

Козина Н.В., Рейхард Л.Е., Дара О.М., Гордеев В.В., Коченкова А.И.

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

kozina_nina@bk.ru

Ключевые слова: Черное море, донные отложения, сероводородное заражение, аутигенные минералы, диагенез, минералогия, геохимия.

Черное море является одним из самых крупных и глубоких внутренних морей [1]. В Черном море ниже изобаты 200 м находится впадина площадью 306 тыс. км² с максимальной глубиной 2210 м [2]. К настоящему времени около 90% объема Черноморского бассейна заполнено бескислородными (анаэробными) глубинными водами, и только 10% объема приходится на поверхностные распресненные кислородсодержащие (аэробные) воды [2].

Целью данной работы является литолого-геохимическое изучение донных отложений глубоководной впадины Черного моря и получение новых фундаментальных знаний в области современного седиментогенеза во внутриконтинентальных морях с сероводородным заражением.

Изучаемый материал был получен в ходе 81-ого рейса НИС «Профессор Водяницкий» под руководством академика А.П. Лисицына [3]. Колонка донных отложений была отобрана мультикорером во впадине Черного моря с глубины 2120 м (43°23.068' с.ш., 32°48.532' в.д.). Пробы были отобраны из керна (длиной 53 см и диаметром 10 см) с дискретностью 1 см. [3]. Детальные минералогические и геохимические исследования проводились в лабораториях ИО РАН. Анализ минерального состава был проведен методами оптической микроскопии, сканирующей электронной микроскопии с сопутствующим электронно-зондовым микроанализом, а также рентгеновской дифрактометрии. Валовое содержание микро- и макроэлементов определялось методом пламенной атомной абсорбции. Определение общего, органического (C_{орг}) и карбонатного углерода проводилось методом кулонометрического титрования.

Литолого-геохимический анализ донных отложений показал, что они представлены переслаиванием пелитовых илов с незначительным содержанием алевритовой примеси, преимущественно слабоизвестковых и известковых, в разной степени насыщенных органическим веществом (ОВ). В колонке было выделено 5 слоев: 1) наилок (восстановленный) хлопьевидный темно-зелено-серого цвета (интервал 0-2 см); 2) ил пелитовый преимущественно серого цвета, микрослоистый, представленный чередованием микропрослоев известкового (кокколитового) тонкого пелитового ила белого цвета, пелитового ила темно-оливкового цвета, обогащенного ОВ, и однородного тонкого пелитового ила темно-зеленовато-серого цвета, обогащенного биогенным материалом и ОВ (интервал 2-16 см); 3) ил пелитовый зелено-серого цвета с примазками известкового пелитового ила белого цвета и пелитового ила темно-оливкового цвета, обогащенного ОВ (интервал 16-32 см); 4) ил пелитовый, тонкий, однородный, зелено-серого цвета (интервал 32-46 см); 5) ил сапропелевый темно-зелено-серого цвета (интервал 46-53 см).

Минеральный состав донных осадков (интервал 0-46 см) представлен главным образом кальцитом, кварцем, полевыми шпатами (ПШ) и глинистыми минералами. В донных осадках нижнего слоя (интервал 46-53 см) происходит резкое уменьшение содержания кальцита, при этом содержание обломочных (кварц, ПШ) и глинистых минералов возрастает. Кальцит в донных осадках имеет преимущественно биогенное происхождение и представлен кокколитами. В виде акцессорной примеси присутствуют минералы тяжелой фракции - амфиболы, пироксены, гранат, эпидот, рудные минералы. Пирит (не более 3%) обнаружен как в поверхностном слое донных осадков (наилке), так

и в более глубоких горизонтах осадочной толщи. Во включениях наблюдаются опаловые панцири диатомей, силикофлагелляты, диофлагелляты, спикулы губок, растительный аттрит.

Геохимические исследования показали, что изученные донные осадки глубоководной впадины Черного моря, сильно, но неравномерно обогащены карбонатом кальция (CaCO_3) и $\text{C}_{\text{орг}}$. Максимальные концентрации CaCO_3 (58-85%) присущи интервалу 16-32 см. В этом интервале наблюдаются известковые микропрослойки, представленные преимущественно биогенным карбонатом в составе кокколитоидов. Содержания $\text{C}_{\text{орг}}$ составляют более 3%. Исключение составляют осадки нижней части колонки (интервал 32-46 см), в которых содержание $\text{C}_{\text{орг}}$ не превышает 1.4%. Максимальные концентрации $\text{C}_{\text{орг}}$ наблюдаются в нижнем слое (интервал 46-53 см), где они достигают 9.7%. Содержание железа (Fe) по длине колонки колеблется в пределах 0.6-5.9% с резким увеличением в нижних слоях осадка (с горизонта 32 см). С этого же горизонта наблюдается резкое увеличение содержания хрома. В нижнем слое (интервал 46-53 см) также происходит увеличение содержания таких элементов, как Cu, Co, Ni, Zn.

Таким образом, в процессе литолого-геохимических исследований установлено, что верхняя часть (интервал 0-53 см) голоценовых донных отложений глубоководной впадины Черного моря представлена пелитовыми илами, в разной степени насыщенными ОВ, CaCO_3 , макро- и микроэлементами. Очевидно, что высокое содержание CaCO_3 в донных осадках связано с жизнедеятельностью фитопланктона (кокколитофорид), а высокие содержания $\text{C}_{\text{орг}}$ могут быть обусловлены суммарным эффектом от вклада в седиментогенез планктоногенного и терригенного ОВ. Колебания содержаний этих компонентов отражают изменения в гидрохимической и гидрологической структуре водной толщи Черного моря. Высокие содержания Fe в нижней части донных отложений совпадают с увеличением содержания терригенных минералов, и, следовательно, с возможным изменением источников сноса. Скорее всего, с этим же фактором связано повышение содержания $\text{C}_{\text{орг}}$, Cu, Co, Ni, Cr, Zn в нижней части донных осадков. Однако эти первичные выводы требуют детализации в процессе дальнейшего анализа полученных данных и материалов предшественников. Следует отметить, что насыщенность пелитовых донных отложений ОВ и Fe в условиях сероводородного заражения приводит к активной диагенетической дифференциации вещества и образованию аутигенного пирита уже в самых верхних горизонтах осадочной толщи.

Авторы благодарят академика А.П. Лисицына, чл.-корр. РАН С.К. Коновалова и А.А. Ключевиткина за организацию и поддержку исследований, экипаж и научный состав экспедиции - за помощь в сборе материала, а также Л.В. Демину - за помощь в аналитических исследованиях.

Аналитические исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РНФ № 19-77-00015. Интерпретация результатов частично выполнена в рамках Госзадания ФАНО России (тема № 0149-2019-0007).

Список литературы

- 1) Иванов В.А., Белокопытов В.Н. Океанография Черного моря. НАН Украины, Морской гидрофизический институт. Севастополь. 2011. 212 с.
- 2) Система Черного моря. Российская Академия Наук, Институт океанологии им. П.П. Ширшова. Москва. 2018. 808 с.
- 3) Ключевиткин А.А., Козина Н.В., Реджепова З.Ю. и др. Геологические исследования Черного моря (81-ый рейс НИС «Профессор Водяницкий») // Океанология. 2017. Т. 57. № 5. С. 838-840.

ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ НА ЗАПАДНОМ СКЛОНЕ ИСЛАНДИИ (ДАТСКИЙ ПРОЛИВ) ПО ДАННЫМ ЛИТОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ, ГЕОХИМИЧЕСКИХ И МИКРОПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Козина Н.В., Тихонова А.В., Стародымова Д.П., Булохов А.В.

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

kozina_nina@bk.ru

Ключевые слова: Северная Атлантика, Арктика, донные осадки, минералогия, геохимия, микропалеонтология, процессы седиментогенеза, климат, ледниковые отложения.

Северная Атлантика и Северный Ледовитый океан являются важнейшими регионами в географическом, стратегическом и социально-экономическом отношении. Датский пролив служит условной границей между Атлантическим и Северным Ледовитым океанами и представляет собой одну из основных артерий, через которую с придонным течением поступают холодные плотные воды Северного Ледовитого океана в Северную Атлантику. Помимо этого из Гренландского моря в Северную Атлантику выносятся промежуточные арктические воды [1].

Исследование современной седиментационной системы с применением новых методов и современного аналитического оборудования позволяет проводить реконструкции климатических изменений за последние 200-300 тыс. лет. Изучение природной среды океанов прошлого дает ключ к пониманию истории современных процессов и таким образом 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.

Цель данной работы - дать первичную характеристику донных отложений в области взаимодействия Северной Атлантики и Арктики с дальнейшим выявлением основных процессов осадконакопления в ключевых районах формирования климата.

Материалом для исследования послужила колонка донных отложений (ст. 5890: 65°45.081' с.ш.; 25°37.822' з.д.), отобранная с помощью ударной грунтовой трубы большого диаметра в Датском проливе в 71-м рейсе НИС "Академик Мстислав Келдыш" в 2018 г. в рамках проекта РНФ «Мировой океан в XXI веке: климат, экосистемы, ресурсы, катастрофы» [2, 3]. Глубина пробоотбора составила 268 м. На борту судна было произведено литологическое описание донных осадков, а также первичное исследование донных отложений экспресс-методами такими как: определение характеристик яркости и интенсивности цвета по спектрофотометру; определение влажности; определение pH, Eh характеристик; определение содержания CaCO₃; измерение магнитной восприимчивости осадка; минералогические исследования и фораминиферовый анализ. В лабораториях ИОРАН был выполнен гранулометрический анализ водно-механическим путем [4] и определение микро- и макроэлементов на ISP MS.

Длина керна, отобранного в Датском проливе на западном склоне Исландии, составила 424 см. По комплексу планктонных и бентосных фораминифер верхняя часть керна до 43.5 см представлена голоценовыми отложениями с преобладанием карбонатного биогенного материала. Содержание минеральной компоненты не превышает 10-15%. На 43.5 см наблюдается резкая граница увеличения минеральных частиц ледового и айсбергового разноса до 80% и предположительно с этого горизонта начинаются ледниковые отложения. Содержание минеральной компоненты в ледниковых отложениях достигает 99%, и представлена она преобладанием вулканического стекла, обломков вулканических пород. Кроме того, в ледниковых отложениях присутствует кварц, пироксены, оливин и рудные минералы. В осадках ледниковых отложений был обнаружен аутигенный пирит с концентрациями до 5%. В ледниковой части колонки встречаются более крупный

доминирующий вид диатомовых водорослей. В интервале 169-170 см были обнаружены в большом количестве крупные диатомовые водоросли. Экспресс-анализы показали, что по всей длине керна осадок восстановленный. Содержание карбоната кальция сильно меняется по всему разрезу. В голоценовых осадках содержание карбоната кальция достигает 50%. Вниз по разрезу (в ледниковых отложениях) концентрация карбоната кальция резко уменьшается и составляет первые проценты. Магнитная восприимчивость осадка в голоценовых отложениях на порядок ниже, чем в ледниковых отложениях.

Результаты геохимических исследований показали, что по содержанию литогенных элементов (Sc, Ti, Co, Ga и др.) выделяется несколько циклов осадконакопления. Голоценовые отложения характеризуется наименьшим содержанием литогенных элементов и повышенным содержанием стронция, а в ледниковых отложениях увеличивается содержание литогенных элементов. При сравнении средних содержаний редкоземельных элементов (РЗЭ) в керне наблюдаются заметные различия в концентрациях. Голоценовые отложения характеризуется наиболее низкими содержаниями РЗЭ, в то время как в ледниковых отложениях зафиксированы повышенные концентрации РЗЭ.

Таким образом, сделана первичная литолого-геохимическая и микропалеонтологическая характеристика донных осадков в Датском проливе на западном склоне Исландии. Проведенные комплексные исследования донных отложений в Датском проливе позволили выявить резкую границу, характеризующую смену климатических условий. Геохимические данные показали, что микроэлементный состав осадков характеризуется значительной изменчивостью во времени, что определяется поступлением материала из разных источников.

Дальнейшие мультидисциплинарные исследования и интерпретация результатов позволят установить основные закономерности и динамику процессов осадконакопления в ключевых районах формирования климата.

Авторы благодарят академика А. П. Лисицына за общее руководство работами, а также капитана, начальника экспедиции С. В. Гладышева, зам. начальника экспедиции А.Н. Новигатского и весь научный состав за помощь в проведении экспедиции.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2019-0007).

Список литературы

- 1) Vage K., Pickart R.S., Spall M.A. et al. Significant role of the North Icelandic Jet in the formation of Denmark Strait overflow water // *Nature Geoscience*. 2011. V. 4. P. 723–727.
- 2) Новигатский А.Н., Гладышев С.В., Клювиткин А.А. и др. 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., Насыров А.Х., Булохов А.В. Геологические исследования и первые результаты литолого-геохимических и микропалеонтологических работ в Северной Атлантике и Баренцевом море в 71-ом рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» (2018 г.). В сборнике: *Геология морей и океанов Материалы XXIII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии*. 2019. С. 60-64.
- 4) Петелин В.П. Гранулометрический анализ морских донных осадков. М., Наука, 1967, 125 с.

ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА В МОРЯХ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

Колтовская Е.В., Немировская И.А., Булохов А.В.

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

katyayaya15@gmail.com

Ключевые слова: взвесь, углеводороды, потоки вещества, Карское море, море Лаптевых.

Интерес к исследованию взвеси и ее компонентов: взвешенного органического углерода, липидов, углеводородов (УВ) в высокоширотных акваториях в значительной степени обусловлен высоким нефтегазоносным потенциалом арктического шельфа и предполагаемой добычей УВ. В эстуарных и прибрежных районах, где в осадки поступает малообразованное органическое вещество (ОВ), состав УВ отражает влияние источников, их формирующих, позволяет провести анализ их естественного биогеохимического круговорота, а также изучить наиболее распространенные загрязняющие вещества. Проведенные ранее исследования показали, что при смешении речных вод с морскими происходит коренная перестройка потока речного осадочного вещества, его массовое осаждение [1]. Вместе с ним оседает основное количество растворенных и взвешенных органических соединений, в том числе и УВ [2]. Исследования ОВ в эстуариях Оби и Енисея установили, что влияние рек ощущается на расстоянии 100 км от берега, хотя в устьевых районах осаждается около 90% терригенного вещества.

Материал для исследования был собран в 72 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» (сентябрь 2018 г.). Фильтрацию взвеси для определения ее массовой концентрации (мг/л) проводили в судовой лаборатории стандартным методом. Концентрацию взвеси определяли в лабораторных условиях взвешиванием фильтров с точностью до ± 0.01 мг. Вертикальные потоки осадочного вещества определяли с помощью седиментационных ловушек. В составе полученного материала определяли количество взвеси, $C_{\text{орг}}$ общее и $C_{\text{орг}}$ во взвеси, липиды и алифатические УВ.

В поверхностных водах на трансарктическом разрезе содержание взвеси закономерно увеличивалось, как и ранее, в устьевых областях рек, где концентрации возрастали в 3-4 раза по сравнению с близлежащими станциями. В проливе Вилькицкого рост концентрации взвеси (до 1.54 мг/л), скорее всего, обусловлен береговой абразией. Наиболее высокое ее содержание (1.15-5.28, в среднем 2.28 мг/л) установлено в заливе Благополучия, что, вероятно, связано с поступлением минеральных частиц с аэрозолями с о. Новая Земля.

Распределение концентраций УВ в поверхностных водах в общих чертах совпадало с содержанием взвеси, и между их концентрациями наблюдалась корреляция $r=0.74$ ($n=28$). Однако рост концентраций УВ в барьерных зонах выражен в меньшей степени, чем для взвеси.

Более высокое среднее содержание УВ в Карском море (22.5 мкг/л) по сравнению с морем Лаптевых (15.3 мкг/л), может быть обусловлено речными выносами, а также продуктивностью вод. В заливе Благополучия концентрации УВ составили всего 9-10 мкг/л, несмотря на высокое содержание взвеси, из-за минерального состава последней. С помощью седиментационных ловушек удалось установить, что потоки изменялись от 76 мг/м²/сут (шельф моря Лаптевых) до 12594 мг/м²/сут (залив Благополучия). Несмотря на малую продуктивность морей, эти величины достаточно высокие.

С глубиной концентрация взвеси возрастала на большинстве станций от поверхности к придонному горизонту, максимально в 9 раз в районе выноса реки Оби (с 0.443 до 2.018 мг/л). В меньшей степени происходил рост концентраций взвеси в проливе Вилькицкого - в 4.6 раз (с 0.443 до 2.018 мг/л). Увеличение содержание взвеси происходит в придонном горизонте и в слое пикноклина. В районах с устойчивой стратификацией второй экстремум может быть квазипостоянным. На станции, расположенной в заливе Благополучия у о. Новая Земля, взвесь состояла из изомет-

рических глинистых частиц и железо-марганцевыми зернами амфибола. Во взвеси водоросли в незначительных количествах встречались только в поверхностном слое 20 м.

Таким образом, распределение взвеси в поверхностных водах в значительной степени обусловлено влиянием рек и береговой абразией. Аналогично взвеси изменялись потоки органического углерода. Состав взвеси имел общую закономерность: вещество было сложено глинисто-диатомовой смесью с крупными зернами минералов. Содержание $C_{\text{орг}}$ в поверхностных и промежуточных водах достигает 40% от суммарного количества вещества в пробе. В придонных горизонтах преобладала минеральная составляющая взвеси (встречались неокатанные зерна полевых шпатов, плагиоклаза, апатита).

Содержание УВ в поверхностных водах в основном зависит от концентрации взвеси, так как между этими величинами наблюдается корреляция ($r=0.74$). Увеличение содержания УВ на взорье арктических рек происходит в меньшей степени, чем взвеси. В большинстве изученных районов содержание УВ соответствует фоновым величинам и не превышает 20 мкг/л. Меньшая продуктивность моря Лаптевых по сравнению с Карским морем обуславливает более низкие концентрации УВ. Из-за минерального характера взвеси минимальные концентрации УВ (8-10 мкг/л) установлены в заливе Благополучия о. Новая Земля.

В зависимости от местоположения седиментационных ловушек потоки изучаемых соединений изменялись в большом диапазоне: для взвеси - 72-12594, для $C_{\text{орг}}$ - 4.06-53.6, УВ - 0,001-0,16 мг/м²/сутки. При этом наблюдалась корреляция в изменчивости потоков взвеси и $C_{\text{орг}}$ ($r=0.98$). Максимальный поток установлен в заливе Благополучия, где состав взвеси определяется поступлением минеральных аэрозолей с о. Новая Земля.

Встречались в основном 2 типа распределения потоков: постепенное увеличение концентраций взвеси с глубиной и уменьшение от поверхности к промежуточному горизонту, а затем рост концентраций в придонном горизонте. В поверхностных горизонтах взвесь содержит в основном биогенные частицы, с глубиной в составе взвеси ловушек повышается роль минеральных компонентов. В процессе седиментации изменялся состав УВ. В верхнем фотическом слое при массовой генерации взвеси биопродуцентами возрастает роль автохтонных биогенных маркеров в составе УВ. В глубинных горизонтах увеличивается количество высокомолекулярных нечетных алканов, наиболее стойких к разложению.

Результаты исследований получены в рамках государственного задания (тема № 0128-2019-0011), обобщение результатов и подготовка публикации – при поддержке РФФ (проект № 19-17-00234).

Список литературы

- 1) Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. – 1994. – Т. 34. – №. 5. – С. 735-747.
- 2) Немировская И.А. Изменчивость концентраций и состава углеводородов во фронтальных зонах Карского моря // Океанология. – 2015. – Т. 55. – №. 4. – С. 552-552.
- 3) Лисицын А.П., Лукашин В.Н., Дара О.М. Минеральный состав и потоки минералов во взвеси из толщи вод Каспийского моря // Докл. РАН. – 2015. – Т. 463. – №. 2. – С. 221-225.
- 4) Лисицын А.П. Современные представления об осадкообразовании в океанах и морях. Океан как природный самописец взаимодействия геосфер Земли // Мировой океан. – 2014. – Т. 2. – С. 331-571.

НОВЫЕ НАХОДКИ НИЖНЕПАЛЕОЗОЙСКИХ ИСКОПАЕМЫХ В ЛЕДНИКОВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ САМБИЙСКОГО ПОЛУОСТРОВА (КАЛИНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Кривошлык П.Н., Пугачёва Т.Л., Бочерикова И.Ю., Муратова А.А.

Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград

puga4eva@hotmail.com

Ключевые слова: окаменелости, кораллы, наутилоидеи, трилобиты, брахиоподы, ордовик, силур, девон, Калининградская область, морены.

На территории Калининградской области имеются мощные (около 270 м) плейстоценовые образования, сложенные несортированными породами различного геологического возраста. В данных породах имеется осадочный слой, в котором обнаруживаются окаменелости. Эти ископаемые активно изучались немецкими исследователями (Помпецкий Й., Бейрих Г., Нетлинг Ф., Шмидт Ф., Холм Г.) до 1940 гг. Однако в послевоенные годы интерес к этому типу фоссилий у советских палеонтологов резко снизился.

Сегодня в странах Северной Европы (Германия, Дания, Швеция, Польша, Литва) ископаемые из ледниковых отложений активно изучаются. Так, к примеру, в период с 1985-2006 гг. в Германии даже выходил журнал “Geschibekunde aktuell”, посвященный окаменелостям из ледниковых отложений. В русскоязычной литературе с недавнего времени, также стали появляться работы посвященные ископаемым из ледниковых отложений [1]. Тем не менее, за продолжительное время накопилось много нового материала, еще не описанного и требующего активного изучения палеонтологами.

Изученный нами ископаемый материал был собран научным сотрудником АО ИО РАН Мычко Э.В. и нами на морском побережье Самбийского полуострова (Донское-Приморье-Светлогорск) и Калининградского залива в 2018-2019 гг. Этот комплекс ископаемых раннепалеозойского возраста сравнительно разнообразен и включает в себя большое число таксономических групп. Поэтому для детального исследования нами были отобраны лишь группы, наиболее широко представленные в коллекции: наутилоидеи, трилобиты, кораллы и брахиоподы. В результате исследований, нам удалось определить большую часть изученного материала, а также соотнести изученные находки со стратиграфическими интервалами.

Так, брахиоподы, представленные 44 экземплярами, относятся к следующим родам: *Pentamerus*, *Delthyris*, *Laptaena*, *Ripidiorhynchus*, *Cyrtonotella*, *Paucicrura*, *Rhynchonella*, *Bekkerina* (*Oepikina*), *Orthisocrania*, *Pseudolingula*, *Orthisocrania*, *Pseudolingula*. Некоторые формы определить до рода не удалось, однако их морфология позволила соотнести их к известным отрядам, поэтому мы оставляем их в открытой номенклатуре *Rhynchonellida sp. indet.*, *Spiriferida sp. indet.*, *Pseudolingula Chonetida sp. indet.*, *Athyridida sp. indet.* и *Orthida sp. indet.* Эти экземпляры брахиопод имеют ордовикский (5 экземпляров), силурийский (6 экземпляров) и девонский (11 экземпляров) возраста. Часть брахиопод (22 экземпляра) было невозможно определить без шлифования. Аналогичный комплекс брахиопод описан из эрратических валунов Северной Германии [2, 3].

Определенные нами 22 экземпляра цефалопод представлены следующими родами: *Pseudorthoceras s.l.*, *Bifoveoceras s.l.*, *Paracyclendoceras s.l.* и более крупными таксонам - отрядам *Orthocerida* и *Oncocerida*. Представленный и изученные экземпляры имеют ордовикский (6 экземпляр), силурийский возраст (1 экземпляр). Большинство экземпляров не удалось определить дальше рода, так как при наличии информации о структуре фрагмокона и софона [4]. В данной коллекции эта информация отсутствует, из-за чего данные являются только предварительными и могут быть неточными.

Трилобиты в коллекции представлены 32 экземплярами, которые относятся к родам *Parace-raurus*, *Chasmops*, *Illaenus*, *Stenopareia*, *Pseudoasaphus*, *Ogmasaphus*, *Calymene*, *Asaphus*, *Panderia*.

Всего нам удалось определить до вида всего 9 экземпляров: *Paraceraurus aculeatus*, *Chasmops odini*, *Illaenus kuckersianus* и *Ogmasaphus praetextus*. Изученные экземпляры имеют ордовикский (26 экземпляров) и силурийский возраст (6 экземпляров).

Кораллы представлены 35 экземплярами. В связи со сложностью определения кораллов, которое возможно только в шлифах, часть кораллов все-таки удалось определить до рода: *Syringopora* (8 экземпляров), *Halysites* (2 экземпляров). А другую часть до отряда: *Rugosa* (18 экземпляров) и *Favositida* (7 экземпляров). Все кораллы имеют ордовикский и силурийский возраста.

В заключение следует добавить, что нами было изучено 133 экземпляра окаменелостей, из которых не удалось определить до рода 52, до вида 9. Этот комплекс ископаемых очень разнообразен и близок по таксономическому составу к составу из нижнепалеозойских отложений остальной Прибалтики. Эти экземпляры могут быть представлены новыми видами, но для установления этого требуется более детальное изучение экземпляров, а также привлечение сторонних специалистов.

Мы выражаем искреннюю благодарность Киселеву Д.Н. (СПбГУ), Бродскому А.В. (ВСЕГЕИ), Шамаеву Р.Ю и Э.В. Мычко за научные консультации и помощь в определении ископаемых.

Список литературы

- 1) Мычко Э.В. Янтарный край: страницы ископаемой летописи // Природа. №3. 2019. С. 57.
- 2) Neben W. Krueger H.H. Fossilie ordovicischer und silurischer Geschiebe // Staringia no1. Herausgegeben von Nederlandse Geologische Verenging. 1971. S. 6. Taf. 50.
- 3) Neben W. Krueger H.H. Fossilie ordovicischer und silurischer Geschiebe // Staringia no2. Herausgegeben von Nederlandse Geologische Verenging. 1973. S. 10. Taf. 51-109.
- 4) Балашов З.Г. Эндоцератоидеи ордовика СССР. Л.: изд-во Ленинградского Университета. 1968. 279 с.

ВОЛНООБРАЗНЫЕ ФОРМЫ РЕЛЬЕФА ОКЕАНИЧЕСКОГО ДНА В ЮЖНОЙ ЧАСТИ НОВОГВИНЕЙСКОГО МОРЯ

Кубова В.В.

Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана

им. И.С. Грамберга, г. Санкт-Петербург

valyakubova@yandex.ru

Ключевые слова: рельеф дна, осадочные волны, крип, турбидный поток.

Волнистый характер поверхности океанического дна может быть обусловлен влиянием различных процессов и выражен в широком спектре форм рельефа. Среди волнообразных форм рельефа можно, в первую очередь, выделить осадочные волны, криповые деформации и эрозионные формы [1]. Образуются данные формы рельефа за счет действия силы гравитации, за счет воздействия подводных течений и турбидных потоков. Для определения типа рельефа и его происхождения не всегда бывает достаточно информации о его морфологии (высоте, длине волны, вида в плане и в профиль), так как важная информация об образовании волнообразной формы может скрываться в толще осадков и их составе.

В южной части Новогвинейского моря волнообразные формы рельефа встречаются на склонах и у подножий вулканических островов Толокива, Дакатауа, Новая Британия [2]. Описанные волнистые формы интерпретированы как поля осадочных волн и криповые деформации [2,3]. Задачами данного исследования являются изучение особенностей распространения волнообразных форм рельефа в районе островов Риттер, Саккар и Толокива, их идентификация и определение их происхождения.

Данные, необходимые для решения задачи исследования, были предоставлены сотрудниками Центра исследования мирового океана GEOMAR в г. Киль (Германия) и включают в себя: данные многолучевого эхолотирования (с пространственным разрешением 100 и 25 м), амплитуды отраженных сигналов и сейсмоакустические профили. Данные обрабатывались с помощью программного обеспечения Kingdom и QGIS.

В районе исследований были выявлены осадочные волны, эрозионные формы рельефа и следы крипа на склоне. Осадочные волны выявлены на подводных склонах и вблизи вулканических островов Саккар, Толокива, Умбой, а также внутри каналов и в условиях равнинного бассейна (к северу от острова Толокива). Длина волны варьируется в промежутке от 150 до 2000 м а высота волны - от 1 до 70 м. На данных батиметрии волны обнаруживаются визуально (крупно-масштабные волны), при анализе уклона рельефа (уклон варьируется от 0 до 10°) и на снимках гидролокатора бокового обзора (за счет различий во фракционном составе осадков, связанных с ложбинами и вершинами волн). Встречаются волны как синусоидальной, так и прямой формы в плане, а в профиль волны имеют U-образную форму и показывают преимущественно миграцию вверх по склону, что также прослеживается на сейсмоакустических профилях (аккумуляция осадочного материала происходит на борту волны, направленного вверх по склону). Поскольку детальные данные о придонных течениях в регионе исследований отсутствуют, нельзя с уверенностью определить источник образования осадочных волн. Но возможно предположить, что поле осадочных волн, расположенных в более равнинных условиях на удалении от вулканических островов, образовалось под действием придонных течений. В то же время, осадочные волны, встречающиеся на склонах и у подножий вулканических островов, с большей вероятностью образованы за счет действия турбидных потоков.

Эрозионные формы рельефа также широко распространены в районе исследований и встречаются на бортах каналов и на конусе выноса системы каналов, расположенных в ложбине между островами Новая Британия и Саккар. В плане они напоминают мелкомасштабные осадочные волны за счет своей прямой и синусоидальной формы. Однако в профиль они отличаются за счет

выраженной V-образной формы, врезающейся на глубины 2-10 м от поверхности осадков. По характеру отражения сигнала на сейсмоакустических профилях можно сказать, что данные формы имеют не аккумулятивное или аккумулятивно-эрозионное происхождение, как в случае осадочных волн, а эрозионное [1]. Их образование вызвано действием турбидных потоков, формирующихся на склонах островов. Размеры эрозионных форм уменьшаются вниз по склону, что говорит об ослаблении турбидного потока по мере продвижения вперед. Также из сейсмоакустических данных видно, что раньше волнистые формы распространялись ниже по склону. Это свидетельствует о смещении зоны образования эрозионных форм рельефа вверх по склону.

Анализ волнистых форм рельефа к северу от острова Саккар по сейсмоакустическим профилям позволил выявить следы крипа: на глубине более 2-8 м (3-10 ms на профилях) в осадочном горизонте обнаруживаются разломы, нарушающие параллельное залегание слоев. Образование данного горизонта вероятнее всего вызвано деформацией склона и крипом. Поверх горизонта обнаруживаются осадочные волны по свойственному им мигрирующему характеру осадконакопления. Их образование, вероятнее всего, вызвано возникновением волнистой поверхности (за счет процесса крипа) и гидравлического скачка на пути движения турбидных потоков.

Таким образом, волнообразные формы рельефа довольно широко распространены в районе исследований и представлены в основном полями осадочных волн, эрозионными формами и криповыми деформациями. Помимо описанных ранее в работе [2], были выявлены поля осадочных волн вблизи островов Толокива, Умбой, Саккар, и крип на северном склоне острова Саккар. Для их выявления и успешной интерпретации потребовались батиметрические данные более высокого пространственного разрешения (25 м, вместо разрешения 100 м, использованного в предыдущих исследованиях).

Список литературы

- 1) Symons W.O., Sumner E.J., Talling P.J., Cartigny M.J.B. and Clare M.A. Large-scale sediment waves and scours on the modern seafloor and their implications for the prevalence of supercritical flows // *Marine Geology*. 2016. № 371. P. 130–148.
- 2) Hoffmann G., Silver E., Day S., Morgan E., Driscoll N. and Orange D. Sediment waves in the Bismarck Volcanic Arc, Papua New Guinea // *Special Papers, Geological Society of America*. 2008. № 436. P. 91–126.
- 3) Hoffmann G., Eli S., Day S. and Driscoll N.W. Deformation Versus Deposition of Sediment Waves in the Bismarck Sea, Papua New Guinea // *SEPM Special Publication*. 2011. № 95. doi: 10.2110/sepm.sp.096.455.

УСЛОВИЯ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ К ВОСТОКУ ОТ СРЕДИННО-АТЛАНТИЧЕСКОГО ХРЕБТА В СРЕДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ-ГОЛОЦЕНЕ

Кулешова Л.А., Баширова Л.Д.

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

lubov_kuleshova@mail.ru

Ключевые слова: палеоокеанологические реконструкции, осадконакопление, планктонные и бентосные фораминиферы, экваториальная Атлантика, Антарктическая донная вода.

В рамках данной работы изучена колонка донных осадков АНС-33047 (08°16.380' с.ш., 31°42.870' з.д., глубина 4027 м, длина 516 см), отобранная в южной части котловины Зеленого Мыса (к востоку от Срединно-Атлантического хребта) в 33-м рейсе НИС «Академик Николай Страхов» в 2016 году. В настоящее время район исследования находится под влиянием поверхностного Северного экваториального противотечения, также место отбора колонки омывается трансформированной Антарктической донной водой. Современная поверхностная температура в районе исследования составляет около 23-24 и 26-27 °С зимой и летом, соответственно.

В пилотных пробах (каждые 10 см) получены данные по соотношению стабильных изотопов кислорода и углерода ($\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{13}\text{C}$) в раковинах бентосного вида *Cibicidoides wuellerstofi*. Исследование стабильных изотопов кислорода и углерода проводилось в Лаборатории радиометрического датирования и изотопных исследований им. Лейбница Кильского университета (г. Киль, Германия). Сопоставление данных распределения изотопов кислорода в колонке АНС-33047 с опорной глобальной кривой LR04 [1] позволило установить среднеплейстоцен-голоценовый возраст исследуемых осадков (13 изотопно-кислородных стадий - ИКС). Изучено влияние вод антарктического происхождения на условия осадконакопления в районе исследования, в том числе с использованием индексов растворения [2].

Выполнены количественные анализы комплексов планктонных (ПФ) и бентосных (БФ) фораминифер. ПФ изучались во фракции >150 мкм. Раковины БФ подсчитывались во фракциях 100-150 и >150 мкм. Рассчитывались содержание раковин БФ и ПФ на 1 г сухого осадка (фораминиферовое число), а также число видов фораминифер в образце. Индексы биоразнообразия Фишера и доминирования Симпсона вычислялись с помощью программы PAST. Реконструкция палеотемператур с помощью метода Modern Analog Technique (MAT) [3] позволила получить данные о температуре поверхностного слоя океана (0-50 м). Использовались современная фаунистическая [4] и гидрологическая [5] базы данных.

В исследуемых образцах колонки комплексы ПФ представлены в основном тропической фауной. Среди 29 обнаруженных видов ПФ преобладают (более 20%) раковины 4 видов: *Globigerinoides ruber* (all) (здесь приводится как сумма white, elongates и pink), *Globigerinoides sacculifer*, *Globorotalia menardii*, *Neogloboquadrina incompta*. Выявлены значительные колебания температуры в прошлом - 21-26 °С. Реконструированный диапазон температур, в целом, соответствует современным значениям в данном районе. ИКС 1 характеризуется максимальными значениями температур. Распределение вида *Globorotalia inflata*, который маркирует термоклин, зеркально отражает распределение палеотемпературы поверхностного слоя океана.

В комплексах БФ встречено более 100 видов. Показатели индекса доминирования меняются в противофазе с величинами индекса Фишера α и процентным содержанием видов-индикаторов высокой продуктивности: *Bulimina elegans*, *Eubuliminella exilis*, *Fursenkoina bradyi*, *Fursenkoina complanata*, *Fursenkoina mexicana*, *Globobulimina pacifica*, *Melonis barleeanus*, *Nonionella atlantica*, *Pullenia salisburyi*, *Pullenia quinqueloba*, *Quadrinorphinala evigata*. Наиболее многочисленный вид - *Nuttallides umbonifera* с содержанием 25,4-67,6% во фракции >150 мкм и 13,4-53,5% во фракции 100-150 мкм. Снижение доли этого вида в пределах горизонта 200-201 см сопровождается увеличением процентного содержания другого доминирующего вида *Epistominella exigua* (до 26,2%

во фракции 100-150 мкм). Также в колонке широко распространены *Globocassidulina subglobosa* (до 20% и 19,1%), *Alabaminella weddellensis* (до 11,4% и 15,3%) во фракциях >150 и 100-150 мкм, соответственно. Вид *N. umbonifera* относится к эпифауне, обитает в условиях низкого потока органического вещества на дно. Доминирующее положение *N. umbonifera* в агрессивной глубоководной среде объясняется устойчивостью данного вида к растворению. Виды *E. exigua*, *A. weddellensis*, *G. subglobosa* относятся к оппортунистическим видам - способны обитать в стрессовых обстановках с ярко выраженной сезонностью в поступлении питательных веществ.

Исходя из повышенных значений индекса биоразнообразия и содержания видов-индикаторов высокой биопродуктивности, а также минимальных величин индекса доминирования, наиболее благоприятные условия для фауны БФ (наличие пищи и кислорода вблизи дна, низкая агрессивность придонных вод по отношению к карбонатным компонентам осадка) реконструированы для переходных интервалов ИКС 11/10, 13/12 и голоцена. Максимальные значения индекса доминирования фиксируются в образцах ИКС 12 и 4 и совпадают с интервалами уменьшения процентного содержания карбоната кальция в осадке, что, вероятно, свидетельствует об установлении в это время стрессовых, быстро изменяющихся условий вблизи дна. На эти же горизонты приходятся пики численности БФ, которые, скорее всего, не связаны с ростом биопродуктивности поверхностных вод, но отражающие присутствие агрессивных по отношению к карбонатам придонных вод, судя по интенсивному растворению раковин ПФ.

Данные изучения $\delta^{13}\text{C}$ свидетельствуют о том, что в среднем плейстоцене-голоцене район исследования находился под влиянием вод антарктического происхождения. Однако во время ИКС 1, 5, 9 и 13 отмечено ослабление влияния этих вод, судя по увеличению легких изотопов углерода и одновременному снижению показателей индикаторов растворения; вероятно, в это время место отбора колонки подвергалось временному влиянию водных масс североатлантического происхождения.

Экспедиционные исследования проведены в рамках госзадания ИО РАН (тема № 0149-2019-0013), изотопные исследования, микропалеонтологический анализ и интерпретация данных выполнены при поддержке РНФ (грант № 19-17-00246).

Список литературы

- 1) Lisiecki L.E., Raymo M.E. A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records // *Paleoceanography*. – 2005. – Vol. 20. – PA1003. – P. 1–17.
- 2) Kucera M., Rosell-Melé A., Schneider R. et al. Multiproxy approach for the reconstruction of the glacial ocean surface (MARGO) // *Quaternary Science Reviews*. – 2005. – Vol. 24. – P. 813–819.
- 3) Prell W.L. The stability of low latitude sea surface temperatures: An evaluation of the CLIMAP reconstruction with emphasis on positive SST anomalies // *Rep. TR 025. U.S. Dep. of Energy* 60. – 1985.
- 4) Pflaumann U., Sarnthein M., Chapman M. et al. Glacial North Atlantic: Sea-surface conditions reconstructed by GLAMAP 2000 // *Paleoceanography*. – 2003 – Vol. 18 – № 3. – P. 1065–1102.
- 5) Antonov J., Levitus S., Boyer T.P. et al. *World Ocean Atlas 1998, Vol. 1: Temperature of the Atlantic Ocean* // NOAA Atlas NESDIS 27, U.S. Government Printing Office, Washington D.C. – 1998. – 166 pp.

МОРСКИЕ ЛЬДЫ КАК ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ РЕЛЬЕФА ДНА КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Мазнев С.В.¹, Вергун А.П.^{1,2}, Огородов С.А.¹

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

²Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, г. Москва

svmaznev@gmail.com

Ключевые слова: ледово-экзарационный рельеф, ледяной покров, микрорельеф, спутниковые методы, стамухи.

Каспийское море является частично замерзающим морем. Его ледяной покров очень динамичен, в результате его взлома и торошения формируются ледяные образования, которые при посадке на мель становятся активным агентом рельефообразования. Размещение стамух, их размеры, глубину пропашки ими дна необходимо учитывать при прокладке коммуникаций на морском дне, строительстве нефтедобывающих платформ на шельфе Северного Каспия и обеспечении морского судоходства.

Ледовый период на Северном Каспии продолжается с ноября по март. Морские льды, как правило, появляются севернее линии о. Чечень - о. Кулалы, в экстремально холодные зимы припайный лед может устанавливаться до изобаты 20 м. Максимальная толщина ровного льда на Северном Каспии даже в очень суровые зимы не превышает 60-70 см, припаяя - 90-120 см. Однако значительную часть акватории может занимать так называемый наслоенный лед толщиной до 3 м [1].

Относительно тонкий и «теплый» лед на фоне сильных ветров создает благоприятные условия для его взлома и торошения. Наиболее характерному для Северного Каспия ветровому торошению способствуют подледные течения и сгонно-нагонные колебания уровня. Существенно влияют на процессы торошения мелководность, извилистость береговой линии и сложный рельеф дна с большим количеством подводных банок и кос [1].

При исследовании воздействий льдов на дно важным является определение местоположения ледяных торосистых образований. Учитывая большие площади обследуемых акваторий и дороговизну авиаразведочных работ, проводившихся ранее с этими целями [1], в последние годы широко развиваются методы, применяющие данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Методика, использующая ряд прямых и косвенных дешифровочных признаков для обнаружения стамух и торосов по спутниковым данным, детально разработана и опробована сотрудниками ААНИИ [2]. На Каспийском море обнаружение ледяных торосистых образований по спутниковым данным применяется сотрудниками НИЦ «Планета», составляющими оперативные карты ледовой обстановки Каспийского моря [3]. В настоящий момент для Каспийского моря активно развиваются геоинформационные методы автоматизированной идентификации дрейфа льда и стамух [4] с использованием технологий глубокого машинного обучения. В некоторых случаях проводят полевые обследования местности.

На спутниковых снимках видимого диапазона до глубин около 3 м могут быть обнаружены и следы ледово-экзарационных воздействий. На Каспийском море такие следы были выявлены в двух районах: Тюленьих островов и зал. Кендырли (Западный Казахстан). Для заверки этих следов была проведена экспедиция, включавшая подводную съемку видео(экшн-)камерой GoPro Hero 7 в водонепроницаемом боксе на гибкой трубочине, съемку эхолотом Lowrance Mark-5х, датчик которого был закреплен на кронштейне на борту моторной лодки, и отбор проб при помощи стандартного пробоотборника в пластиковые пакеты с замком зип-лок. Было проведено визуальное описание обследованных участков.

Безусловно, распространение форм экзарации имеет большие масштабы, следы ледовых воздействий обнаружены на глубинах от 1 до 12 м [5]. Сами формы, дешифрованные на дне в

районе Тюленьих островов, имеют ширину 30-50 м, длину 1-2 км и выраженные напорные валики на концах борозд. Обнаруженные в зал. Кендырли ледово-экзарационные борозды имеют ширину 5-20 м, длину от 300 м до нескольких км и выраженные боковые валики. По результатам обследования выявлено, что борозды в этих районах имеют небольшую глубину и, в большей степени, представляют собою нарушенный покров водорослевой растительности. Борозды практически не углублены (на 10-30 см) в донные осадки. Видимые на спутниковых снимках следы являются свободными от растительности участками. Валики на концах борозд в районе Тюленьих островов представлены накоплениями верхней части разреза рыхлых отложений, смешанных с остатками водорослей, содранных в результате ледовых воздействий. Выполненные эхолотные промеры показали, что борозды выпаживания имеют глубину порядка 30 см.

Необходимо отметить, что формы ледово-экзарационного рельефа на Каспийском море имеют непродолжительное существование. За весенний период, характеризующийся интенсивным волнением и высоким содержанием взвеси в водах впадающих рек, большинство борозд нивелируется наносами, которые характеризуются высокой подвижностью. Обнаруженные в районе Тюленьих островов и зал. Кендырли ледово-экзарационные борозды оказались запечатленными на космических изображениях благодаря относительно спокойной гидродинамической обстановке. Рельеф дна сохраняется внутри архипелага Тюленьих островов и зал. Кендырли, отчлененной косой Ада, куда редко проникают волны высокой балльности. В то же время, закрытость этих районов не позволяет ледяным образованиям оставлять более глубокие следы, которые в других частях акватории могут достигать в глубины 1 м [5].

Как показали спутниковые исследования, ледяные образования формируются практически по всей акватории Северного Каспия. Это говорит о том, что морские льды являются существенным фактором формирования микрорельефа дна. В то же время, в большинстве случаев, борозды быстро нивелируются наносами и не сохраняются. Обследование участков акватории Каспийского моря показало, что борозды могут сохраняться в условиях закрытых участков акваторий даже в таких экстремально южных районах как зал. Кендырли, где льды образуются крайне редко.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-35-90100.

Список литературы

- 1) Бухарицин П.И. Особенности процессов торошения ледяного покрова северной части Каспийского моря // Водные ресурсы, 1984, № 6. С. 115-123.
- 2) Спутниковые методы определения характеристик ледяного покрова морей [практическое пособие]. СПб: АНИИ, 2011. 238 с.
- 3) Применение спутниковой информации для решения задач в области гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды / Под. ред. В.В. Асмуса. М.: НИЦ «Планета», 2017. 47 с.
- 4) Sigitov A., Kadranov Y., Vernyayev S. Analysis of Stamukhi Distribution in the Caspian Sea // Proceedings of the 25th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions. June 09-13, 2019, Delft, the Netherlands. 2019. P. 1-14.
- 5) Огородов С.А., Мазнев С.В., Бухарицин П.И. Ледово-экзарационный рельеф на дне Каспийского и Аральского морей // Известия Русского географического общества. 2019. Т. 151. №2. С. 35-50. doi: 10.31857/S0869-6071151235-50

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮЖНО-ТАТАРСКОГО БАССЕЙНА

Максеев Д.С., Шакиров Р.Б., Аксентов К.И., Федоров С.А.

*Тихоокеанский Океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного Отделения РАН,
г. Владивосток
maxdan@bk.ru*

Ключевые слова: концентрация, компонент, донные осадки, шельф, эпибатиальная зона.

Изучение влияния островной и материковой суши на формирование современных осадков представляется крайне важным для выяснения особенностей осадконакопления и решения вопросов минерализации в конкретной акватории [1]. Татарский пролив, расположенный между разными по степени зрелости элементами суши, является хорошей лабораторией для изучения различных сторон седиментогенеза.

Отбор проб донных осадков осуществлен в комплексной геолого-геофизической экспедиции ТОИ ДВО РАН в 54-м рейсе НИС «Академик Опарин». Исследованию подвергнута площадь центральной части Южного осадочного бассейна. В структурном плане площадь охватывает: Тернейский прогиб, Холмский прогиб, Совганское поднятие, Пионерское поднятие, Приморскую моноклиналь и северную часть Татарского трога.

По результатам рентгенофлуоресцентного анализа проб донных осадков выявлена отчетливая асимметрия в накоплении ряда элементов в Южно-Татарском осадочном бассейне. На приматериковом шельфе содержание SiO_2 в донных осадках ниже, по сравнению с осадками приостровного шельфа. На неоднородный химический состав так же указывают содержания Al, Ti, Mg, K. По ним возможно установить: какие породы были субстратом для донных осадков, если провести сравнения с кларками содержаний в главных типах пород [2]. Для анализа были взяты оксиды перечисленных пяти компонентов:

Кремнезем (SiO_2). Максимальное накопление (почти до 75 масс.%) наблюдается в прибрежной зоне приостровного (Сахалинского) и приматерикового шельфа, в частности в северной части бассейна (на сублиторальной зоне). Минимальные содержания (68-70 масс.%) - в центральной и южной, глубоководной части бассейна (Тернейский прогиб, зона батиали). На приостровном шельфе содержание SiO_2 выше примерно на 1-2 масс.%, чем на приматериковом. Такие содержания кремнезема выше среднего по проливу [3].

Глинозем (Al_2O_3). Самые высокие содержания компонента (до 12 масс.%) - в северной эпибатиальной зоне бассейна, а также на континентальном шельфе. Такие высокие значения связаны с щелочными магматическими комплексами Сихотэ-Алиньской складчатой системы, из которых вымывается глиноземистый материал. Самое низкое содержание отмечается в батиальной зоне (около 8 масс.%) и на приостровном шельфе (7,1 масс.%), что противоречит [3] (по их данным основная концентрация Al регистрируется в шельфовых зонах). Содержание Al почти в 1,5 раза меньше, чем в земной коре - характерно для бассейнов Татарского пролива [3].

Оксид магния (MgO). Самое высокое содержание в батиальной зоне - 5,1 масс.%, что связано с перераспределением компонентов в водном бассейне (количество от сублиторальной зоны к батиальной меняется с 2,7 до 5 масс.%), с образованием аутигенных минералов (группа брусита, доломит, магнезит) и легкой подвижностью самого магния. На приматериковом шельфе содержание окиси магния выше, чем на приостровном шельфе - разница достигает 0,4 масс.%.

Оксид титана (TiO_2). В прибрежных шельфовых зонах наблюдается аналогичное различие: содержание TiO_2 составляет 0,47-0,64 масс.% в приматериковой зоне (преобладающее значение - около 0,6 масс.%) и 0,36-0,61 масс.% в приостровной зоне (преобладающее значение - 0,57 масс.%). В северной эпибатиальной зоне бассейна отмечены повышенные содержания оксида титана по

сравнению с прибрежными зонами - 0,63-0,64 против 0,47-0,59 масс.%. Оксид титана с железом образуют возможные прибрежные титаномагнетитовые россыпи [4].

Оксид калия (K_2O). Один из немногих компонентов, который выбивается из общей картины: на приматериковом шельфе его содержание выше, чем на приостровном - 3,2 против 3,0 масс.%. Такое распределение, возможно, связано с аутигенной минерализацией: образованием калийных солей и глинистых минералов (каолинит). Кроме того, это может быть связано с наличием щелочных массивов (сиенитов), расположенных недалеко от суши. В северной эпибатиальной зоне бассейна также отмечаются высокие содержания K_2O - 3,0-4,1 масс.%.

Повышенное содержание рудных компонентов Fe, V, Mn наблюдаются в центральной эпибатиальной зоне бассейна, на Тернейском прогибе и частично на Пионерском поднятии соответственно. Связаны они с тонкой фракцией осадка (илами) и образуют аутигенные минералы (оксиды и гидроксиды). Содержания компонентов в батиальных зонах (зонах прогибов) $Fe_{сумм}$, MgO, MnO (против содержаний на прибрежной зоне) составляют соответственно (в масс.%): 4 (5); 0,02-0,03 (5); 0,1-0,2 (0,06-0,07). Отмечено повышенное содержание железа на приматериковой шельфовой зоне (до 5,5 масс.%), по сравнению с приостровной шельфовой зоной. Высокие значения отмечены для ванадия - содержания намного выше среднего, близкие к кондиционным. Сера, при наличии которой в определенных условиях происходит образование аутигенных минералов (марказит, пирит), концентрируется в эпибатиальной зоне (Тернейский прогиб), равномерно уменьшаясь к прибрежной зоне. Также это может быть связано с наличием углеводородов.

В целом, полученные данные согласуются с геологическим строением суши в прибрежных зонах: на материке, недалеко от берега, простирается хр. Сихоте-Алинь, в строении которого участвуют интрузии среднего и кислого (щелочно-кислого) состава; возле берега наблюдаются большие покровы вулканитов и туфов основного состава. В связи с наличием указанных интрузивов отмечают повышенные содержания некоторых щелочных (K_2O) компонентов в донных осадках. На острове, наоборот, в основном находятся миоценовые, неогеновые и меловые терригенные породы и осадочные толщи кислого состава. Повышенные содержания отдельных компонентов (SiO_2 и TiO_2) в северной шельфовой части бассейна связаны с сужением акватории в этой области и наличием преимущественно псаммитовой и псефитовой фракций.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-05-00153 и Комплексной программы ДВО РАН «Дальний Восток» на 2018–2020 годы №18-1-008. Экспедиция выполнялась в рамках государственного задания ГОИ ДВО РАН по программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы.

Список литературы

- 1) Современное осадкообразование в Татарском проливе / В.Ф. Игнатова. - М. : Наука, 1980. - 78 с.
- 2) Интерпретация геохимических данных: Учеб. пособие / Е.В. Складов и др. - М: Интернет Инжиниринг, 2001. - 288 с.
- 3) Морская геология и геологическое строение областей питания: Японского и Охотского морей : Сб. науч. тр. / АН СССР, Дальневост. науч. центр, Дальневост. геол. ин-т. - Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1977. - 166 с.
- 4) Аксенова Т.П., Сараев С.В., Писарева Г.М. Осадконакопление в сублиторальной зоне Татарского пролива и современные россыпи титаномагнетита // Бассейновый литогенез и минерогения : Сб. науч. тр. / АН СССР, Сиб. отделение, Ин-т геологии и геофизики. Новосибирск, 1989. С. 9-16.

СРЕДНЕ-ПОЗДНЕЧЕТВЕРТИЧНОЕ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЕ НА КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ОКРАИНЕ СЕВЕРА АРГЕНТИНСКОЙ КОТЛОВИНЫ (ЮЖНАЯ АТЛАНТИКА)

Немченко Н.В., Борисов Д.Г.

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

ninnela@mail.ru

Ключевые слова: донные осадки, придонные течения, литология, гранулометрический анализ, рентгено-флуоресцентный анализ.

Северо-западная часть Аргентинской котловины является зоной, характеризующейся очень динамичным океанографическим режимом. Значительную роль в осадконакоплении в глубоководной части котловины играют придонные течения вод антарктического происхождения. Придонные течения (в том числе во взаимодействии с гравитационными потоками) образовали в рассматриваемом районе широкий спектр эрозионных и аккумулятивных форм рельефа [1].

Район исследования охватывает плато Санта-Катарина на севере Аргентинской котловины. На основании результатов сейсмопрофилирования на плато выявлено обширное поле осадочных волн [2], которое предположительно сформировано под преимущественным действием придонного течения Нижней циркумполярной воды. Процессы средне- и позднечетвертичного осадконакопления в указанном районе, равно как вещественный, элементный и гранулометрический состав донных осадков остаются слабо изученными. Данная работа направлена на решение этих проблем.

В основу данного исследования легли 8 колонок донных осадков длиной 3.06-4.85 м, полученные в интервалах глубин 3345-4040 м в рейсах 33, 35, 43, 50 и 53 НИС «Академик Иоффе» (2010, 2011, 2013, 2015, 2017 гг.) [2]. Все колонки сложены восстановленными сероцветными силтово-глинистыми илами, с хорошо развитым окисленным коричневым поверхностным слоем. В разрезах колонок наблюдаются уплотненные прослой с признаками железистых хардграундов, также встречаются прослой силтово-глинистого и силтового материала [2,3]. Осадки были комплексно проанализированы различными литологическими методами, для установления роли придонных течений в осадкообразовании и рельефообразовании района, реконструкции палеоокеанологических событий.

Для характеристики вещественного состава различных литотипов по разрезам колонок были изучены смер-слайды и шлифы. В качестве индикаторов относительных скоростей придонных течений использовались результаты гранулометрических анализов терригенной составляющей осадка, которые были выполнены в лаборатории геологии Атлантики АО ИО РАН на лазерно-дифракционном анализаторе SALD 2300 (Shimadzu, Япония). В качестве индикатора увеличения терригенного сноса использовались высокие значения показателей магнитной восприимчивости (пики). Магнитная восприимчивость была измерена детально по разрезам всех колонок с шагом 0.5 см с помощью системы Bartington MS3 с поверхностным сканирующим датчиком (Surface Scanning Sensor) Bartington MS2E. Для характеристики отдельных параметров осадка использовались геохимические индексы. Рентгено-флуоресцентным методом (XRF) по разрезам всех колонок был измерен элементный состав осадка с шагом 1 см с помощью анализатора Olympus Vanta. Отношение Ca/Al использовалось как показатель содержания известкового биогенного материала в осадке. Отношение Zr/Rb - как показатель увеличения содержания песчаной фракции. Увеличение значений Mn/Ti использовалось для отслеживания изменений окислительно-восстановительных обстановок, хардграундов [4].

Гранулометрические анализы показывают, что все колонки сложены в разной степени сортированным силтово-глинистым материалом и единичными хорошо отсортированными песчаными прослоями. Увеличение крупности осадка по разрезам колонок зафиксировано по отношениям Zr/Rb. Одномодальные распределения с модами в областях мелкого песка и мелкого, среднего,

крупного силта наблюдаются в интервалах со средней и хорошей сортировкой - что говорит об одном источнике сноса терригенного материала (которым, вероятнее всего, является залив Ла-Плата, расположенный порядка 150 км к юго-западу от района исследования) и накоплении осадка при воздействии придонных течений разной интенсивности [1]. В интервалах с плохой сортировкой наблюдаются бимодальные распределения с модами в областях среднего и мелкого силта, что свидетельствует о втором дополнительном источнике поступления осадочного материала - им может оказаться сезонно размывающийся шельф. По результатам изучения шлифов и смер-слайдов выявлено, что терригенное вещество в осадках представлено обломками минералов кварца, полевых шпатов, слюды, реже встречены пироксены, амфиболы и другие минералы тяжелой фракции [3].

Хардграунды в разрезах колонок характеризуются резким увеличением отношения Mn/Ti, что связано с изменениями процессов раннего диагенеза и замедлением осадконакопления.

О растворении или усилении терригенного сноса свидетельствуют минимальные значения отношения Ca/Al. Кривые изменения этого параметра коррелируют с климатическими ледниково-межледниковыми циклами. На основании пилотного анализа видового состава планктонных фораминифер была построена плейстоцен-голоценовая возрастная модель разрезов колонок [2].

Изученные отложения по группам признаков отнесены к смешанному контуритово-гемипелагическому генетическому типу. К контуритам относятся колонки, отобранные с вершин и склонов активных в настоящее время осадочных волн. Контуриты доминируют у южного склона плато Сан-Паулу, где в непосредственной близости проходят мощные потоки Нижней циркумполярной воды, в дистальной части расположено поле иловых контуритов, что также свидетельствует о наличии течений, но с меньшей интенсивностью. Гемипелагические слои глин говорят о периодах с относительно слабыми придонными течениями, недостаточными для создания осадочных волн.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект №18-17-00227).

Список литературы

- 1) Борисов Д.Г., Мурдмаа И.О., Иванова Е.В. и др. Контуритовые системы в районе южного эскарпа плато Сан-Паулу, Южная Атлантика // Океанология. 2013. Т.53. №4. С. 1-13
- 2) Иванова Е.В., Мурдмаа И.О., Борисов Д.Г., Овсепян Е.А., Симагин Н.В., Мутовкин А.Д., Немченко Н.В., Корнилова М.О., Судьин В.В., Новиков Ю.В. Изучение латеральной седиментации в Западной Атлантике в 53-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Иоффе» // Океанология, 2018. Т. 6. №58. С. 1001-1003
- 3) Сейткалиева Э.А. Литология четвертичных отложений континентальной окраины на севере Аргентинской котловины // Геология морей и океанов. 2015. Т. 1. С.230-232.
- 4) Rothwell R.G., Croudace I.W. Micro-XRF studies of sediment cores: a perspective on capability and application in the environmental sciences. In: Croudace, I.W., Rothwell, R.G. (Eds.), Micro-Xrf Studies of Sediment Cores. Springer, Dordrecht, 2015. P. 25-102.

КАТАГЕНЕТИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВОМОРСКОГО ШЕЛЬФА

Никитин Д.С.

Геологический институт РАН, г.Москва

ndsnomination@mail.ru

Ключевые слова: катагенетическая зональность, моделирование, Баренцевоморский шельф, нефтегазоносность.

Нефть, газ и природные продукты преобразования нефтей, находящиеся в недрах, представляют собой систему растворенных друг в друге органических компонентов, включающих разнообразные индивидуальные соединения. Объединяемые понятием углеводородного раствора, нефть и газ являются результатом сравнительно низкотемпературной дефлюидизации осадочных пород, обогащенных органическим веществом (ОВ). Активизация процессов нефтегазообразования является следствием определенной направленности развития осадочного бассейна, испытывающего погружение.

Нефть - это природный углеводородный раствор, в котором растворителем являются легкие углеводороды (УВ), а растворенными веществами - прочие компоненты: тяжелые УВ, смолы и асфальтены. Углеводородные газы являются частью природных углеводородных систем и имеют газообразное состояние в нормальных атмосферных условиях.

Развитие УВ-систем специфично для каждого конкретного участка осадочного бассейна, поскольку определяется как особенностями осадконакопления и концентрациями определенного типа органического вещества, т.е. преимущественно фаціальными условиями, так и историей погружения и последующей миграцией, в том числе и вертикальной. Создание моделей УВ-систем подразумевает определение зональности в размещении УВ по разрезу и в пространстве и является важной частью прогнозирования нефтегазоносности недр.

Вертикальная фазовая зональность УВ в разрезе осадочного чехла зависит, прежде всего, от возрастания температуры при погружении нефтегазопроизводящих толщ на глубины свыше 1,5-2,5 км. Существенным является влияние и других факторов, таких как состав и тип исходного ОВ нефтегазоматеринских толщ (НГМТ) - сапропелевого, гумусового или же смешанного сапропелево-гумусового; палеогеографических, палеотектонических, литолого-фаціальных и палеогеохимических условий накопления и захоронения исходного ОВ; характера и степени метаморфизма исходного ОВ еще в осадке; палеотектонических условий развития бассейна седиментации, то есть направленности режима тектонических движений; величины палеогеотермического градиента; геологической продолжительности нахождения УВ после их генерации в определенных термодинамических условиях, т.е. продолжительности воздействия на УВ тех или иных величин палеотемпературы и палеодавления; наличия, состава и условий распространения экранирующих толщ пород-флюидоупоров над нефтегазогенерирующими комплексами; палеогидрогеологических условий бассейна седиментации [1].

В зависимости от того или иного сочетания перечисленных факторов абсолютные величины глубин интенсивного нефте- и газообразования, а также фазовое состояние (зональность) УВ в разрезе осадочных образований в отдельных областях могут колебаться в широких пределах. Выяснение закономерностей зонального размещения УВ, находящихся в разном фазовом состоянии в разрезе осадочного чехла, способствует обоснованному прогнозированию зон возможной концентрации наибольших запасов преимущественно нефти и газа в определенных интервалах глубин. В Баренцевоморском регионе, помимо вертикальной, имеет место и геоструктурная зональность в размещении скоплений УВ в разном фазовом состоянии, которая выражается в том, что зоны преимущественно нефте- и газонакопления приурочены к определенным частям крупных геоструктурных элементов.

На основе построенной пространственной модели распределения глубинных температур и теплового потока определены глубины катагенетического преобразования углеводородов в осадочном чехле северо-восточной части Баренцевоморского шельфа, а также проведена пространственная и количественная корреляция геотермического поля и локализации нефтегазоносности. Рассчитаны палеогеотермические модели, показывающие распределение температур геологического прошлого, соответствующие времени созревания углеводородов.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда фундаментальных исследований (грант № 18-35-00236 мол_а).

Список литературы

- 1) Бакиров А.А., Бакиров Э.А. Теоретические основы и методы поисков и разведки скоплений нефти газа. В 2т. Кн. 1. Теоретические основы прогнозирования нефтегазоспособности недр // Недра - Москва, 2012. 654 с.

ЧИСЛЕННЫЕ РЕКОНСТРУКЦИИ СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БЕРИНГОВА МОРЯ В ИНТЕРВАЛЕ ПОСЛЕДНЕЙ ДЕГЛЯЦИАЦИИ ПО КОМПЛЕКСАМ БЕНТОСНЫХ ФОРАМИНИФЕР

Овсепян Е.А.¹, Иванова Е.В.¹, Тетард М.², Макс Л.³, Тидеманн Р.⁴

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Российская Федерация

²Европейский центр образования и исследований в области геонаук об окружающей среде, г. Экс-ан-Прованс, Франция

³Центр морских наук об окружающей среде, г. Бремен, Германия

⁴Центр полярных и морских исследований им. А. Вегенера, г. Бремерхафен, Германия

ameli_cat@mail.ru

Ключевые слова: бентосные фораминиферы, количественные реконструкции, зона кислородного минимума.

Берингово море представляет собой полузамкнутый бассейн в северной части Тихого океана, который соединяется с Арктикой через Берингов пролив. В настоящее время характерной чертой водной толщи Берингова моря является зона кислородного минимума (ЗКМ), развивающаяся на глубинах 500-1500 м. Согласно предыдущим исследованиям, ее интенсивность в северо-западной части Тихого океана существенно менялась от экстремально высоких значений в теплые эпохи до экстремально низких (вплоть до полного исчезновения ЗКМ) в течение холодных интервалов. Однако, несмотря на обилие данных, численные оценки этих изменений до настоящего времени известны не были. Метод полуколичественных реконструкций содержания кислорода на основании структуры сообществ бентосных фораминифер (БФ) был разработан М. Тетардом и соавторами и применен для серии данных, полученных по колонке донных осадков, поднятой с Калифорнийского склона [1]. В основе метода лежит утверждение, что при определенных концентрациях кислорода вблизи дна развиваются сообщества БФ с определенным процентным содержанием кислородозависимых групп (оксидной, субоксидной и дизоксидной).

В рамках данного исследования указанный метод был применен к серии данных по двум колонкам, полученным в западной части Берингова моря, - SO201-2-85KL (57°30.30' с.ш., 170°24.79' в.д., глубина 968 м) и SO201-2-77KL (56°19.90' с.ш., 170°41.97' в.д., глубина 2163 м). Колонки SO201-2-85KL и SO201-2-77KL подняты из области влияния промежуточных и глубинных вод, соответственно. В результате получены численные оценки изменений содержания кислорода в области влияния промежуточных и глубинных вод в западной части Берингова моря за последние 20 тыс. лет.

Условия, характеризующиеся высоким содержанием кислорода (>2 мл/л) и отсутствием ЗКМ, реконструированы на промежуточных глубинах в течение максимума последнего оледенения - интервала первого события Хайнриха. В это же время в области влияния глубинных вод формировались субоксидные обстановки с содержанием кислорода 0.8-2 мл/л. Высокие концентрации кислорода на промежуточных глубинах, скорее всего, были связаны с активным формированием промежуточных вод на северном и северо-восточном шельфе Берингова моря, а также с низкой биопродуктивностью поверхностных вод в условиях холодного климата. Субоксидные условия в области влияния глубинных вод могут быть объяснены влиянием Тихоокеанской водной массы, характеризующейся пониженным содержанием кислорода.

Появление ЗКМ с концентрациями кислорода около 0.1 мл/л в области влияния глубинных вод предполагается в самом начале потепления беллинга/аллереда. Развитие ЗКМ было вероятнее всего связано с повышением биопродуктивности поверхностных вод в условиях потепления климата, отступления границы морских льдов и апвеллинга богатых биогенными элементами глубинных вод. На промежуточных глубинах содержание кислорода достигло значений ~0.1 мл/л

на 0.9 тыс. лет позднее, что можно объяснить постепенным отступанием границы морских льдов на север от широты отбора колонки SO201-2-77KL. В течение позднего дриаса и раннего голоцена промежуточные и глубинные воды продолжали испытывать дефицит кислорода, который был наиболее выражен на промежуточных глубинах. В течение среднего-позднего голоцена содержание кислорода в глубинных водах было на уровне современного - 1.6-1.7 мл/л. Сопоставление микропалеонтологических, литологических, изотопных данных показало, что развитие ЗКМ на промежуточных глубинах контролировалось в основном изменениями климата в Северном Полушарии. Колебания концентраций кислорода в глубинной части ЗКМ были, по-видимому, связаны с поступлением глубинных тихоокеанских вод и контролировались интенсивностью апвеллинга в Южном океане.

Работа выполнена в рамках Госзадания ИО РАН (проект № 0149-2019-0007). Анализ комплексов бентосных фораминифер проводился при поддержке РФФИ (16-35-60063).

Список литературы

- 1) Tetard M., Licari L., Beaufort L. Oxygen history off Baja California over the last 80kyr: A new foraminiferal-based record // *Paleoceanography* 32. 2017. doi:10.1002/2016PA003034.

ИЗМЕНЕНИЯ УСЛОВИЙ ПАЛЕОСРЕДЫ В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ И ПРОЛИВЕ ВИЛЬКИЦКОГО НА ПРОТЯЖЕНИИ ПОСЛЕДНИХ 12.5 КАЛЕНДАРНЫХ ТЫСЯЧ ЛЕТ

Овсепян Я.С.^{1,2}, Талденкова Е.Е.^{2,3}, Шпильхаген Р.Ф.⁴, Кассенс Х.⁴, Баух Х.А.⁵,
Штайн Р.⁵, Аверкина Н.О.^{2,3}, Русаков В.Ю.⁶, Руденко О.В.⁷

¹Геологический институт РАН, г. Москва

²Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург

³Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, г. Москва

⁴Гельмгольц Центр по изучению океана в Киле (ГЕОМАР), г. Киль, Германия

⁵Институт Альфреда Вегенера, Гельмгольц Центр по морским и полярным исследованиям, г. Бремерхаузен,
Германия

⁶Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, г. Москва

⁷Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, г. Орел

petereden@mail.ru

Ключевые слова: море Лаптевых, пролив Вилькицкого, фораминиферы, палеогеография, голоцен, дегляциация.

Пролив Вилькицкого - ключевой регион для изучения природного взаимодействия морей Карского и Лаптевых. Главной целью исследования является детальная реконструкция палеоусловий, а именно, свойств водных масс, вариаций ледового покрова и хронологии подъема уровня моря в западной части моря Лаптевых и проливе Вилькицкого для дегляциального и голоценового времени.

Анализируется новый материал из колонки АМК5636 (77°54.5 с.ш., 104°54.0 в.д.), полученной с глубины 225 м из центральной части пролива в 69-ом рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в августе-сентябре 2017 г. Изучение осадков разреза колонки проходило с использованием комплекса современных палеоклиматических методов: литологических, микропалеонтологических, геохимических. Колонка датирована радиоуглеродным методом ускорительной масс-спектрометрии, возраст пересчитан в календарный в программе Calib 7.1 [1], рассчитана возрастная модель. Возраст основания колонки (длина 443 см) составляет 12.5 кал. тыс. лет назад, что примерно соответствует времени открытия пролива Вилькицкого [2]. Данные по колонке сопоставляются с изученными ранее разрезами из западной части моря Лаптевых, в частности с колонкой PS 51/154-11 [3].

Во фракции >125 мкм определялся состав и численность микрофауны (бентосные и планктонные фораминиферы, остракоды), материал ледового разноса (IRD) и аутигенные конкреции подсчитывались для фракции >500 мкм. По карбонатным раковинам бентосных фораминифер вида *Islandiella norcrossi* определен состав стабильных изотопов $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{13}\text{C}$. Также определен гранулометрический состав осадков, элементный состав методом рентгенофлюоресцентного анализа, содержание общего органического углерода (ТОС) и биомаркеров (PIP₂₅, brassicasterol), а также спор, пыльцы и водных палиноморф.

По комплексу методов для последних 12.5 кал. тыс. лет выделено несколько событий, связанных с изменениями природных условий. Для интервала времени 11.7-12.5 кал. тыс. лет назад, относящегося к холодному периоду позднего дриаса, реконструируются в целом холодные неблагоприятные условия со сплоченным круглогодичным ледовым покровом, неактивной циркуляцией вод, сильным опреснением. В то же время выделяются два кратковременных события: 12-12.3 кал. тыс. лет назад, связанное с временным улучшением условий для жизни микрофауны из-за поступления вод атлантического происхождения (присутствие атлантического вида-индекса *Cassidulina neoteretis*), и 11.9-12 кал. тыс. лет назад - сильное влияние опресненных вод из Карского моря, вызвавшее стратификацию водной толщи, благодаря чему в бескислородных условиях могли

образоваться характерные для этого интервала многочисленные конкреции вивианита.

Для раннего и среднего голоцена, интервал времени 4-11.7 кал. тыс. лет назад, растущие численность и разнообразие фораминифер и остракод свидетельствуют о прогреве поверхностных вод и росте продуктивности. Появление морского, относительно глубоководного вида *Melonis barleeanus* указывает на рост глубины. Для раннего голоцена, 7-11.7 кал. тыс. лет назад, низкое содержание материала ледового разноса (IRD) и высокое содержание ТОС указывают на увеличение летнего периода открытого ото льда моря.

После 7 кал. тыс. лет назад увеличивается содержание IRD, связанное с похолоданием климата - наблюдается несколько пиков с периодичностью 1-1.5 тыс. лет. Увеличение ледовитости и похолодание находят свое отражение и в составе комплекса микрофауны, где наряду с видами, предпочитающими нормально-морские условия («river-distal»), встречаются раковины фораминифер из мелководных опресненных районов шельфа («river-proximal») [4]. Вероятно, виды из мелководных областей Карского моря могли быть перенесены в пролив Вилькицкого льдами.

Для позднего голоцена, интервал времени 0-4 кал. тыс. лет назад, отмечается похолодание и увеличение ледового покрова. Среди бентосных фораминифер отмечаются пики видов, характерных для маргинальной ледовой зоны (*Islandiella norcrossi*, *Nonion labradoricum*, *Stainforthia loeblichii*); увеличение относительной численности *E. clavatum* свидетельствует о похолодании и усилении стратификации; преобладание агглютинированных видов в осадках, соответствующих по возрасту последней тысяче лет, предполагает растворение карбонатных раковин, вероятно, из-за увеличения привноса терригенной органики с речным стоком из Карского моря. Тем не менее появление заново в комплексе микрофоссилий фораминифер вида *C. neoteretis* говорит об интенсификации проникновения промежуточных атлантических вод в пролив Вилькицкого в позднем голоцене [3].

Исследования выполнены при поддержке Минобрнауки «Арктическая Трансполярная Система в переходных климатических условиях», уникальный идентификатор RFMEFI61619X0108.

Список литературы

- 1) Stuiver M., Reimer P.J., Reimer R.W. CALIB 7.1. 2017. <http://calib.org>, Accessed date: 22 October 2019.
- 2) Bauch H.A., Mueller-Lupp T., Taldenkova E., Spielhagen R.F., Kassens H., Grootes P.M., Thiede J., Heinemeier J., Petryashov V.V. Chronology of the Holocene transgression at the North Siberian margin // *Global and Planetary Change*. 2002. Vol. 31. P. 125–139.
- 3) Taldenkova E., Bauch H.A., Gottschalk J., Nikolaev S., Rostovtseva Yu., Pogodina I., Ovsepyan Ya., Kandiano E. History of ice-rafting and water mass evolution at the northern Siberian continental margin (Laptev Sea) during Late Glacial and Holocene times // *Quaternary Science Reviews*. 2010. Vol. 29. P. 3919-3935.
- 4) Polyak L., Korsun S., Febo L., Stanovoy V., Khusid T., Hald M., Paulsen B.E., Lubinski D.A. Benthic foraminiferal assemblages from the southern Kara Sea, a riverinfluenced Arctic marine environment // *Journal of Foraminiferal Research*. 2002. Vol. 32. № 3. P. 252–273.

ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ГДАНЬСКОГО БАССЕЙНА В ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ СЕДИМЕНТАЦИОННЫХ КОЛОНОК

Пономаренко Е.П.

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

ponomarenko.katharina@gmail.com

Ключевые слова: Балтийское море, затоки североморских вод, придонная циркуляция, потери при прокаливании.

Затоки североморских вод оказывают ключевое влияние на гидрологические и гидрохимические условия изолированного придонного слоя Балтийского моря. Однако отсутствие длинных рядов данных наблюдения затоков не позволяет ученым сформировать единого мнения относительно современной динамики затоков [1], а также однозначно ответить на вопрос, уменьшится или увеличится количество затоков в долгосрочной перспективе под влиянием климатических изменений, а также колебаний уровня моря.

В настоящем исследовании были изучены седиментационные колонки АБП-43026, АБП-43035 и АБП-43105 с целью реконструировать условия осадконакопления, в частности периодичность и интенсивность поступления вод затоков в юго-восточную часть Балтийского моря. Материал колонок был получен с помощью короткой геологической трубки конструкции Ниемисто на трех станциях в Гданьском бассейне во время 43-го рейса НИС «Академик Борис Петров» (июль - август 2018 г.). Использование трубки Ниемисто позволяет получить секцию с ненарушенным верхним слоем донных осадков. Колонки АБП-43035 и АБП-43105 были отобраны в Гданьской впадине на глубине 104 и 105 метров, соответственно, колонка АБП-43026 была отобрана на Гданьско-Готландском пороге на глубине 78 метров. Мощность отобранных осадков составляет 55 см (АБП-43026), 41 см (АБП-43035) и 49 см (АБП-43105). На борту судна было выполнено литологическое описание донных отложений, после чего колонки были разобраны на образцы непрерывно с шагом в 1 сантиметр. Осадки в основном представлены оливково-серым и темно-серым пелитовым илом, переходящим в глину в нижней части разрезов. В верхней части разрезов осадки характеризуются тонкой слоистостью, которая сменяется гомогенным материалом. В составе донных отложений колонок преобладают пелитовая и алевролитовая фракции с содержанием песка (>63 мкм) менее 5%. Для определения потерь при прокаливании (ППП) из колонок были отобраны пробы непрерывно с шагом в 2 см, за исключением верхних 6 см, которые были непригодны для определения ППП ввиду использования данного материала в других видах анализов. На основе литологического описания можно сделать предварительное заключение о литориновом и постлиториновом возрасте материала колонок. Для построения более точной возрастной модели донные отложения (валовый осадок) были отправлены в Познаньскую лабораторию (Польша) для радиоуглеродного датирования. В осадках колонки АБП-43035 значения ППП относительно стабильны (18-20%), в интервале 27-37 см наблюдаются повышенные значения (до 22%). Осадки колонки АБП-43105 характеризуются таким же диапазоном значений, однако показатель ППП понижен до 17-18% в интервале 25-45 см. В колонке АБП-43026 значения ППП повышены относительно предыдущих двух колонок в верхней части разреза (19-24%), показатель ППП уменьшается с глубиной, начиная с 37 см, снижаясь до 6% на глубине 51 см. Увеличение значений ППП в осадочной колонке указывает на повышенную продуктивность поверхностных вод, обусловленную региональным потеплением климата [2]. Ухудшение вентиляции придонных вод в течение соответствующих интервалов способствовало накоплению органического вещества в осадках. Одной из причин, препятствующих вентиляции придонных вод, является усиление стратификации водной толщи, обусловленное затоками более соленых вод повышенной плотности [2]. Основываясь на корреляции данных анализа колонок с опубликованными результатами реконструкций, интервалы повышения значений ППП в колонках АБП-43035 и АБП-43105, вероятно, соответствуют

средневековому климатическому оптимуму и современному потеплению, соответственно. Для более основательных выводов относительно динамики затоков необходимы дополнительные данные микропалеонтологического анализа.

Экспедиционные исследования проводились при финансовой поддержке государственного задания ИО РАН (тема № 0149-2019-0013) и частичном финансировании из средств гранта РФФИ № 18-77-10016. Анализ донных отложений был выполнен за счет гранта РФФИ № 19-45-393008.

Список литературы

- 1) Mohrholz V. Major baltic inflow statistics–revised // *Frontiers in Marine Science*. - 2018. - V. 5. - 384 pp.
- 2) Häusler K., Moros M., Wacker L., Hammerschmidt L., Dellwig O., Leipe T., Kotilainen A., Arz H.W. Mid [U+2010] to late Holocene environmental separation of the northern and central Baltic Sea basins in response to differential land uplift // *Boreas*. - 2017. - V. 46. - № 1. - P. 111-128.

ХАРАКТЕРИСТИКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ДОННЫХ ОСАДКОВ НА ЮГЕ ХРЕБТА ЛОМОНОСОВА (СЕВЕРНЫЙ ЛЕДОВИТЫЙ ОКЕАН)

Попова Е.А.¹, Штайн Р.²

¹Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана имени академика И.С. Грамберга, г. Санкт-Петербург

²Институт полярных и морских исследований имени Альфреда Вегенера, г. Бремерхафен
lena-porova-l@mail.ru

Ключевые слова: донные осадки, гранулометрический состав, хребет Ломоносова.

Для того чтобы восстановить геологические условия в прошлом, важно изучить современные обстановки, отраженные в поверхностных отложениях. В этом исследовании описывается и интерпретируется распределение таких параметров как гранулометрический состав, содержание общего органического углерода и вещественный состав фракции песка в поверхностных отложениях на юге хребта Ломоносова и во впадине Гаккеля (Gakkel Deep). Задачами данной работы были: • определение содержания песчаной фракции и детальный гранулометрический анализ тонких фракций (<63 мкм); • измерение содержания общего органического углерода ($C_{орг}$); • визуальное изучение вещественного состава песка; • комплексное описание и оценка всех полученных данных о поверхностных донных отложениях.

Исследуемая область покрывает южную часть хребта Ломоносова вблизи евразийского шельфа и впадину Геккеля. Площадь вытянута между 80° и 83° с.ш., 120 и 145° в.д. Глубина океана в местах отбора проб варьировалась от 740 до 4959 м. К юго-западу от района исследований находится море Лаптевых с дельтой реки Лена, которая поставляет сюда значительное количество органического вещества [1].

Большая часть материала была собрана во время экспедиции PS115/2 (сентябрь - октябрь 2018) научно-исследовательского ледокола «Polarstern» [2]. Для отбора 18 поверхностных проб (0-1 см) использовался бокс-корер. Также использовались 4 пробы, взятые здесь же в экспедиции PS87 [3]. Содержание $C_{орг}$ измерялось при помощи Eltra CS 2000 Carbon Sulfur Determinator после предварительного удаления неорганического углерода. Весовые проценты песчаной фракции определялись просеиванием сквозь сито с диаметром ячеек 63 мкм, высушиванием и взвешиванием. Содержание весовых процентов тонких фракций было измерено на SediGraph III Plus. Вещественный состав фракции песка отложений визуально оценивался с помощью микроскопа в отраженном свете. Содержание каждого компонента оценивали в процентах по визуальному присутствию в образце. Полученные данные всех анализов обрабатывались в R, Statistica и Excel, графика была создана при помощи Ocean Data View и Inkscape.

В составе песчаной фракции обнаружены в основном светлые минералы (кварц, в том числе ожелезненные зёрна кварца, полевые шпаты), темные минералы и породы (амфиболы, базальты и т.д.), слюды (биотит, мусковит), фораминиферы (среди них планктонные фораминиферы *Neoglobobadrina pachyderma* и бентосные агглютинированные виды), радиолярии, двустворчатые моллюски и обломки иглокожих. Они были обобщены и объединены в две группы: биогенного и абиогенного (терригенного) происхождения. Среди терригенных частиц светлые минералы (в основном кварц) преобладали во всех образцах. Фораминиферы доминировали в биогенной части; примерно половина встреченных экземпляров представлена агглютинированными раковинами. В среднем доля биогенного материала немного ниже 50%. Содержание $C_{орг}$ варьирует от 0,1 до 2,6%, при этом наблюдается увеличение концентрации по направлению к шельфу.

Детальный анализ гранулометрического состава позволил изучить географическое распределение частиц разных размеров. Использовалась обобщенная классификация Уддена-Вентворта [4]. Доминирующей фракцией во всех образцах является алеврит, она составляет 53-78%. Вторая

по содержанию фракция - пелит с содержанием от 21 до 39%, в то время как фракция песка составляет в среднем 5%, хотя в двух пробах она достигает 20%.

На характер осадков влияет множество факторов: морфология/топография, геология, география (широта, расстояние от шельфа), циркуляция воды, продуктивность и другие. Объединение всей информации о составе отложений позволяет интерпретировать распределение всех компонентов и выявить основные контролирующие факторы.

Создание профиля глубины с учётом особенностей осадков помогло выявить принципы распределения параметров. В результате были выделены пять классов осадков. Первый, самый очевидный, состоит из проб, взятых с мелководной части хребта Ломоносова. Они состоят в основном из биогенного материала (49-63%), содержат умеренное количество ТОС (0,5-0,6%) и в среднем 4% песка. Они находятся на плоской вершине хребта с гемипелагическими отложениями, содержащими фораминиферы. Второй класс включает пробы, взятые со средней глубины на склоне хребта, очень тонкозернистые (<0,6% песка). Два образца содержат большое количество $C_{орг}$ (>0,7%), вероятно, из-за влияния привноса речного материала. Третья группа состоит из отложений, предположительно подверженных влиянию придонных течений. Они находятся на промежуточной глубине и различаются по составу. Пробы этого класса взяты на склоне канала, возможно, эрозионного происхождения. Отмечено малое количество биогенного материала там, связанное, вероятно, с очень высокой энергией среды. Четвертый класс содержит в основном мелкозернистые (>28% пелита) осадки биогенного происхождения с относительно высоким содержанием $C_{орг}$. Это отложения нижней части склона хребта и гемипелагические отложения из абиссальной равнины. Малый размер зёрен связан с глубиной, а накопление $C_{орг}$ - с тонкозернистым составом и привносом из рек. Пятый класс был обнаружен только в одной пробе, взятой во впадине Гаккеля на глубине около 5000 м. Такое геоморфологическое расположение может объяснить его состав: богатый органикой, но состоящий в основном из терригенного материала. Две пробы отнесены к переходному между группами типу осадков, поскольку они не имеют отличительных признаков для включения их в кластеры.

Совокупность всех характеристик состава отложений позволила определить основные факторы среды, влияющие на состав осадков здесь. В зависимости от доминирующих факторов все образцы поделались на пять групп. Среди наиболее важных факторов среды отмечены топография дна и энергия движения водной массы, а также расстояние от рек как источников привноса терригенного материала. Полученная информация использовалась для дальнейших исследований в этом районе.

Авторы благодарят Немецкое Министерство Образования и Науки и Институт Альфреда Вегенера, а также капитана и команду НИС "Polarstern" вместе с учёными на борту за помощь в полевых работах.

Список литературы

- 1) Peterson B.J., Holmes R.M., McClelland J.W. et al. Increasing river discharge to the Arctic Ocean // Science. 2002. Vol. 298. P. 2171-2173.
- 2) Stein R. (Ed.). The Expedition PS115/2 of the Research Vessel POLARSTERN to the Arctic Ocean in 2018 // Reports on Polar and Marine Research. 2019. Vol. 728. 249 pp.
- 3) Stein R. (Ed.). The Expedition PS87 of the Research Vessel Polarstern to the Arctic Ocean in 2014 // Reports on Polar and Marine Research № 688. 2015. Vol. 688. 273 pp.
- 4) Folk R.L., Ward W.C. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters // Journal of Sedimentary Petrology. 1957. Vol. 27. P. 3-26.

ВЛИЯНИЕ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА ФОКУСИРОВАННУЮ РАЗГРУЗКУ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ НА ОЗЕРЕ БАЙКАЛ

Соловьева М.А.^{1,2}, Видищева О.Н.¹, Ахманов Г.Г.¹, Хлыстов О.М.³

¹Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва

²Общество с ограниченной ответственностью «Деко-Геофизика», г. Москва

³Лимнологический институт Сибирского Отделения РАН, г. Иркутск

marina-sol@yandex.ru

Ключевые слова: озеро Байкал, сейсморазведка, тектонические процессы, фокусирующая разгрузка углеводородов, газовые гидраты.

Озеро Байкал располагается на границе Сибирской платформы и Саяно-Монгольского складчатого пояса, занимая центральную часть современной Байкальской рифтовой зоны. Данный район характеризуется высокой тектонической активностью. В связи с этим в береговом обрамлении озера Байкал и на его дне широко распространены разрывные нарушения различного характера. Они являются путями миграции глубинных флюидов к поверхности дна озера.

Данная работа нацелена на исследование влияния тектонической активности озера Байкал на фокусирующую разгрузку углеводородных газов, концентрацию метана в донных осадках, образование газовых гидратов и различных структур разгрузки флюидов на дне озера (грязевых вулканов, сипов и гидратных холмов). В качестве рассматриваемого полигона была взята южная часть центральной котловины озера, где в рамках экспедиций Проекта Class@Baikal были выполнены обширные геофизические и геолого-геохимические исследования. В этом районе в рельефе дна отчётливо прослеживается тектонический уступ [1]. Разлом, образующий данный уступ, назван «Гидратным» в связи с приуроченностью к нему нескольких донных структур разгрузки углеводородного газа, в которых были найдены приповерхностные скопления газовых гидратов [2]. Через данный уступ были выполнены геофизические и геологические профили с целью уточнения существующих тектонических схем и оценки потока флюидов вдоль разломов.

В результате детального анализа сейсмоакустических профилей обнаружено множество небольших разрывных нарушений сбросового типа, которые оперяют основной Гидратный разлом. Большинство из них расположено на опущенном крыле параллельно Гидратному разлому, образуя вместе с ним вытянутую параллельно оси Байкала единую разломную зону. В северо-западной и юго-восточной частях данной зоны разломы достигают поверхности дна, что свидетельствует об их современной активности. По глубине залегания поверхности сместителя разломов можно судить о четырёх фазах активизации тектонических процессов в плейстоцене, одна из которых продолжается в настоящее время. Вероятно, данные этапы являются подразделами тьйской тектонической фазы, которая началась около 150 тыс. лет назад и продолжается в настоящее время [3].

Построенная тектоническая схема сравнивалась с распространением структур фокусирующей разгрузки углеводородных газов и их основными характеристиками. На данный момент в глубоководной части центральной котловины озера известно 23 структуры [4]. Шесть из них приурочены к разлому Гидратный, в том числе открытая в рамках данного исследования гидратоносная структура МГУ [5]. Данные структуры расположены на северо-восточном сегменте разлома Гидратный, который в настоящее время является наиболее тектонически активным. Эта же закономерность прослеживается и для остальных 17 структур. Все они приурочены к разрывным нарушениям с современной тектонической активностью, а над древними разломами, погребёнными под толщей осадков, не обнаружено ни одной структуры.

Важно отметить, что во всех известных 23-х структурах фокусирующей разгрузки углеводородных газов найдены гидраты метана. Это свидетельствует об интенсивном потоке флюидов по современным разломам. Присутствие в осадках изотопно-утяжелённого углерода гомологов

метана указывает на значительную примесь термогенного газа. Вероятно, по разломным зонам, остановившим своё развитие и погребёнными под более молодыми осадками, также происходит миграция углеводородного газа. Однако поток флюидов рассеивается при прохождении через перекрывающую толщю ненарушенных отложений, достигая поверхности дна с существенно уменьшенной интенсивностью. В подтверждение этому свидетельствуют данные геохимических исследований порового газа в донных осадках. Над всеми разломными зонами было зафиксировано повышение концентрации метана относительно фоновых значений. Причём над разломами с современной активностью зафиксированные значения существенно выше, чем над тектоническими нарушениями, перекрытыми современными осадками.

В результате данного исследования установлено, что основная разгрузка углеводородных газов осуществляется по разломным зонам, сохраняющим современную тектоническую активность. Поток флюидов по таким разломам достаточно интенсивный для образования приповерхностных газовых гидратов. Таким образом, наиболее перспективными местами для поиска новых структур фокусированной разгрузки углеводородных газов, в том числе гидратоносных структур, является северо-восточная часть Гидратного разлома и область к югу от его юго-западного окончания, где выделена сеть разрывных нарушений с современной тектонической активностью.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта №18-35-00363.

Список литературы

- 1) De Batist M., Canals M., Sherstyankin P. et al. A new bathymetric map of Lake Baikal, 2002 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.lin.irk.ru/intas/index.htm
- 2) Хлыстов О.М. Гидратоносность и тектоника средней котловины озера Байкал // Труды VII Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2018)». 2018. Т. 2. С. 41-42.
- 3) Мац В.Д. Стратиграфия отложений позднего мела-кайнозоя Байкальского рифта // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2013. Т. 21. № 6. С. 72-87.
- 4) Khlystov O.M., Khabuev A.V., Minami H. et al. Gas hydrates in Lake Baikal // Limnology and Freshwater Biology. 2018. № 1. P. 66-70.
- 5) Ахманов Г.Г., Хлыстов О.М., Соловьева М.А. и др. Открытие новой гидратоносной структуры на дне озера Байкал // Вестн. Моск. ун-та. Серия 4. Геология. 2018. № 5. С. 111-116.

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЛАНДШАФТА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ КУРШСКОЙ КОСЫ В ГОЛОЦЕНЕ ПО ДАННЫМ ИССЛЕДОВАНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕРА ЧАЙКА

Соснина И.А.^{1,2}, Ананян А.С.^{1,2}, Напреенко-Дорохова Т.В.^{1,2}, Напреенко М.Г.¹,
Королева Ю.В.², Орлов А.В.³, Субетто Д.А.³

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

²Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград

³Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, г. Санкт-Петербург
iraco05@gmail.com

Ключевые слова: палеогеографическая реконструкция, торфяные отложения, геохимический анализ, эоловый перенос, озеро Чайка.

Куршская коса является уникальным природным образованием. Исследованием истории происхождения и формирования Куршской косы занимались и продолжают заниматься целый ряд учёных на протяжении почти двух столетий. Внести ясность в вопрос о формировании природной среды в центральной части Куршской косы может изучение истории развития единственного крупного пресноводного водоёма на косе - озера Чайка, на основе исследования донных отложений, которые являются надёжными природными архивами и сохраняют информацию об экологических условиях прошлого, изменении климата, смене растительности и антропогенной деятельности.

Для выбора мест бурения и отбора кернов была проведена подробная батиметрическая съёмка и выполнены промеры мощности отложений, затем были отобраны две колонки донных отложений Ch-2 (55,15084° с.ш.; 20,82332° в.д.) и ChB-00 (55,152361° с.ш.; 20,829556° в.д.) мощностью 145 см и 250 см, соответственно. Работы на озере производились с плавучей платформы, собранной на основе катамарана для горных сплавов. Промер глубин и мощности отложений, а также отбор кернов производился при помощи ручного торфяного геологического бура. Использование эхолота для проведения батиметрической съёмки оказалось невозможным ввиду малых глубин и большого количества взвешенного илистого материала.

Для 73 образцов колонки Ch-2 по стандартной методике был проведён анализ потери массы вещества при прокаливании [4]. Для шести проб проведено определение степени разложения торфа и выполнен анализ таксономической принадлежности макроостатков растений в торфах [1, 2]. Для 26 образцов колонки ChB-00 проведён анализ элементного состава методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии. Концентрация химических элементов в торфе определена по методике ФР 1.31.2014.17343, в органоминеральных отложениях и минеральном грунте по методике ФР.1.31.2018.32143 на рентгено-флуоресцентном спектрометре Спектроскан Макс G (Россия, Санкт-Петербург, НПО Спектрон). Радиоуглеродное датирование трёх образцов из колонки Ch-2 выполнено методом ускорительной масс-спектрометрии в ЦКП «Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» Института географии РАН совместно с Центром изотопных исследований Университета Джорджии (США). Калибровка данных проводилась с помощью программы CALIB, версия 7.1.0 ¹⁴ChronoCentre, Queens University Belfast, с использованием калибровочной кривой IntCal13 [3].

На основании данных литологического строения колонок донных отложений, результатов геохимического анализа (элементный состав и потери массы вещества при прокаливании), данных анализа ботанического состава торфяных отложений, результатов радиоуглеродного датирования образцов и батиметрической съёмки была составлена реконструкция условий формирования озера Чайка и развития территории междюнной равнины (пальве) в районе пос. Рыбачьего (центральная часть Куршской косы).

Реконструкция описывает смену природных условий на территории, занимаемой современным озером Чайка на протяжении почти 5000 лет. Выявлено, что озеро Чайка сформировалось уже в

историческое время, около 500 лет назад. Установлено, что в среднем и позднем голоцене (5390-510 кал.л.н.) до возникновения озера Чайка на его месте располагалась неглубокая котловина, занятая топкими черноольшаниками, а в периоды большего обводнения территории - осоковыми болотами с участием ольхи, которые сформировали мощные слои низинного торфа.

Песчаная прослойка, отделяющая озёрные сапропели от торфяной залежи (возраст контакта сапропелевого и песчаного горизонтов - около 480 кал.л.н.), вероятно, является маркером «периода движения дюн», вызванного вырубками лесной растительности в данной части Куршской косы. Очевидно, на участках косы, наиболее рано заселённых и освоенных человеком, в частности, в районе пос. Рыбачьего (Rossitten), процессы уничтожения лесов и возобновления движения кочующих дюн имели место уже в XV-XVI вв.

После сведения лесов дюны пришли в движение и территория палеве, где расположено современное озеро Чайка, стала испытывать влияние эолового переноса, что могло способствовать гибели черноольховых лесо-болотных сообществ, накоплению воды в естественном понижении рельефа и образованию постоянного водоёма. Со временем влияние эолового переноса песка с дюны снизилось (после лесопосадочных работ для сдерживания движения дюн), и в отложениях озера начала постепенно снижаться доля осадков эолового происхождения.

Распределение химических элементов на разных горизонтах в колонке ChB-00 свидетельствует о функционировании в торфяной залежи комплексных геохимических барьеров, связанных с изменениями фильтрационных свойств торфа и способствующих формированию и накоплению в торфяной залежи соединений железа, марганца, цинка, других химических элементов.

Полевые работы, анализ потери массы вещества при прокаливании, анализ элементного состава, анализ таксономической принадлежности макроостатков растений в торфяных отложениях и их интерпретация выполнены в рамках гранта РНФ №18-77-00030, лабораторная обработка проб – при поддержке Программы повышения конкурентоспособности БФУ им. И. Канта «5–100», датирование осадков – за счёт средств гранта РФФИ №18-05-80087, обобщение данных – в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0149-2019-0013).

Список литературы

- 1) Короткина М.Я. Ботанический анализ торфа // Методы исследования торфяных болот. – Под ред. М.И. Нейштадт. – М.: Народный комиссариат земледелия РСФСР, 1939. – Ч. 2. – С. 5-59
- 2) Пьявченко Н.И. Степень разложения торфа и методы её определения. – Красноярск: Красноярский рабочий, 1963. – 55 с.
- 3) Reimer P.J., Bard E., Bayliss A. et al. IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0–50,000 Years cal BP // Radiocarbon. 2013. V. 55. № 4. P. 1869–1887.
- 4) Santisteban J.I., Mediavilla R., López-Pamo E. et al. Loss on ignition: a qualitative or quantitative method for organic matter and carbonate mineral content in sediments // Journal of Paleolimnology 32, 2004. P. 287-299.

РАДИОГЕННАЯ ТЕПЛОГЕНЕРАЦИЯ В ВЕРХНЕМ СЛОЕ ДОННЫХ ОСАДКОВ В ЮЖНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВО-КАРСКОГО РЕГИОНА

Сухих Е.А.

Геологический институт РАН, г. Москва

sukhikh_ea@mail.ru

Ключевые слова: радиоактивные элементы, радиогенная теплогенерация, литология, геоморфология, Баренцево море, Карское море.

Анализ концентраций основных радиоактивных элементов (U, Th, K) и расчет величин радиогенной теплогенерации в верхнем слое донных осадков южной части Баренцево-Карского региона выполнены по данным 28 (2011 г.), 38 (2018 г.) и 41 (2019 г.) рейсов НИС «Академик Николай Страхов». Всего было отобрано, подготовлено и проанализировано 183 образца, полученных в разные годы в ходе пробоотбора как грунтовыми трубками, так и дночерпателями различных модификаций. Анализ выполнялся в лаборатории химико-аналитических исследований ГИН РАН рентгеноспектральным флуоресцентным методом.

Из полученных в результате анализа валовых концентраций U, Th, K, исходя из данных о распространенности изотопов элементов в природе [1], были вычислены концентрации основных теплогенерирующих изотопов ^{238}U (99,2745%), ^{232}Th (100%) и ^{40}K (0,0117%), на основании которых была рассчитана поверхностная радиогенная теплогенерация ($A_{\text{нов}}$).

$A_{\text{нов}}$ (мкВт/м³) = $\rho(a\text{U} + b\text{Th} + c\text{K})$, где ρ — плотность породы, кг/м³ (для морских глин принималась плотность 1800 кг/м³, для илов - 1600 кг/м³, для песков - 2000 кг/м³) [2]; a , b , c — теплогенерация изотопа на единицу массы ($a = 9,17 \times 10^{-5}$; $b = 2,56 \times 10^{-5}$; $c = 2,97 \times 10^{-5}$, Вт/кг) [1]. $A_{\text{нов}}$ средняя для баренцевоморского сегмента района исследований составила 0,915 мкВт/м³ (количество определений (N) = 86), для Печорского моря — 0,775 мкВт/м³ (N=41), для Карского моря — 0,8 мкВт/м³ (N=56).

Пробы, полученные в Карском море, характеризуются пониженным содержанием калия. В печороморских образцах наблюдается пониженное содержание урана и тория. В целом, в распределении радиоактивных элементов в поверхностном слое четко просматривается влияние питающих провинций, а также существующее тектоническое районирование.

Значения радиоактивных элементов были нанесены на диаграммы Schlumberger [3] (торий-калиевое соотношение) и диаграмму А.А. Смыслова [4] (торий-урановое соотношение). По данным многолучевого эхолотирования акустическим комплексом RESON SeaBat 8111 (мелководный) и 7150 (глубоководный) и акустического профилирования непараметрическим профилографом EdgeTech 3300 исследована взаимосвязь распределения радиоактивных элементов с особенностями строения осадочного чехла и локальными геоморфологическими характеристиками. Сонарная мода эхолота использовалась для выявления акустических аномалий в водной толще.

Комплексный анализ имеющихся данных позволил выявить роль литологических, геоморфологических и структурно-тектонических факторов в распределении основных природных радиоактивных элементов в верхней части осадочного чехла исследуемого района. В частности, в ходе исследований установлены повышенные концентрации тория в зонах проявления дегазации в водной толще и в осадочном чехле. Также повышенные концентрации тория характерны для дипироподобных (пингоподобных) структур в северо-восточной части Печорского моря [5]. Отличные от фоновых значения концентраций урана и тория характерны для ряда флювиальных и флювиогляциальных форм рельефа Баренцево-Карского шельфа [6].

Автор выражает благодарность геологическим отрядам МГУ и ИО РАН за возможность работы с материалами донного опробования.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 18-35-20060 и № 20-05-00054.

Список литературы

- 1) Jaupart C., Mareschal J.-C. Constraints on Crustal Heat Production from Heat Flow Data / Ed. R.L. Rudnick // Amsterdam: Elsevier Science Publishers. Treatise on Geochemistry. Vol. 3: The Crust. 2004. P. 65–84.
- 2) Справочник физических констант горных пород / Под ред. С. Кларка мл.; пер. с англ. // М.: Мир. Науки о Земле. Т. 21. 1969. 544 с.
- 3) Schlumberger Book: Log Interpretation Charts 2009 // Schlumberger. 2009. 310 p.
- 4) Смыслов А.А. Уран и торий в земной коре // Л.: Недра. 1974. 231 с.
- 5) Бондарев В.Н. и др. Подмерзлотные скопления газа в верхней части осадочного чехла Печорского моря // Геология и геофизика. 2002. Т. 43. № 7. С. 587–598.
- 6) Мороз Е.А. и др. Комплексы флювиального рельефа на дне Баренцева и Карского морей // Геология морей и океанов: Материалы XXII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. V. – М.: ИО РАН, 2019. С. 197–200.

ВЛИЯНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ НА ПОВЕДЕНИЕ УРАНА В МОРСКИХ ОСАДКАХ

Хаустова Н.А.¹, Тихомирова Ю.И.¹, Полудеткина Е.Н.², Корост С.Р.², Воропаев А.В.⁴,
Мироненко М.В.³, Спасенных М.Ю.¹

¹Сколковский институт науки и технологий, г. Москва

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

³Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского, г. Москва

⁴Гидроизотоп ГМБХ (ООО), Германия, г. Швайтенкирхен

Nadezhda.Khaustova@skoltech.ru

Ключевые слова: окислительно-восстановительные условия, концентрация урана, морские осадки.

Исследование современных морских отложений позволяет изучить влияние процессов и факторов, которые контролируют состав и углеводородный потенциал нефтематеринских пород, формировавшихся в условиях палеобассейнов десятки и сотни миллионов лет назад. В настоящей работе исследовались донные отложения Кандалакшского залива Белого моря (экспериментальные исследования) и различных участков Черного моря (по литературным данным) с целью изучения влияния факторов, контролирующих поведение урана в морских осадках. Интерес к урану определяется связью его содержания с условиями осадконакопления, и преобразования пород в геологической истории нефтегазовых бассейнов, которые, в свою очередь, определяют потенциальную продуктивность нефтематеринских отложений.

По данным предыдущих исследований показано, что на содержание урана в нефтематеринских породах оказывают влияние целый ряд факторов, включая его концентрацию в морской воде, накопление урана живыми организмами, окислительно-восстановительные условия, минеральный состав отложений, скорость осадконакопления, условия диагенеза, степень катагенеза, и другие [1]. Наличие большого числа факторов, влияющих на содержание урана, значительно затрудняет интерпретацию данных каротажных исследований. В данной работе сделан акцент на анализ связи содержания урана с окислительно - восстановительными условиями, как одного из наиболее важных факторов, контролирующих первичное накопление урана в осадках.

Объектом экспериментальных исследований являлись осадки верхнеплейстоцен-голоценового возраста, накопившиеся в окислительных и субокислительных обстановках в центральной части Кандалакшского залива Белого моря. Точки отбора проб были выбраны в пределах различных фациальных зон, выделенных на основе данных сейсмоакустического профилирования на различном расстоянии от берега. Отбор проб исследуемой станции на глубине 80 метров проводился прямым геологическим опробованием с помощью прямоточной гравитационной стальной трубы. Керна длиной 173 сантиметра был разрезан вдоль на две половины, и через каждые 5 см были взяты пробы осадков. Сразу после подъема осадков на борт корабля было проведено литологическое описание, измерение рН, Eh поровых вод, температуры осадков. Отложения представлены отсортированными пелито-алевритовыми, алеврито-пелитовыми и пелитовыми осадками. Цвет верхних 0-5 см осадков изменяется от коричневого до бурого. Зеленовато-серые осадки, находящиеся ниже, содержат примазки и стяжения гидротроилита. На гомогенизированных образцах осадков после кислотной обработки были проведены измерения содержания органического углерода, водорода, азота и серы с помощью элементного анализатора (LECO CHN628), до кислотной обработки осадков был определен минеральный состав проб методом РСА (рентгеноструктурный анализ), а также содержание урана, тория, ванадия, кобальта, железа и ряда других металлов с помощью ICP-MS. Для отдельных проб были выполнены анализы изотопного состава серы, углерода и азота.

Результаты исследований осадков Белого моря (окислительные условия) были сопоставлены с литературными данными [2, 3] по содержанию урана в Черном море (восстановительные условия). Показано, что при сопоставимом уровне органического углерода, содержание урана в осадках, сформировавшихся в восстановительных условиях Черного моря, на порядок превышает содержание урана в осадках Белого моря.

Термодинамическое моделирование [4] поведения урана в системе морская вода - донные отложения позволило установить, что накопление урана в восстановительных обстановках может быть связано с переходом урана из растворимой формы (U^{+6} в карбонатных комплексах) в нерастворимые окислы (UO_2 , U_3O_8 ...). Было показано, что смена окислительных условий на восстановительные на стадии осадконакопления приводит к увеличению содержания урана в осадках на порядок и более.

В результате исследования осадков Белого и Черного морей была найдена причина низкой (не более 3 ppm) концентрации урана в осадках Белого моря и высокой (до 20 ppm) концентрации урана в осадках Черного моря. Так как в придонном слое Белого моря окислительная среда, то уран $U(VI)$ существует в растворимых комплексах, а фиксация урана в твердой фазе $U(IV)$ происходит ниже окисленного слоя, в восстановительной среде. Поэтому в донных отложениях Белого моря накапливается только уран, содержащийся в поровой воде, и его количество невелико (не более 3 ppm). В Черном море переход урана в твердую фазу ($U(VI)$ в $U(IV)$) начинается в придонном слое, обогащенном H_2S , и продолжается в поровой воде осадков. В связи с этим больше урана накапливается в донных отложениях Черного моря (концентрация может достигать 20 ppm).

Таким образом, было установлено, что значительные (в пределах одного-двух порядков величины) вариации содержания урана в нефтегазоматеринских отложениях могут отражать изменения окислительно-восстановительных условий на стадии осадконакопления.

Список литературы

- 1) Khaustova N., Tikhomirova Y., Spasennykh M., Popov Y., Kozlova E., Voropaev A. U/Corg Ratio Within Unconventional Reservoirs: Indicator of Oil Generation Processes and Criteria for Productive Intervals Determination During the Bazhenov Formation Investigation // In EAGE/SPE Workshop on Shale Science. 2019. Vol. 2019. № 1. P. 1-5.
- 2) Розанов А.Г., Гурский Ю.Н. Геохимические особенности осадков северо-восточной части Черного моря // Океанология. 2016. Т 56. № 6. С. 919-934.
- 3) Шнюков Е.Ф., Безбородов А.А., Мельник В.И., Митропольский А.Ю. Геохимическая эволюция урана в Черном море // Геол. журн. 1979. Т 39. № 6. С. 1-9.
- 4) Wignall P.B., Myers K.J. Interpreting benthic oxygen levels in mudrocks: a new approach // Geology. 1988. Vol. 16. № 5. P. 452-455.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕСТРОЙКИ ПРОФИЛЯ РАВНОВЕСИЯ ОКЕАНИЧЕСКОГО ПЛЯЖА В РЕЗУЛЬТАТЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КОСЕЙСМИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ ПОБЕРЕЖЬЯ

Хомчановский А.Л.

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский

khomscience@mail.ru

Ключевые слова: косейсмические деформации в зонах субдукции, правило Брууна, профиль равновесия активного пляжа, математическое моделирование.

В рамках исследований проводимых при поддержке проекта РФФИ были проведены расчеты по отступанию береговой линии в связи с резким поднятием относительного уровня моря. Вертикальные движения связаны с косейсмическими деформациями земной поверхности в очаговых областях сильных землетрясений субдукционного типа [1]. Расчеты проводились по формуле Брууна [2] для поднятий относительного уровня моря на 0.5 м, 1 м и 2 м соответственно. Также был рассчитан профиль относительного динамического равновесия для побережья до косейсмического опускания и после.

Реакция профиля аккумулятивного берега на повышение уровня моря описывается правилом Зенковича-Брууна, согласно которому профиль берега будет сдвигаться как единое целое в сторону суши или в сторону моря вслед за ходом уровня (его повышением или понижением) [2].

Оценка величины отступления пляжа в результате косейсмических движений - важный аспект при изучении воздействий сильнейших землетрясений на побережья расположенные вдоль зон субдукции. Существование аккумулятивного пляжа есть результат баланса между волновой энергией, поступлением наносов (поперечных, вдольбереговых, речных) и уровнем моря [3]. Если происходит быстрое повышение уровня, баланс нарушается, приводя к перестройке профиля относительного динамического равновесия пляжа и подводного берегового склона. При повышении уровня моря берег, как правило, отступает в сторону суши, при понижении - в сторону моря.

В августе 2019 года в бухте Моржовой (Кроноцкий залив, тихоокеанское побережье Камчатки) палеосейсмологическим отрядом института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН были проведены экспедиционные исследования. С помощью электронного лазерного тахеометра была проведена топоъемка морской аккумулятивной террасы, эхолотом был снят рельеф подводного берегового склона до глубины 20 метров. В результате был построен общий профиль побережья. Вдоль профиля на поверхности каждого берегового вала, слагающего террасу, закладывались шурфы. Береговые валы датировались методом тефрохронологии - по возрасту самой нижней тефры, отделяющей штормовые отложения вала от почвенно-пирокластического чехла. Более подробно методика описана в работе [4]. В тех случаях когда два соседних береговых вала значительно отличались по возрасту, между ними мог находиться уступ размыва, погребенный под штормовыми отложениями перекрывающего его более молодого вала. Такие уступы могут образовываться после резкого (косейсмического) опускания суши относительно уровня моря и последующего размыва части морской террасы. Местоположение погребенных уступов соответствует месту, где закончился размыв берега. Для того чтобы оценить масштабы изменений на суше после опускания поверхности террасы, было проведено математическое моделирование переформирования профиля равновесия активного пляжа и величины размыва морской аккумулятивной террасы с учетом реальных данных по топографии, батиметрии, гранулометрии отложений.

По формуле Брууна [2] была рассчитана величина отступления берега для подъема уровня моря на 0,5 м, 1 м и 2 м. Данные по волнению были взяты из гидрометеорологического справочника [5]. По материалам судовых наблюдений были рассчитаны волны разной обеспеченности, которые являлись исходными данными для расчета глубины замыкания h_* (граница активной части

профиля). В зависимости от параметров волн и амплитуды изменения уровня океана, отступление берега в исследуемом районе составило от 24 до 199 м. Эти значения могут использоваться для прогноза последствий от сильнейших землетрясений в этом районе.

Исследование выполнено в рамках проекта РФФИ №18-05-00407-А «Изучение голоценовых косейсмических деформаций и отложений цунами на побережье Кроноцкого залива и Кроноцкого полуострова для оценки повторяемости и магнитуд сильнейших землетрясений» (рук. Т.К. Пинегина); обработка данных и работа над тезисами выполнена при финансовой поддержке по программе НИР №0282-2018-0019 ИВиС ДВО РАН.

Список литературы

- 1) Пинегина Т.К., Базанова Л.И., Зеленин Е.А., Хомчановский А.Л., Выдрин Д.С., Батанов Ф.И. Первые данные о вертикальных косейсмических деформациях на побережье Кроноцкого залива по результатам палеосейсмологических исследований // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XXII Всероссийской научной конференции, посвящённой Дню вулканолога, 28-29 марта 2019 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2019. С. 167-170.
- 2) Bruun P. The Bruun rule of erosion by sea-level rise: a discussion on large-scale twoand three-dimensional usage // Journal of Coastal Research, 1988. Vol. 4. № 4. P. 627–648.
- 3) Komar P.D. Evaluation of wave-generated longshore current velocities and sand transport rates on beaches. In: Davis, R.A., Ethington, R.L. (Eds.) // Beach and Nearshore Sedimentation. SEPM. P. 48–53.
- 4) Пинегина Т.К. Пространственно-временное распределение очагов цунамигенных землетрясений тихоокеанского и берингоморского побережий Камчатки по отложениям палеоцунами: Автореферат докт. дисс. Москва, 2014. 43 с.
- 5) Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 10. Берингово море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. СПб.: Гидрометеиздат, 1999. 298 с.

ИЗВЛЕЧЕНИЕ РАДИОИЗОТОПОВ ИЗ МОРСКОЙ СРЕДЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ
ЗАДАЧ ОКЕАНОЛОГИИБежин Н.А.^{1,2}, Довгий И.И.¹¹Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь²Севастопольский государственный университет, г. Севастополь

nickbezhin@yandex.ru

Ключевые слова: морская радиохимия, сорбция, сорбенты, космогенные, природные, техногенные радионуклиды.

Радиоактивные изотопы находят широкое применение для изучения процессов в океане, в том числе вертикального массопереноса в поверхностном слое, определение потоков взвешенного органического вещества, датировки осадков и т.д. Для их извлечения разработано множество методов, зачастую требующих отбор проб больших объемов. Это обусловлено сложностью морской воды как объекта и низкими активностями радионуклидов в морской воде. Поэтому разработка эффективных методов извлечения радионуклидов из морской воды является актуальной задачей.

В настоящей работе проводятся исследования извлечения ряда радионуклидов различного происхождения, космогенных - ^7Be , ^{32}P , ^{33}P , природных - изотопы Ra и Th, техногенных - ^{137}Cs , ^{90}Sr из морской воды, включая выбор наиболее эффективных сорбентов и параметров процесса извлечения.

Для сорбции радионуклида ^{137}Cs из морской воды тестируются образцы сорбентов на основе ферроцианидов никеля и меди на минеральных (силикагель) и органических (древесные опилки, акрилатное волокно) носителях. Далее ^{137}Cs может измеряться прямой γ -спектрометрией.

Для извлечения ^{90}Sr используются сорбенты на основе макроциклических соединений (дитрет-бутилдициклогексил-18-краун-6), а также диоксид марганца без носителя и на органических (древесные опилки, акрилатное волокно) носителях. Количественное определение ^{90}Sr требует дальнейшей радиохимической обработки сорбентов.

Изотопы радия и тория также как и ^{90}Sr извлекаются сорбентами на основе диоксида марганца. Сорбционное извлечение позволяет проводить прямое γ -спектрометрическое определение важных радиотрассеров океанографических процессов ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{234}Th в сорбентах или их золе.

Для извлечения ^7Be , ^{32}P , ^{33}P применяются картриджи и волокно импрегнированные гидроксидом железа(+3) с последующим γ -спектрометрическим определением ^7Be в золе сорбента и жидкостно-сцинтилляционным определением ^{32}P , ^{33}P после радиохимической обработки золы.

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).

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКОВ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗОНЕ СМЕШЕНИЯ МОРСКИХ И РЕЧНЫХ ВОД

Борисенко Г.В.

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

gennady.val.borisenko@gmail.com

Ключевые слова: биогенные элементы, эстуарий, седиментация, фронтальная зона, Обская губа, Карское море.

Обская губа - эстуарий реки Обь, в котором осуществляется контакт речных пресных и морских соленых вод. Это весьма обширная акватория: около 800 км по длине и от 30 до 90 км по ширине. Внушительные размеры Обской губы и влияние на акваторию Карского моря (сток 530 км³/в год) придают ей региональное значение. Река Обь, привносящая в Обскую губу наибольшее количество (75%) пресной воды, - важная промышленная и транспортная артерия Западной Сибири, что в свою очередь создает антропогенную нагрузку на эстуарий (в воде обнаруживаются поверхностно-активные вещества, нефтепродукты, избыточные количества органического вещества) [1].

Химические и седиментологические процессы в области таких фронтальных зон представляются интересным и в то же время малоизученным аспектом знания. Изменения солёности и кислотности в таких зонах вызывают каскад последующих физико-химических процессов, одним из результатов которых является осаждение более 90% осадочного материала и растворенного органического вещества, выносимого Обью [2].

В данной работе была рассчитана величина потоков биогенных элементов по границе вода-дно по разрезу, заложенному в акватории Обской губы. Оценка потоков на границе вода-дно производилась согласно методике описанной в «Количественных методах раннего диагенеза» [3]. Суть оценки потоков веществ и элементов через границу вода-дно по этому методу, также именуемому градиентным, следующая: производится отбор наддонной воды, а также послойный отбор осадка (слои толщиной 1 см) с последующим отжимом поровых вод при помощи центрифуги; наддонная вода и полученный супернатант фильтруются и анализируются по указанной выше методике. Таким образом исследователь получает данные по содержанию биогенных элементов в пограничных слоях (вода-дно). В работе [4] была приведена адаптация закона диффузии Фика, учитывающая пористость осадка, извилистость ходов, скорость диффузии данного иона в частицах определенной размерности и градиент концентрации вещества по линейной составляющей (расстояние между слоями в метрах).

Потоки неорганических форм фосфора из осадка на фронтальной зоне контакта реки и моря в Обской губе низкие, что объясняется высоким содержанием окисного железа. Потоки кремния и азота значимо не изменялись, однако наблюдаются высокие абсолютные значения содержания кремния в зоне смешения пресных и морских вод, что может быть связано с явлением лавинной седиментации, наблюдаемой в этой зоне.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 19-17-00196 «Трансформация растворенного стока в устьевых областях рек России различных климатических зон».

Список литературы

- 1) Kennish M.J. Ecology of Estuaries: Volume 2: Biological Aspects M, CRC Press. 2019. 245 p.
- 2) Лисицин А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т. 34. № 5. С. 735-747.
- 3) Schulz H.D. Quantification of early diagenesis: dissolved constituents in pore water and signals in the solid phase // Marine geochemistry. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006. P. 73-124.

4) Boudreau B.P. Diagenetic models and their implementation. Berlin: Springer, 1997. 414 p.

ОЦЕНКА МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК ХОЛОДНОГО ПРОМЕЖУТОЧНОГО СЛОЯ КАК ИСТОЧНИКА КИСЛОРОДА В ВОДАХ ЧЕРНОГО МОРЯ

Видничук А.В., Коновалов С.К.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

anna_vidnichuk@mhi-ras.ru

Ключевые слова: кислород, насыщение вод кислородом, холодный промежуточный слой, Черное море.

Черное море является водным объектом, имеющим ограниченный водообмен с другими морями, в который поступает значительный объем (~ 300 км³/год) соленых мраморноморских вод с нижнебосфорским течением и близкий по величине объем пресных речных вод в поверхностный слой. Это обуславливает наличие постоянной устойчивой вертикальной стратификации вод, в результате чего в гидрологической структуре присутствуют такие характерные элементы, как постоянный галоклин и пикноклин. Это ограничивает вертикальный обмен между поверхностным и глубинным слоями вод, что является одной из причин возникновения анаэробных условий ниже основного пикноклина на глубинах более 100 - 200 м.

Несмотря на большое количество исследований, проводимых в Черном море относительно содержания и распределения кислорода в аэробной зоне, характеристики пространственно-временных изменений положения границ субкислородной зоны Черного моря, а также процессы, определяющие эти изменения и условия динамического равновесия и катастрофических изменений в биогеохимической структуре моря, остаются слабо изученными. Верхний слой над основным пикноклином является хорошо вентилируемым, обогащенным кислородом, слоем со значительной сезонной изменчивостью температуры. В гидрологической структуре верхнего слоя вод выделяется слой подповерхностного минимума температуры, представляющего собой холодный промежуточный слой (ХПС), создаваемый зимним конвективным перемешиванием в центрах циклонических круговоротов и в шельфовых районах Черного моря [1]. Запас кислорода ХПС обусловлен интенсивностью зимней конвекции. Обновление вод ХПС в разные годы происходит с различной интенсивностью, при этом в периоды холодных зим запас кислорода в слое ядра ХПС должен увеличиваться. Однако снижение температуры ядра ХПС не всегда приводит к увеличению концентрации кислорода в этом слое.

В доэвтрофикационный период с 1960-х до 1980-х гг. для ХПС характерен режим обновления, когда более низким величинам температуры соответствует более высокое содержание кислорода. Температура в ядре ХПС в этот период составляла 7,4-7,8 °С. Исключение составил 1976 г., когда произошло очень сильное обновление вод ХПС, и температура в ядре понизилась до 6,7 °С [2]. При этом концентрация кислорода в этот период находилась в пределах 280-320 мкМ, а насыщение вод кислородом достигало 85-95 %. Период с 1980-х до середины 1990-х гг. характеризуется наиболее интенсивной эвтрофикацией черноморского бассейна, увеличением потока биогенных элементов со стоком рек, главным образом азота и фосфора, что привело к увеличению продуктивности вод [3]. Для ХПС в этот период в общем наблюдается тенденция снижения температуры ядра до 6,8-7 °С [2]. При этом концентрация кислорода в этом слое не только не увеличилась, как этого следовало ожидать при интенсивном обновлении вод ХПС и понижении температуры в этом слое, но снизилась и находилась в пределах 220-260 мкМ. Насыщение вод кислородом понизилось до 65-75 %, что отражает процесс расходования кислорода на окисление увеличившегося потока органического вещества из зоны фотосинтеза. По данным [3] величина первичной продукции для глубоководной части Черного моря достигала 135 ± 30 г С м⁻² год⁻¹ в период наиболее интенсивной эвтрофикации, что в 2 раза превышает величину первичной продукции для доэвтрофикационного периода (63 ± 18 г С м⁻² год⁻¹).

Начиная с середины 1990-х гг. в результате спада экономической (прежде всего сельскохозяйственной) деятельности произошло сокращение поступления биогенных элементов в Черное море, что способствовало дистрофикации бассейна. Однако, этот период характеризуется потеплением вод Черного моря в слое 0-50 м. Температура вод в слое ядра ХПС увеличилась от 6,8 °С в середине 1990-х гг. до 7,6 °С в 2007 г. Кроме того в этот период интенсивность обновления вод ХПС в целом ниже климатической нормы [2]. Концентрация кислорода в слое ядра ХПС в среднем увеличилась до 270-300 мкМ, а степень насыщения вод кислородом составила 80-90 % благодаря сокращению поступления органического вещества в воды Черного моря до 105 г С м⁻² год⁻¹ [3].

С 2007 г. температура в ядре ХПС колеблется вблизи 8 °С, а интенсивность обновления ниже климатической нормы. Средняя концентрация кислорода изменяется в пределах от 180 до 220 мкМ, а степень насыщения вод кислородом составляет 55-65 %, что несколько ниже, чем в период активной эвтрофикации бассейна. И только высокая интенсивность обновления ХПС в 2012 и в 2017 гг. способствовала увеличению концентрации кислорода до 240 мкМ, а степени насыщения - до 75 %. Это позволяет предположить, что на фоне тенденции общего потепления ХПС в современный период интенсивность расходования кислорода на окисление органического вещества остается высокой и сопоставимой с аналогичными величинами в период интенсивной эвтрофикации, что приводит к снижению запаса кислорода в этом слое.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме 0827-2019-0003 «Фундаментальные исследования океанологических процессов, определяющих состояние и эволюцию морской среды под влиянием естественных и антропогенных факторов, на основе методов наблюдения и моделирования» (шифр «Океанологические процессы»), а также при финансовой поддержке проекта РФФИ №19-35-90062 – Аспиранты.

Список литературы

- 1) Океанография Черного моря // В.А. Иванов, В.Н. Белокопытов; НАН Украины, Морской гидрофизический институт. – Севастополь, 2011 – 212 с.
- 2) Белокопытов В.Н. Климатические изменения гидрологического режима Черного моря // Диссертация на соискание ученой степени доктора географических наук, специальность 25.00.28 – «Океанология». – Севастополь, 2017 г. – 377 с.
- 3) Юнев О.А. Эвтрофикация и годовая первичная продукция фитопланктона глубоководной части Черного моря // Океанология. 2011. Т. 51. № 4. С. 658-668.

ИЗВЛЕЧЕНИЕ КОСМОГЕННЫХ ИЗОТОПОВ ФОСФОРА ^{32}P , ^{33}P ИЗ МОРСКОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ БИОДИНАМИКИ ФОСФОРА

Довгий И.И.¹, Козловская О.Н.¹, Кременчуцкий Д.А.¹, Бежин Н.А.¹, Проскурнин В.Ю.²

¹Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

²Институт биологии южных морей РАН, г. Севастополь

nickbezhin@yandex.ru

Ключевые слова: морская радиохимия, космогенные радионуклиды, ^{32}P , ^{33}P , биодинамика фосфора.

Изучение изменчивости содержания биогенных элементов в прибрежных экосистемах в условиях антропогенного воздействия является важной задачей [1]. Изотопы фосфора ^{32}P , ^{33}P , космогенного происхождения являются удобными трассерами для изучения процессов биодинамики фосфора [2], определения резистентного времени пребывания растворенной неорганической и органической форм фосфора, поскольку их основным источником являются влажные атмосферные выпадения.

Методика извлечения изотопов ^{32}P , ^{33}P из морской воды описана нами ранее [3]. Работы проводились в 103 (август-сентябрь 2018 г.) и 106 (апрель-май 2019 г.) рейсах НИС "Профессор Водяницкий". Выявлены преимущества и недостатки активного Al_2O_3 в сравнении с «классическим» методом извлечения изотопов ^{32}P и ^{33}P из морской воды. К преимуществам относится возможность прокачки морской воды с высокой скоростью около $7 \text{ л}\cdot\text{мин}^{-1}$ ($10 \text{ КО}\cdot\text{мин}^{-1}$). Основным недостатком является относительно низкий радиохимический выход извлечения ^{32}P и ^{33}P около 50%. На основании данных отношения $^{33}\text{P}/^{32}\text{P}$ в морской воде на различных горизонтах и в источнике - атмосферных выпадениях в сентябре 2018 (1,05), были рассчитаны значения времени обращения фосфора в неорганическую форму, равное $2,6\pm 1,1$ дня. Из значений $^{33}\text{P}/^{32}\text{P}$ во взвеси и источнике - морской воде были рассчитаны значения времени обращения фосфора в взвешенную органическую форму, равное $14,8\pm 7,3$ дней. Полученные результаты согласуются с величинами, полученными в работе [2] для данного времени года.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и города Севастополь в рамках научного проекта № 18-43-920005, государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема «Прибрежные исследования» № 0827-2020-0004).

Список литературы

- 1) Совга Е.Е. Сезонная динамика содержания и локальные источники биогенных элементов в водах прибрежной акватории Гераклеяского полуострова / Е.Е. Совга, С.И. Кондратьев, Е.А. Годин, К.А. Слепчук // Морской гидрофизический журнал. – 2017. – № 1 (193). – С. 56-65.
- 2) Benitez-Nelson C.R. Variability of inorganic and organic phosphorus turnover rates in the coastal ocean / C.R. Benitez-Nelson, K.O. Buesseler // Nature. – 1999. – Vol. 398. – P. 502–505.
- 3) Довгий И.И. Изучение биодинамики фосфора в акватории Гераклеяского полуострова с использованием изотопов $^{32,33}\text{P}$ / И.И. Довгий, Д.А. Кременчуцкий, О.Н. Козловская, Н.А. Бежин, В.Ю. Проскурнин // Ученые записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. Серия: Биология, химия. – 2019. – Т. 5 (71), № 1. – С. 221-233.

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ ЛЕТОМ 2019 ГОДА

Еремейко Т.Н.¹, Двоглазова Н.В.²

¹Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград

²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

taisdesu@gmail.com

Ключевые слова: минеральный фосфор, минеральный кремний, растворённый кислород, сероводород, Балтийское море, Юго-Восточная Балтика.

Одной из наиболее острых экологических проблем Балтийского моря является эвтрофикация [2] — процесс повышения биологической продуктивности и ухудшения качества вод, вызванный избыточным поступлением в морскую среду биогенных элементов (фосфора, азота, кремния) естественного и антропогенного происхождения. Прогрессирующее увеличение первичной продукции не сопровождается пропорциональным повышением вторичной продукции, в связи с чем избыток образовавшегося органического вещества оседает в глубинном слое Балтики, расходуя растворенный кислород в процессе окисления [5]. Результатом этого является развитие восстановительных условий в придонном слое глубоководных впадин [1], которые оказывают воздействие как на экосистему придонных слоев Балтики, так и на хозяйственную деятельность человека. Таким образом, гидрохимический режим является важной компонентой мониторинга окружающей среды.

Данные для исследования гидрохимического режима вод Юго-Восточной Балтики были получены в ходе экспедиционных работ Атлантического отделения Института океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук (АО ИО РАН) в 2019 г., которые включали 45 рейс НИС «Академик Борис Петров» (АБП45) в июле 2019 г. и 49 рейс НИС «Академик Сергей Вавилов» (АСВ49) в августе-сентябре 2019 г. Для определения содержания растворённого кислорода использовался титриметрический метод Винклера (ПНД Ф 14.1:2.101-97), сероводорода — спектрофотометрический метод измерения содержания сульфидов в пробах воды с дальнейшим перерасчетом в концентрацию сероводорода (ПНД Ф 14.1:2.109-97). Концентрацию фосфатов определяли спектрофотометрическим методом по ПНД Ф 14.1;4.248-07. Концентрацию растворенных силикатов определяли спектрофотометрическим методом по РД 52.10.744-2010. Определение растворенного фосфора, кремния и сероводорода проводилось при помощи спектрофотометра КФК-ЗКМ (Россия).

По результатам экспедиционных наблюдений в гидрологическом режиме Юго-Восточной части Балтийского моря для горизонтов глубже 60 м было характерно формирование зон гипоксии: содержание растворённого кислорода здесь составляло десятые доли миллилитра (до 0,5 мл/л). Несмотря на развитие малоокислородных условий, наличие сероводорода в Гданьской впадине в июле было зафиксировано на горизонте 84 м; в сентябре — в Готландской и Гданьской впадинах на горизонтах 95 м и 78 м соответственно, что согласуется с ранее опубликованными данными [3, 4]. Концентрация растворенного кремния в период исследований находилась на уровне, характерном для Гданьского бассейна Балтийского моря в современный период, и изменялась на разных горизонтах и станциях в диапазоне 21-160 мкг-ат/л. Концентрации фосфатов в эвфотическом слое (0,19-0,71 мкг-ат/л) были выше лимитирующих рост фитопланктона в Балтийском море (0,15 мкг-ат/л), что позволяло diaзотрофным цианобактериям интенсивно развиваться. В течение летнего сезона было отмечено снижение содержания биогенных элементов: содержание фосфора в придонном слое (70 м) северо-восточной части Гданьского бассейна уменьшилось с июля по сентябрь с 3,276 мкг-ат/л до 0,764 мкг-ат/л, а содержание кремния с 53,599 мкг-ат/л до 21,453 мкг-ат/л. К концу летнего сезона 2019 года концентрация растворенного минерального фосфора в верхнем квазиоднородном слое и иногда в ядре термоклина (до глубины 40 м) достигала нуля, в то время

как в придонном слое (с горизонта 65 м до дна) значения повышались почти на порядок вплоть до 1,0 мкг-ат/л.

Таким образом, гидрохимический режим российского сектора юго-восточной части Балтийского моря летом 2019 года характеризовался постепенным развитием гипоксических условий в Гданьской впадине, а также биоассимиляцией растворённого минерального фосфора от значений, способствующих развитию diazotrophic цианобактерий, практически до нулевого уровня.

Отбор и анализ проб воды в придонном горизонте осуществлялся за счет средств проекта РФФИ №19-45-390007 р_а.

Список литературы

- 1) Fonselius S. Oxygen and hydrogen sulphide conditions in the Baltic Sea // Marine Pollution Bulletin. 1981. Vol. 12. № 6. P. 187–194.
- 2) HELCOM. State of the Baltic Sea—Second HELCOM holistic assessment 2011-2016. 2018. [Электронный ресурс] – URL: www.helcom.fi/baltic-sea-trends/holistic-assessments/state-of-the-baltic-sea-2018/reports-and-materials
- 3) Артамонова К.В., Демидов А.Н., Зуев О.А. Кислородно-сероводородный режим глубинных вод в Гданьской котловине Балтийского моря // Океанология. 2019. Т. 59. №2. С. 714-723.
- 4) Бубнова Е.С., Капустина М.В. Гидролого-гидрохимические условия в придонном слое Гданьской впадины Балтийского моря в 2003-2018 годах. // Известия КГТУ. 2019. №55. С. 47-58.
- 5) Система Балтийского моря. М: Научный мир, 2017. 608 с.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАСТВОРЕННЫХ MO, W И V НА ГРАНИЦЕ ОКИСЛЕННЫХ И ВОССТАНОВЛЕННЫХ ВОД В ЧЕРНОМ МОРЕ

Зологина Е.Н.^{1,2}, Римская-Корсакова М.Н.¹

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

²Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва

zologekaterina@gmail.com

Ключевые слова: молибден, ванадий, вольфрам, гидрохимия, Чёрное море.

Биогеохимические циклы многих микроэлементов контролируются окислительно-восстановительными реакциями. Многие микроэлементы отслеживают изменение окислительно-восстановительных условий в океане благодаря их уникальному геохимическому поведению - склонности к изменению валентности и/или осаждению в виде оксидов или сульфидов при изменениях условий окружающей среды. К их числу относятся молибден и ванадий - важнейшие индикаторы сероводородных 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-} . Молибден и ванадий одни из самых распространенных растворенных в океане микроэлементов. Концентрации молибдена в океане составляют ~ 100 нМ, содержание ванадия $\sim 30-40$ нМ [2]. Содержание вольфрама заметно меньше. В окисленной воде разных океанов оно варьирует от 0,02 до 0,06 нМ [3]. Вольфрам по химическим свойствам имеет сходство с молибденом, однако ему посвящено гораздо меньше исследований ввиду его крайне низких содержаний. В окисленных водах океана мольное отношение содержаний Mo и W составляет в среднем 2000. При этом соотношение их содержаний в земной коре близко к 2,3 [2]. Таким образом, эти элементы заметно фракционируют в процессах выветривания и транспортировки в океан.

В условиях сероводородных бассейнов Mo и V накапливаются в осадках. В присутствии сероводорода молибден образует тиомолибдаты, которые сорбируются на взвешенных сульфидах железа, органическом веществе или образуют смешанные нерастворимые сульфиды вида Fe-Mo-S [4]. Ванадий (V) восстанавливается сероводородом до V(III), который гидролизует с образованием нерастворимых гидроксидов. Соотношение Mo и W заметно возрастает в аноксических условиях [5]. Для изучения трансформации форм Mo, W и V при изменении окислительно-восстановительных условий в морской воде мы исследовали их поведение в крупнейшем бассейне с анаэробными водами - в Черном море. На границе окисленных и анаэробных вод в Черном море находится переходная субокислительная зона, толщиной 10-50 м, где концентрации кислорода и сероводорода крайне низки, но присутствуют в заметных количествах взвешенные оксигидроксиды Mn и Fe [6]. За счёт образования и растворения оксигидроксидов на границе окисленных и восстановленных вод происходит транспорт микроэлементов в пределах субокислительной зоны. Присутствие сероводорода в восстановленных водах дополнительно способствует выделению сульфидообразующего элемента - молибдена, который эффективно извлекается из анаэробных вод в осадки и ванадия [5]. Поведение вольфрама в воде Черного моря не изучено. 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 на станции с координатами 44.489° с.ш. и 37.869° в.д. в 7 милях от Голубой бухты (г. Геленджик) в июле 2018 года. Глубина моря на станции составляла 1200 м. Отбор проб производили, начиная с глубины 600 метров в направлении поверхности через каждые 50 метров. Элементный анализ молибдена, ванадия и вольфрама проводили на ИСП масс-спектрометре. Перед определением элементы концентрировали методом твердофазной экстракции с 8-оксихинолином на колонках заполненных октадецилкремнеземом CHROMABOND C18ec (Macherey-Nagel).

Были определены содержания растворенных Mo, W и V в образцах с горизонтов 200-600 м. Концентрации V менялись от 10,5 нмоль/кг до 3,9 нмоль/кг, Mo от 12,7 нмоль/кг до 0,7 нмоль/кг, W - варьировали в интервале от 124 -161 пмоль/кг. От самого верхнего слоя из изученных (200 м) вглубь концентрации Mo и V уменьшаются вследствие того, что Mo в присутствии сероводорода образует тиомолибдаты, которые сорбируются на взвешенных сульфидах железа или органическом веществе, т.е. переходят из растворенной формы в нерастворимую и осаждаются, а V (V) в присутствии сероводорода восстанавливается до V(III), который гидролизуеться с образованием нерастворимых оксигидроксидов. Концентрации W с глубиной меняются незначительно.

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) 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.
- 5) Батурин Г.Н. Геохимия черноморских сапропелевых илов // Геохимия. – 2011. – № 5. – С.556-563.
- 6) Murray J.W., Yakushev E. The suboxic transition zone in the Black Sea // Past and Present Water Column Anoxia. – 2006. – P. 105-138.

СОВРЕМЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ РАСТВОРЕННОГО МЕТАНА В ОСТАТОЧНЫХ ВОДОЕМАХ АРАЛЬСКОГО МОРЯ

Ижицкая Е.С., Егоров А.В., Завьялов П.О.

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

kovaleva_es@ocean.ru

Ключевые слова: растворенный метан, Аральское море, анаэробный слой.

В результате катастрофического падения уровня, начавшегося во второй половине 20 века, современное Аральское море представляет собой несколько отдельных водоемов: Большой Арал, Малый Арал, озеро Тщebas. Особенности водного баланса каждой из частей формируют различия в физической, химической и биологической структуре вод. Значительное осолонение Большого Арала стало причиной увеличения стратификации водной толщи, что в свою очередь привело к образованию анаэробного нижнего слоя. По данным экспедиционных исследований в конце 2002 года [1, 2], в нижнем слое Большого Аральского моря впервые был обнаружен сероводород.

Процесс метанообразования следует за сульфатредукцией в цепи реакций окисления органического вещества [3]. Таким образом, метан служит важным показателем биогеохимических процессов в природных водах. Кроме того, вследствие высокой парниковой активности метана изучение его эмиссии в атмосферу является актуальным для решения современных климатических и океанологических задач [4].

Первичная оценка количества метана, растворенного в водах Аральского региона, проводилась на основе данных экспедиций Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН 2012 - 2016 гг. [5]. В настоящей работе рассматриваются изменения количества растворенного метана, зафиксированные в остаточных водоемах Аральского моря спустя несколько лет. Измерения концентраций газа проводились на поверхностных и вертикальных профилях, а также точечных станциях в мае и сентябре 2019 г. в Большом Арале, включая залив Чернышева, Малом Арале и озере Тщebas. Отбор и анализ проб воды осуществлялся с применением методов фазово-равновесной дегазации и газовой хроматографии [6].

По данным новейших измерений, вертикальный профиль растворенного метана в центральной части Большого Арала в целом иллюстрирует уменьшение значений концентраций по сравнению с 2012 и 2013 гг., однако по-прежнему хорошо заметен резкий скачок содержания CH_4 в нижнем слое вод. Аналогичная тенденция отмечается и в придонных водах залива Чернышева, по сравнению с данными 2015 и 2016 гг. Однако на поверхности залива напротив содержание метана значительно выросло, достигая на некоторых станциях величин 600 - 700 нМ. Максимальное насыщение вод растворенным метаном в Малом Арале приурочено к району Кокаральской плотины, что регистрировалось и в 2016 г. Содержание метана в озере Тщebas осенью 2019 г. соответствует величинам, полученным в этот сезон в 2015 и 2016 гг.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и образования России (тема № 0149-2019-0003). Анализ данных наблюдений проведен при поддержке РФФИ и Немецкого научно-исследовательского сообщества (грант 20-55-12007 ННИО_a).

Список литературы

- 1) Zavialov P. O. et al. Hydrographic survey in the dying Aral Sea //Geophysical Research Letters. – 2003. – V. 30. – №. 13. – P. 1659.
- 2) Friedrich J., Oberhänsli H. Hydrochemical properties of the Aral Sea water in summer 2002 //Journal of Marine Systems. – 2004. – V. 47. – №. 1-4. – P. 77-88.
- 3) Breck W. C. Redox levels in the sea The Sea. – 1974. – V. 5. P. 153-180.

- 4) Isaksen I. S. A. et al. Strong atmospheric chemistry feedback to climate warming from Arctic methane emissions //Global Biogeochemical Cycles. – 2011. – V. 25. – №. 2. – GB2002.
- 5) Izhitskaya E. S. et al. Dissolved methane in the residual basins of the Aral Sea //Environmental Research Letters. – 2019. – V. 14. – №. 6. – P. 065005.
- 6) Большаков А. М., Егоров А. В. Об использовании методики фазоворавновесной дегазации при газометрических исследованиях //Океанология. – 1987. – Т. 27. – №. 5. – С. 861-862.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В МОРСКИХ И ПРЕСНЫХ ВОДАХ НА СЛЕДОВОМ УРОВНЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ

Изосимова О.Н., Горшков А.Г.

Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск

smileoc@mail.ru

Ключевые слова: полициклические ароматические углеводороды, морские и пресные воды, ГХ-МС/МС, Арктический регион, озеро Байкал.

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) вследствие канцерогенных и мутагенных свойств включены Стокгольмской конвенцией (2001) в ряд стойких органических загрязняющих веществ и подлежат контролю в объектах природной среды. Агентством по охране окружающей среды США для контроля выбраны 16 соединений группы ПАУ, которые приняты как приоритетные: нафталин, аценафтилен, аценафтен, флуорен, фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, бенз[а]антрацен, хризен, бенз[б]флуорантен, бенз[к]флуорантен, бенз[а]пирен, индено[1,2,3-с,d]пирен, бенз[ghi]перилен, дибенз[a,h]антрацен. Присутствие ПАУ в фоновых районах мира на следовом уровне концентраций (от ppm и ниже) [1] предполагает для их контроля применение методик, отличающихся точностью и надежностью определения на требуемом уровне концентраций. Нами для определения приоритетных ПАУ в воде предложена методика, основанная на жидкость-жидкостной экстракции ПАУ в *n*-гексан и анализе экстрактов с применением метода ГХ-МС/МС в аналитическом окончании [2]. Методика отличается от известных аналитических решений простой унифицированной подготовкой пробы, разработанной для малых объемов проб (не более 0.1 л) и минимальным объемом экстрагента (1 мл). Для разделения компонентов экстрактов предложен хроматографический анализ на капиллярных колонках с фазами средней полярности и прямой ввод экстракта в хроматограф, снижающий риск потерь легколетучих ПАУ. Нижняя граница определения ПАУ оценена уровнем 0.1-1.0 нг/л, внутрिलाбораторная прецизионность (σ_R) определения - интервалом от 15 до 20% для индивидуальных ПАУ при использовании дейтерированных ПАУ в качестве суррогатных внутренних стандартов. Методика подготовки проб легко реализуется в серийном анализе при мониторинговых исследованиях. Минимальный объем экстрагента сокращает расход органического растворителя и его объемы для последующей утилизации. Объем воды, требуемый для проведения анализа, дает возможность контролировать содержание ПАУ в крупных водных объектах с отбором статистически значимого числа проб, а также проводить исследования, при которых объем отбираемых проб воды ограничен (поверхностный микрослой, атмосферные осадки, пробы из отдаленных и труднодоступных районов).

Методика апробирована при исследованиях в Арктике - море Лаптевых, Восточно-Сибирском море и прилегающей глубоководной части Арктического бассейна, а также озера Байкал, содержащего 20% мировых запасов пресных поверхностных вод мира. При мониторинге ПАУ в водах оз. Байкал проводилась сравнительная оценка результатов определения по методике с экстракцией ПАУ 60 мл экстрагента из 1 л воды. Показано преимущество методики с малым объемом воды и экстрагента в серийном анализе при мониторинговых исследованиях крупных водных объектов, когда требуется отбор статистически значимого числа проб.

В Арктическом регионе отбор проб осуществлялся по разрезам, начиная с шельфовой зоны и заканчивая глубоководной частью Северного Ледовитого океана. На каждой станции отбирали две пробы в стеклянные бутылки емкостью 100 мл. Забор воды производился с использованием кассетного пробоотборника Seabird SBE-32 с верхнего водного горизонта (10 м). Общее количество станций - 26. Фильтрация для удаления взвешенного органического вещества не проводилась, так как его количество минимально, а дополнительная стадия фильтрации может способствовать загрязнению пробы, что недопустимо, особенно, при определении органических поллютантов, в

том числе ПАУ, на следовом уровне концентраций. Найдено, что в верхнем водном слое (10 м) исследованного района Арктики суммарное содержание обнаруженных ПАУ варьируется в диапазоне от 30 до 100 нг/л, в 50 % проб сумма ПАУ оценена интервалом от 40 до 68 нг/л. Ряд идентифицированных ПАУ включал 20 соединений, из которых 13 - приоритетных, причем доля «легких» ПАУ (суммарное содержание нафталинов) достигала 30-75 % от суммарного содержания всех идентифицированных полиаренов. Высокомолекулярные ПАУ, отличающиеся максимальной канцерогенностью - бенз[а]пирен и дибенз[а,h]антрацен, не были найдены выше уровня, равного 0.1 нг/л, который в 50 раз ниже ПДК, установленной для бенз[а]пирена в питьевой воде. Мониторинг ПАУ в водах Байкала проводился с отбором проб в верхнем водном слое пелагиали (5 м) и на глубинных горизонтах (до 1600 м). Содержание ПАУ в оз. Байкал на современном этапе соответствует содержанию поллютантов этого класса в водах Арктики.

Хорошо изучен один из феноменов оз. Байкал - природные нефтепроявления. Суммарное содержание ПАУ в районах нефтепроявлений может достигать до 20 мкг/л, для приоритетных - до 6,8 мкг/л [3]. Установлено, что нефтепроявления влияют на чистоту вод на площади до 1 км² [4]. При удалении от участков с нефтяными включениями концентрация ПАУ резко снижается, свидетельствуя о локальном характере загрязнения акватории оз. Байкал.

Работа выполнена в рамках государственного задания, проект № 0345–2019–0008 (АААА-А16116122110065-4).

Список литературы

- 1) Майстренко В. Н. Эколого-аналитический мониторинг стойких органических загрязнителей / В. Н. Майстренко, Н. А. Клюев. - М. : БИНОМ. Лаб. знаний, 2004. - 323 с.: ил.
- 2) Горшков, А. Г. Определение приоритетных полициклических ароматических углеводородов в воде на следовом уровне концентраций / А. Г. Горшков, О. Н. Изосимова, О. В. Кустова // Журнал аналитической химии. – 2019. –Т. 74. – № 8. – С. 580-587. DOI: 10.1134/S1061934819080082
- 3) Современный уровень нефтепродуктов в воде озера Байкал и его притоков / А. Г. Горшков [и др.] // Химия в интересах устойчивого развития. – 2010. –Т. 18. – С. 711-718.
- 4) Fractioning of petroleum hydrocarbons from seeped oil as a factor of purity preservation of water in Lake Baikal (Russia) / Alexander Gorshkov [et al] // Journal of Great Lakes Research. – 2020. – V. 46. – P.115-122. DOI: 10.1016/j.jglr.2019.10.010

ЖЕЛЕЗО-ЛИМИТИРУЮЩИЙ ФАКТОР ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ В АНТАРКТИКЕ

Киль А.О.

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

kil_anya@bk.ru

Ключевые слова: железо, первичная продукция, фитопланктон, Антарктика, Южный океан.

Антарктические воды играют важную роль в глобальном тепло- и водообмене. Как известно, антарктическая экосистема сложна и обладает относительно слабой устойчивостью к внешним воздействиям, поэтому является важным изучением первичной продуктивности антарктических вод и гидрохимических условий, лежащих в основе ее формирования.

К сожалению, в настоящее время мало исследований (их кульминация пришлась на 90-е годы) по оценке первичной продуктивности антарктических вод, и они неравномерно распределены по всей акватории Антарктики. Существует не так много исследований для определения железа в водах, но железо является ограничивающим фактором первичной продукции в Антарктике [1].

Существует несколько факторов, ограничивающих первичную продуктивность. Основными факторами, влияющими на первичную продукцию органического вещества в Южном океане, являются свет, температура и питательные вещества [2].

Развивающийся фитопланктон нуждается в постоянном снабжении ресурсами для поддержания роста. Многочисленные наблюдения за содержанием питательных веществ (фосфатов, нитратов и силикатов) в антарктических водах показывают, что они, вероятно, превышают потребности фитопланктона [1]. Клетки фитопланктона запасают питательные вещества и концентрации их в среде лимитируют рост фитопланктона. Биогенные элементы потребляются фитопланктоном в том же соотношении, в каком они входят в состав клетки. Концентрации питательных веществ в воде остаются высокими после достижения фитопланктоном своего сезонного пика [1].

Те участки океана, где наблюдается высокая первичная продукция фитопланктона и где, соответственно, создается большое количество органического вещества, могут быть местами накопления атмосферного углерода. Они занимают сравнительно небольшую часть акватории Мирового океана и расположены в Северной Атлантике, в северной части Тихого океана, в Южном океане (пространство вокруг Антарктиды), а также в прибрежных районах [1]. Высокой продуктивностью обладают зоны апвеллинга, шельфовые моря и некоторые области океанов, поскольку в них высокое содержание основных питательных веществ, таких как азот и фосфор.

В океане есть также районы, где основные биогенные элементы (азот и фосфор) присутствуют в достаточном количестве для развития фитопланктона, но его продуктивность остается низкой. Такие регионы называются районами с высоким содержанием основных биогенных элементов и низким уровнем хлорофилла (HNLC). Обычно первичная продукция в таких местах ограничивается не азотом и фосфором, а каким-то другим элементом. Этим ограничивающим элементом часто является железо.

Гипотеза о том, что железо является лимитирующим фактором для фитопланктона в районах HNLC была проверена в 1990-х годах [5]. В данном эксперименте, железо в виде солевых растворов вводилось непосредственно в верхний слой водной толщи, и в ответ на эту добавку продукция фитопланктона действительно росла, поглощая другие питательные вещества [5].

Дефицит железа одновременно ограничивает рост фитопланктона и оставляет избыток других питательных веществ. Некоторые ученые предложили вводить железо HNLC как средство повышения первичной продуктивности и поглощения углекислого газа из атмосферы [3].

Основополагающей статьей о роли железа в экологии фитопланктона является статья Мартина и Фитцутера, опубликованная в 1988 году и с тех пор остающаяся актуальной в области морской биохимии [4]. В настоящее время хорошо известно, что запасы железа являются фактором,

потенциально влияющим на первичную продуктивность в районах с высоким содержанием нитратов и низким содержанием хлорофилла (HNLC), таких как Южный океан [5]. В Южном океане, где сильный ветровой стресс даже летом создает квазиоднородные слои, первичная продукция фитопланктона, вероятно, ограничена железом и светом.

В 1991 году на специальном симпозиуме Iron ASLO Watson et al. (1991) предположили, что эксперимент в открытом океане для изучения реакции морской экосистемы на искусственное удобрение железом был осуществим, если следовать за участком воды, отмеченным индикатором SF6 [5]. Первый эксперимент по высвобождению железа в Южном океане (SOIREE) был проведен к югу от полярного фронта в феврале 1999 года. Четыре последовательных добавления железа были сделаны в течение 8 дней, с мониторингом биологических изменений в течение этого периода и в течение следующих 5 дней. Как и в предыдущих опытах, добавление железа привело к увеличению доли крупных диатомовых водорослей [6].

Исследования первичной продукции показывают, что привнесение железа в поверхностный слой океана в геологическом прошлом могло быть одним из факторов, способствующих контролю ледниково-межледниковых изменений атмосферного CO₂ [5].

Полученные результаты также важны для понимания процессов, происходивших в прошлом, например, во время ледниковых периодов, когда уровень океана сильно понижался (на 100-200 м), а продукция фитопланктона увеличивалась, что привело к снижению содержания углекислого газа на 60-80 ppm [5]. Считается, что необходимое для фитопланктона железо поступало в океан "сверху", вместе с пылью, приносимой ветрами с суши. Также на основании новых исследований следует предположить, что не менее важным было поступление железа в цикл из нижних слоев водной толщи (из гидротермальных источников).

Запасы железа являются фактором, потенциально влияющим на первичную продуктивность в районах с высоким содержанием нитратов и низким содержанием хлорофилла (HNLC), таких как Южный океан.

Список литературы

- 1) El-Sayed S. Productivity of the Antarctic waters—a reappraisal // Marine phytoplankton and productivity. – Springer, Berlin, Heidelberg, 1984. – P. 19-34.
- 2) Middelburg J.J. Primary Production: From Inorganic to Organic Carbon // Marine Carbon Biogeochemistry. – Springer, Cham, 2019. – P. 9-35.
- 3) Cooper D.J., Watson A.J., Nightingale P.D. Large decrease in ocean-surface CO₂ fugacity in response to in situ iron fertilization // Nature. – 1996. – Т. 383. – Vol. 6600. – P. 511.
- 4) Martin J.H., Fitzwater S.E. Iron deficiency limits phytoplankton growth in the north-east Pacific subarctic // Nature. – 1988. – Т. 331. – Vol. 6154. – P. 341.
- 5) Fasham M.J.R. et al. Development of a robust marine ecosystem model to predict the role of iron in biogeochemical cycles: A comparison of results for iron-replete and iron-limited areas, and the SOIREE iron-enrichment experiment // Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers. – 2006. – Т. 53. – Vol. 2. – P. 333-366.
- 6) Boyd P.W., Law C.S. The Southern Ocean iron release experiment (SOIREE)—introduction and summary // Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. – 2001. – Т. 48. – Vol. 11-12. – P. 2425-2438.

ОПРЕСНЕНИЕ МОРСКИХ ВОД В ЗАЛИВАХ СТЕПОВОГО И АБРОСИМОВА (ЮЖНЫЙ ОСТРОВ, НОВАЯ ЗЕМЛЯ) ПО ИЗОТОПНЫМ ($\delta^{18}\text{O}$, δD) ДАННЫМ

Коссова С.А., Дубинина Е.О.

*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН, г. Москва
sonch_1@rambler.ru*

Ключевые слова: изотопы кислорода и водорода, соленость, морская вода, Арктика, Карское море, опреснение, Новая земля.

Для заливов Новой Земли существует несколько потенциальных источников опреснения: глобальных (эстуарные воды Оби и Енисея, атмосферные осадки региона) и локальных (водотоки и ледники Новой Земли). Роль этих источников различна, и оценка их вклада в процессы опреснения имеет большое значение в понимании потоков вещества, поступающих как с континента, так и с архипелага в акватории юго-восточного побережья Новой Земли. Для идентификации и количественной оценки вклада разных источников опреснения были использованы данные об изотопном составе кислорода и водорода (δD , $\delta^{18}\text{O}$) опресненных морских вод в комплексе с данными об их солености. Метод изотопной геохимии кислорода и водорода является высокоинформативным для идентификации пресных вод [1] и может применяться для количественных оценок вклада пресных вод разного происхождения, разбавляющих морские воды [2].

Несмотря на высокую изученность, в частности и изотопными ($\delta^{18}\text{O}$) методами, вод Карского моря [3, 4], изотопных исследований в водах, непосредственно прилегающих к архипелагу Новая Земля выполнено очень мало [5]. По мере удаления от источников континентального стока, процессы опреснения существенно осложнены присутствием локальных источников опреснения. Ранее нами было показано (на примере залива Цивольки), что большая роль в опреснении заливов Северного острова архипелага Новая Земля отведена выходящему в залив леднику Серп и Молот [5], однако на Южном острове постоянное оледенение отсутствует и это позволяет предположить совершенно иные механизмы опреснения морских вод.

В качестве объекта были выбраны заливы Степового и Абросимова, расположенные на юго-восточном побережье Южного острова архипелага Новая Земля. Материалы для исследований были получены в ходе рейсов НИС Профессор Штокман» (2014 г), и «Академик Мстислав Келдыш» (2015 г.) в район Карского моря. Все пробы были отобраны при помощи гидрофизического зонда и батометров комплекса SBE 32. Для каждой станции был изучен вертикальный профиль распределения гидрофизических параметров и величин δD и $\delta^{18}\text{O}$. Пробы вод данных заливов отбирались на очень близких по своему положению станциях в течение двух лет (2014-2015 гг), что дало возможность оценить стабильность изотопных параметров источников опреснения во времени и сравнить степень активности их участия в опреснении акваторий изученных заливов.

Анализ полученных данных показал, что за два года наблюдений воды изученных заливов на всех глубинах опреснены по отношению к господствующим в Карском море водам атлантического происхождения. На всех изученных станциях соленость возрастает с глубиной, достигая величин $\approx 34\text{‰}$ в придонных горизонтах. Минимальная соленость ($S=26,8$ psu) наблюдалась в 2015 году в водах поверхностного слоя залива Степового.

Величины $\delta^{18}\text{O}$ и δD имеют аналогичное распределение по глубине. Самые низкие величины $\delta^{18}\text{O}$ и δD соответствуют наиболее опресненным водам залива Степового $\approx -2,3\text{‰}$ и $\approx -21,5\text{‰}$ соответственно. В тот же период в заливе Абросимова наблюдались наиболее высокие величины $\delta^{18}\text{O}$ ($\approx 0,09\text{‰}$) и δD ($\approx -1,8\text{‰}$). В 2014 году оба изученных залива имеют похожее распределение изотопных параметров по глубине, попадающих в условный интервал от $-0,8$ до $-0,2\text{‰}$ и -6 до -3‰ для величин $\delta^{18}\text{O}$ и δD соответственно.

К изотопным данным, полученным для толщи вод двух изученных заливов, был применен подход, который подразумевает использование набора линий двухкомпонентного смешения в ко-

ординатах « $\delta D-S$ » [5]. Анализ этих диаграмм показал, что воды имеющие соленость 31-33 psu соответствуют области, отвечающей за опреснение локальным стоком с архипелага, и для этих проб доля пресного компонента в морской воде составила $\approx 5-10\%$. В отдельно взятых пробах, имеющих еще более низкие солености (з. Степового, 2015 г), содержание пресного компонента достигает 23%. Воды, попадающие в интервал солёности 33-34 psu, имеют очень небольшое содержание пресного компонента ($\approx 3\%$ и менее), однако, этот компонент является смесью вод, поступающих как из глобальных, так и из локальных источников опреснения.

Пресные водотоки являются локальным источником опреснения вод заливов Новой Земли. На Северном острове источником питания водотоков служат не только атмосферные осадки, но и талый ледниковый сток. На Южном острове отсутствует покровное оледенение, и, следовательно, источником питания локальных водотоков в заливах Степового и Абросимова служат атмосферные осадки летнего сезона [6]. В результате проведенных исследований установлено, что основным источником опреснения морских вод в заливах Южного острова является локальный сток с архипелага и очень незначительный вклад вносят пресные воды, поступающие с континентальным стоком. В то время как для Северного острова характерны сложные механизмы опреснения, вовлекающие большое количество пресных компонентов различного происхождения.

Работа поддержана грантом РФФИ 18-05-00740.

Список литературы

- 1) Craig H., Gordon L. Deuterium and oxygen-18 variations in the ocean and the marine atmosphere // Stable Isotopes in Oceanographic Studies and Paleotemperatures, Spoleto. 1965. P. 9-130.
- 2) Ostlund H.G., Hut G. Arctic Ocean Water Mass Balance From Isotope Data // J. Geophys. Res. 1984. V. 89. P. 6373-6381.
- 3) Дубинина Е.О., С.А. Коссова, А.Ю. Мирошников, Р.В. Фяйзулина. Изотопные (δD , $\delta^{18}O$) параметры и источники опресненных вод Карского моря // Океанология. 2017. Т 57. №1. С. 38-48.
- 4) Bauch D., Erlenkeuser H., Stanovoy V., Simstich J., Spielhagen R.F. Freshwater distribution and brine waters in the southern Kara Sea in summer 1999 as depicted by $\delta^{18}O$ results // Siberian river run-off in the Kara sea. 2003. P. 73-90.
- 5) Дубинина Е.О., С.А. Коссова, А.Ю. Мирошников. Источники и механизмы опреснения морских вод в заливах Цивольки и Седова (Новая Земля) по изотопным (δD , $\delta^{18}O$) данным // Океанология. 2019. Т. 59, №6. С 928-938.
- 6) Дубинина Е.О., Чижова Ю.Н., Коссова С.А., Авдеенко А.С., Мирошников А.Ю. Формирование изотопных (δD , $\delta^{18}O$, d) параметров ледников и водного стока с Северного острова архипелага Новая Земля // Океанология. 2019. в печати.

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИИ БЕРИЛЛИЯ-7 (${}^7\text{Be}$) В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ

Кременчуцкий Д.А.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

d.kremenchutsky@gmail.com

Ключевые слова: бериллий-7, Черное море, верхний квазиоднородный слой, пространственно-временная изменчивость.

Бериллий-7 (${}^7\text{Be}$) - это естественный изотоп космогенного происхождения, образующийся в атмосфере. Из атмосферы в морскую среду данный радионуклид попадает с потоком «сухих» и «влажных» атмосферных выпадений. Относительно небольшой период полураспада ${}^7\text{Be}$ (~ 53 дня) и высокие активности, а также отсутствие источников в самой морской среде делают данный радионуклид потенциально полезным трассером для исследований физических процессов, влияющих на его распределение и перераспределение в деятельном слое вод Черного моря на масштабах времени от синоптического до сезонного. В частности, данные о пространственно-временной изменчивости содержания этого радионуклида в морской среде используются для исследования субдукции водных масс, оценки коэффициента вертикальной турбулентной диффузии и вертикальной компоненты вектора скорости.

Данные натурных наблюдений для этого исследования были получены автором в ходе 87-го (30 июня - 20 июля 2016 г.), 98-го (14 - 28 ноября 2017 г.) и 101-го (14 - 28 декабря 2017 г.) рейсов НИС «Профессор Водяницкий». Отбор проб морской воды проводился с помощью погружного насоса. В общей сложности было отобрано и обработано 38 проб морской воды. Морская вода прокачивалась со скоростью 15 л мин^{-1} через систему колб, содержащую фильтр механической очистки воды от взвеси (размер пор 1 мкм) и 3 картриджа с сорбентами (гранулы оксида алюминия) [1]. Регистрация объема прокаченной воды проводилась с использованием водомера, установленного в системе. Объем единичной пробы изменялся от 4 до 13 м^3 . Измерения активности ${}^7\text{Be}$ на фильтрах и сорбентах были выполнены с использованием гамма-спектрометра со сцинтилляционным детектором NaI (размер кристалла $63 \times 63 \text{ мм}$, разрешение 7% по пику ${}^{137}\text{Cs}$).

Согласно полученным результатам общее содержание ${}^7\text{Be}$ в верхнем квазиоднородном слое изменялось по пространству и во времени от 1,5 до $9,5 \text{ Бк м}^{-3}$ и составляет в среднем $5,3 \pm 2,3 \text{ Бк м}^{-3}$. Повышенные величины были характерны для глубоководной части моря, максимальные значения наблюдались в летний сезон. Пониженные величины были характерны для прибрежных районов моря, минимальные значения наблюдались в зимний сезон. Доля радионуклида на взвеси составляла в среднем $10 \pm 5\%$ от величины его общей активности. В работе получены количественные оценки влияния различных параметров (сумма атмосферных осадков, температура, соленость, глубина перемешивания, концентрация взвешенного вещества) на пространственно-временную изменчивость содержания ${}^7\text{Be}$ (и производных величин) в поверхностном слое вод Черного моря. Установлено, что доминирующими факторами сезонной изменчивости концентрации радионуклида являются атмосферные осадки и глубина перемешивания.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России № 0827-2020-0003.

Список литературы

- 1) Kremenchutskii D.A. Distribution of beryllium-7 (${}^7\text{Be}$) in the Black Sea in the summer of 2016 // Environmental Science and Pollution Research. 2018. Vol. 25. №31. P. 31569–31578.

ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ЭСТУАРНОГО ФРОНТА ОБСКОЙ ГУБЫ

Крыленко В.И.

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

krylenkovasiliy@gmail.com

Ключевые слова: гидрохимия океана, Обская губа, эстуарный фронт.

Обская губа является эстуарием реки Обь и самым крупным заливом Карского моря, расположенным между полуостровами Гыданский и Ямал. Как один из самых протяженных в мире речных эстуариев Обская губа имеет большое хозяйственное значение - транспортное, промышленное, энергетическое (наличие углеводородных месторождений). Комплексные исследования процессов, происходящих в Обской губе, имеют большое значение в связи с тем, что здесь находится ценнейшее и самое крупное в мире местообитание сиговых пород рыб [1]. В связи с этим особенно актуальны вопросы, связанные с возможным загрязнением вод в бассейне р. Оби и в пределах самого эстуария, и особое внимание привлекают процессы преобразования в губе биогенных элементов, выносимых реками Обь, Надым, Таз и Пур.

Общий объем речного стока на выходе в море из Обской губы составляет 530 км³/год, из которых сток реки Оби составляет 75%, сток рек Пур, Таз и Надым суммарно до 20%. Реки имеют преимущественно снеговое питание [2].

Четко выделяются две области Обской губы, гидрохимический режим которых имеет характерную только для них специфику: «речная», где все определяет пресный речной сток и «морская», где особенности режима определяются характером взаимодействия соленых и пресных вод. Между ними выделяется промежуточная область, которую можно определить как зону, в которой происходят сезонные изменения положения эстуарного фронта. Положение границ этих областей может значительно меняться как в зависимости от сезона, так и год от года.

Были проанализированы базы данных лаборатории гидрохимии ИО РАН по гидрохимическим показателям и донным осадкам и выделены многолетние зоны положения фронта. Анализ донных отложений необходим, т.к. зона сезонных изменений эстуарного фронта характеризуется наличием иловых фракций в связи с многолетним осаждением в этой зоне диатомовых водорослей, а на остальной части акватории Обской губы преобладают пески.

В летний сезон многолетнее положение эстуарного фронта в основном находится возле мыса Хонарасаля, здесь так же прослеживаются воды р. Таз с более низкой минерализацией по сравнению с другими водами Обской губы. Выделяются летние эстуарные водные массы по Пивоварову [3] при следующих характерных значениях гидрохимических показателей: содержании кремния - свыше 100 мкг-ат/л, пониженной, относительно морских вод соленостью - 5-10‰, высокой концентрации кислорода 8-9 мл/л (с насыщением кислородом ниже 100%) [4].

Зимой при низких величинах речного стока морские воды проникают дальше по Обской губе, и зона эстуарного фронта смещается до впадения реки Таз и даже южнее, при этом, зимнее положение фронта сложнее диагностировать в связи с малым количеством данных в зимний период.

Список литературы

- 1) Артамонова К.В., Лапин С.А., Лукьянова О.Н., Маккавеев П.Н. Особенности гидрохимического режима Обской губы в период открытой воды // *Океанология*. 2013. Т. 53. № 31. С. 357-366.
- 2) Иванова А.А. Способ приближенной оценки ледовой аккумуляции речного стока в Обской губе // *Труды АНИИ*. 2004. Т. 449. С. 323-327

- 3) Москаленко Б.К. Биологические основы эксплуатации и воспроизводства сиговых рыб Обского бассейна. – Тюмень.: Кн. изд-во, 1958. 251 с.
- 4) Пивоваров С.В. Химическая океанография Арктических морей России. – СПб, Гидрометеоздат, 2000. 88 с.

ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БАЛАКЛАВСКОЙ БУХТЫ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Куринная Ю.С., Орехова Н.А.

Морской гидрофизический институт РАН., г. Севастополь

kurinnaya-jul@yandex.ru

Ключевые слова: Балаклавская бухта, донные отложения, тяжелые металлы, органический углерод, карбонатность.

Балаклавская бухта представляет собой акваторию полузамкнутого типа, выполняющую роль порта для маломерных судов. За длительный период антропогенной нагрузки на акваторию бухты в донных отложениях накопилось значительное количество загрязняющих веществ [1]. В последнее время акватория бухты эксплуатируется в качестве объекта рекреации и является зоной активного хозяйственного использования.

Донные осадки представляют собой сложную многокомпонентную гетерогенную систему, способную накапливать в себе различные химические вещества и являться источником вторичного загрязнения водных объектов, отражая уровень техногенной нагрузки региона.

Целью данной работы является комплексное исследование донных отложений Балаклавской бухты, включающее химический состав поровых вод и геохимических характеристик донных отложений.

В работе приведены результаты анализа проб, отобранных в акватории Балаклавской бухты в октябре 2018 г. Были отобраны 2 колонки (0 - 14 см) в центральной части акватории (колонка 1) и в южном бассейне (колонка 2). Колонки разделялись на слои по 2 см. Валовое содержание исследуемых микроэлементов (мкг/г) определялось методом рентгено-флуоресцентного анализа. Содержание органического углерода ($C_{\text{орг}}$, % сух. масс.) в донных отложениях определялось кулонометрически на экспресс-анализаторе - АН 7529 по методике, адаптированной для морских донных отложений [2]. Для получения химического профиля поровых вод с высоким вертикальным разрешением использовался полярографический метод анализа со стеклянным Au-Hg микроэлектродом [3].

Для понимания биогеохимических процессов необходимо учитывать содержание органического и неорганического углерода. Неотъемлемой частью донных осадков являются поровые воды. Изучение их характеристик позволяет оценить окислительно-восстановительные свойства донных отложений, содержание подвижных форм металлов, возможность их связывания и перехода в твердую форму осадков или водную толщу [4].

В центральной части бухты содержание органического и неорганического углерода в донных отложениях было практически равномерным по всей глубине осадка, средняя величина составила $\sim 2,5$ % и ~ 38 % сух. масс., соответственно. По соотношению неорганической и органической форм углерода [5] отмечено преобладание процессов, приводящих к образованию карбонатов ($\gamma = 0,65$). Средняя концентрация $C_{\text{орг}}$ (2,43 % сух. масс.) в слое 0 - 12 см практически равна концентрации $C_{\text{орг}}$ в верхнем слое (0 - 2 см) колонки 2 (2,51 % сух. масс.). Распределение металлов (Cu, Ni, Zn, Pb) по глубине также было однородным, изменение концентраций для всех металлов не превышало 5%. Отмечено повышенное содержание железа в донных осадках, с максимумом в слое 12 - 14 см (30839 мкг/г). Поровые воды также отличались высоким содержанием Fe (II), концентрация которого увеличивалась с глубиной, а содержание было сопоставимо с его концентрацией в наиболее антропогенно нагруженной акватории Севастопольской бухты и достигало 2 мМ. По характеру вертикального распределения геохимических характеристик и ТМ можно предположить, что осадки, вскрытые колонкой в центральной части Балаклавской бухты в слое 0 - 12

см, были отложены при сходных условиях осадконакопления. По-видимому, для данной станции отмечается повышенная скорость накопления осадков, по сравнению с южным бассейном.

В южном бассейне содержание органического углерода с глубиной плавно увеличивалось от 2,51 % сух. масс. (0 - 2 см) до 4,21 % сух. масс. (12-14 см), а, неорганического - уменьшалось (46,6 - 20,9% сух. масс.). По соотношению содержания органического и неорганического углерода установлено, что в верхнем слое преобладает процесс образования неорганического углерода, в то время как в нижних слоях - образование органической составляющей. В слое 2 - 4 см наблюдается рост, а ближе к поверхности снижение концентраций Ni, Pb, V и Cr, причиной чего может быть некоторое снижение антропогенной нагрузки. Снижение концентрации Cu и Zn от слоя 0 - 2 см (345 и 399 мкг/г) к слою 12 - 14 см (157 и 255 мкг/г), свидетельствует о том, что источники поступления этих элементов неорганического происхождения. В поровых водах в слое 0 - 8 см отмечено присутствие железа и марганца, что указывает на субкислородные условия в осадках, в нижних слоях появляются восстановленные формы серы (сульфиды) и моносουλфид железа (продукт взаимодействия сульфидов и активного железа). Концентрация растворенного железа не превышала 0,8 мМ.

Таким образом установлено, что формирование донных отложений Балаклавской бухты определяется ее морфометрическими характеристиками (глубина и очертание береговой линии) и антропогенными источниками. Отмечено, что содержание железа соответствует его содержанию в донных отложениях наиболее антропогенно нагруженной Севастопольской бухты, что определяется наличием его источников. При этом, несмотря на высокие скорости осадконакопления в Балаклавской бухте [6], содержание органического углерода в 2 - 3 раза ниже по сравнению с Севастопольской бухтой.

Отмеченные в настоящее время характеристики донных отложений и субкислородные условия в верхнем слое указывают на дефицит кислорода в верхнем слое отложений, что способствует формированию зон экологического риска.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2019-0004 «Прибрежные исследования», а также при поддержке проектов РФФИ № 18-45-920008 и № 18-45-920007.

Список литературы

- 1) Ломакин П. Д., Попов М. А. Океанологическая характеристика и оценка загрязнения вод Балаклавской бухты. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. 184 с.
- 2) Люцарев С. В. Определение органического углерода в морских донных отложениях методом сухого сжигания / С. В. Люцарев // Океанология. – 1986 – 26, 4 – С. 704–708.
- 3) Орехова Н. А. Полярнография донных осадков Севастопольской бухты / Н. А. Орехова, С. К. Коновалов // Морской гидрофизический журнал. – 2009 – №2. – С. 52–66.
- 4) Розанов А. Г. Донные осадки Кандалакшского залива Белого моря: марганцевый феномен / А. Г. Розанов, И. И. Волков // Геохимия. – 2009 – №10. – С. 1067–1085.
- 5) Орехова Н. А. Компоненты цикла углерода экосистемы Севастопольской бухты (Черное море) по данным 2017 г. / Н. А. Орехова // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: Сб. научных трудов. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2017 – Вып. 4 – С. 39–46.
- 6) Мирзоева Н. Ю. Потоки миграции и депонирования послеаварийных радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs в различных районах Черного моря (элементы биогеохимических циклов) / Н. Ю. Мирзоева С. Б. Гулин, С. И. Архипова, Н. Ф. Коркишко, Л. В. Мигаль, И. Н. Мосейченко, И. Г. Сидоров // Наукові праці. Техногенна безпека. Миколаїв: Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2013. – Т. 210, вип. 198. – С. 45–51.

ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЗАЛИВЕ АЛЯСКА В ЗИМНИЙ ПЕРИОД (ФЕВРАЛЬ 2019)

Курносова А.С.

Тихоокеанский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» ("ТИНРО"), г. Владивосток

anna.vazhova@gmail.com

Ключевые слова: Тихий океан, залив Аляска, соленость, температура, биогенные элементы, растворенный кислород.

Экосистема залива Аляска довольно быстро реагирует на изменение климата [1]. Поверхностные температуры в северо-восточной части Тихого Океана в 2013 г были аномально теплыми и это явление получило название «Blob» [2]. Многие исследователи сконцентрировали внимание на экосистемных исследованиях залива Аляска, поскольку критические изменения в среде обитания могут изменить трофическую структуру экосистемы [3, 4]. Поскольку комплексных полигонных исследований в зимний период в этом районе никогда не проводилось, в феврале 2019 года на НИС «Профессор Кагановский» международной командой ученых были получены уникальные данные. В данной работе приведены результаты гидрологических и гидрохимических исследований в заливе Аляска в период 19.02-15.03.2019 г. Зондирование толщи вод проводилось системой SBE 25 до 1000 м, всего было сделано 60 станций, расстояние между станциями составляло 60 миль. На стандартных горизонтах были отобраны пробы для гидрохимического анализа растворенного кислорода и биогенных элементов (фосфаты, силикаты, нитриты, нитраты) по стандартным методикам [5].

Залив Аляска - один из самых крупных заливов в мире, к тому же он является открытым заливом и взаимодействует с одним из самых мощных мировых течений - Северо-Тихоокеанским (Субарктическим). Субарктическое течение формирует южную границу в заливе Аляска и северную границу переходной области (Субарктический фронт). Достигая северо-американского побережья и модифицируясь в прибрежной области, часть этого потока поворачивает в северном направлении и формирует восточную часть круговорота в заливе Аляска. Двигаясь вдоль вершины залива, это приграничное течение поворачивает в юго-западном направлении и одна его ветвь закрывает круговорот, а другая расширяется вдоль Алеутских островов (с южной стороны) формируя Аляскинское течение. Следствием такого взаимодействия является активное меандрирование течений и образующиеся вихри.

По данным о температуре и солености, полученным в экспедиции, в исследуемом районе хорошо выделялись три структуры вод: субарктические воды в центральной области, трансформированные воды залива Аляска в южной части района, сформированные водами субарктического фронта и вдольбереговым течением, и воды Аляскинского течения на севере. Трансформированные воды были подразделены на две группы из-за различий термохалинной структуры. Взаимодействие Субарктического и Аляскинского течений привело к образованию трех циклонических и одного антициклонического вихрей, повлиявших на вертикальное распределение температуры и солености. Субарктическое течение определило субарктическую структуру вод в центральной области исследуемой акватории.

Распределение температуры на поверхности характеризовалось постепенным ростом ее значений в юго-восточном направлении с 5,0 °С до 8,2 °С. В этом же направлении значения солености уменьшались с 32,63 ‰ до 32,33 ‰. Распределение температуры и солености на горизонтах 100 и 200 метров характеризовалось наличием однородных областей в зоне Субарктического течения в центре района и высокоградиентных зон по краям. Толщина верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) составила 80 - 110 метров. Глубина залегания холодного промежуточного слоя (ХПС) в водах субарктической структуры составила 200-280 метров, а теплого (ТПС) - 300-350 метров.

Изучение гидрохимических условий позволяет, с одной стороны, выявить районы повышенной продуктивности, с другой - оценить состояние экосистемы. Кроме того, они служат характеристикой различных водных масс, показателем наличия градиентных зон, динамически активных областей. По результатам гидрохимических исследований в заливе Аляска можно отметить, что на поверхностном горизонте в период проведения работ по всей акватории отмечалось зимнее предвегетационное содержание биогенных элементов. Также отмечалось близкое к 100% содержание кислорода, со слабым перенасыщением в южной части акватории, вследствие начинающегося весеннего цветения фитопланктона. На общем фоне пространственного распределения выделялись две зоны: северо-западная часть исследованного района, где на распределение гидрохимических параметров большое влияние оказывало действие циклонического круговорота Субарктического течения (с высокими абсолютными значениями растворенного кислорода и высокими предвегетационными концентрациями биогенных элементов) и юго-восточная часть, где характерно влияние субарктического фронта и берегового течения на возникновение трансформированных вод залива Аляска (с низкими абсолютными значениями растворенного кислорода и невысокими предвегетационными концентрациями биогенных элементов).

Исследования в зимний период гидрологической структуры и гидрохимических параметров в заливе Аляска показали наличие типичной для залива циркуляции и структуры. В слое ВКС на исследованной акватории содержание растворенного кислорода составляло 98-105%. Распределение биогенных элементов отражало структуру вод в заливе и показало достаточно большой предвегетационный запас.

Исследование выполнено в рамках проекта «Международный год лосося» под руководством Северо-Тихоокеанской комиссии по анадромным рыбам (NPAFC).

Список литературы

- 1) Beaulieu C., Cole H., Henson H. et al. Marine regime shifts in ocean biogeochemical models: a case study in the Gulf of Alaska // *Biogeosciences*. 2016. Vol. 13. № 15. P. 4533-4553.
- 2) Bond N.E., Cronin M.F., Freeland H., Mantua N. Causes and impacts of the 2014 warm anomaly in the NE Pacific // *Geo-phys. Res. Lett.* 2015. Vol. 42. P. 3414–3420.
- 3) Anderson P.J., Piatt J.F. Community reorganization in the Gulf of Alaska following ocean climate regime shift // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1999. Vol. 189. P. 117–123.
- 4) Yang Q., Cokelet E.D., Stabeno P.J. et al. How "The Blob" affected groundfish distributions in the Gulf of Alaska // *Fish. Oceanogr.* 2019. Vol. 28. № 4. P. 434-453.
- 5) Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового Океана, под ред. В.В. Сапожникова. М.: ВНИРО, 2003.

СОДЕРЖАНИЕ ХЛОРОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ПРИБРЕЖНЫХ МОРСКИХ АКВАТОРИЯХ КРЫМА И КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ В 2019 Г.

Малахова Л.В., Лобко В.В.

Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН, г. Севастополь

lobkoveronika@gmail.com

Ключевые слова: ДДТ, полихлорбифенилы, вода, Черное море, Азовское море.

Загрязнение морских акваторий хлороорганическими соединениями (ХОС) продолжается уже несколько десятилетий, что связано с их экстенсивным использованием в сельском хозяйстве и промышленности начиная с 40-х годов прошлого века. К ХОС относятся устаревшие хлороорганические пестициды (ХОП) и полихлорбифенилы (ПХБ), для которых характерна высокая устойчивость в условиях окружающей среды, низкая растворимость в воде, высокая - в жирах, накопление в жировых тканях организмов, увеличение концентрации по пищевой цепи. В конце 60-х годов прошлого века специалисты определили, что ХОС являются высоко токсичными соединениями для многих животных и человека [1]. Для предотвращения неблагоприятного воздействия ХОС на здоровье человека и окружающей среды в 2001 г. была принята Стокгольмская конвенция, призывающая прекратить их производство и использование.

В прибрежной акватории Крыма ХОС впервые были обнаружены в моллюсках в 70-х годах прошлого века [2]. В воде этих районов загрязненность ХОС начали изучать в 1990-х годах. Тогда впервые в поверхностных горизонтах были обнаружены ДДТ и его метаболиты, α - и γ -ГХЦГ и ПХБ в эквиваленте технической смеси Aroclor 1254. Распределение ХОС было неравномерным, области с повышенными концентрациями наблюдали в так называемых «критических зонах», к которым относятся устьевые зоны рек, районы выпусков сточных вод. И в настоящее время содержание ХОС в воде таких зон может достигать десятков нг/л [3]. По данным ОРХБ ИнБЮМ в 21 веке содержание ХОС в воде Черного моря в среднем снизилось, что свидетельствует об уменьшении поступления загрязнителей в его акваторию.

Целью работы был анализ содержания и распределения ДДТ и его метаболитов и индикаторных конгенов ПХБ в воде открытых прибрежных акваторий Крыма и Краснодарского края по данным рейсов НИС «Профессор Водяницкий» в 2019 г.

Пробы воды были отобраны в 106 и 110 рейсах НИС «Профессор Водяницкий» в весенний (апрель-май) и осенний (октябрь) сезоны 2019 г. Пробы отбирали на станциях в Черном море вдоль береговой линии от западного побережья Крымского полуострова до г. Сочи, а также в Азовском море. Определение содержания ХОС в пробах воды проводили в соответствии с методикой [4] на газовом хроматографе Хроматэк Кристалл 5000.2 с микро-ЭЗД в ЦКП «Спектрометрия и Хроматография» ФИЦ ИнБЮМ. Определяли содержание п,п'-ДДТ и его метаболитов п,п'-ДДЭ и п,п'-ДДД (результаты представлены как сумма их концентрации - Σ ДДТ), а также шести индикаторных конгенов ПХБ: 28, 52, 101, 138, 153, 180 (далее - Σ ПХБ₆), рекомендованных Международным советом по изучению моря для мониторинга загрязненности ХОС морских экосистем.

Результаты показали, что во всех исследованных районах были обнаружены ХОС. Весной 2019 г. концентрация Σ ДДТ изменялась в Черном море от 0.01 до 0.69 нг/л. В Азовском море содержание Σ ДДТ в среднем превышало таковое в Черном море в 1.5 раза, при этом диапазон концентрации Σ ДДТ составлял от 0.15 до 1.02 нг/л. Концентрация Σ ПХБ₆ превышала Σ ДДТ и варьировала в весенний сезон в черноморских районах от 0.74 до 16.68 нг/л, в азовских - от 5.85 до 34.93 нг/л, что в среднем в 2 раза превышало концентрацию в Черном море.

В Черном и Азовском морях отмечено сезонное отличие концентрации ХОС. В весенний период в среднем концентрация Σ ПХБ₆ была выше, чем осенью в 15 и 10 раз соответственно. Для Σ ДДТ

в Черном море весной значения были выше в 2 раза, чем осенью, а в Азовском море весной концентрация составила 1.17 нг/л, в осенний период ΣДДТ зафиксировано не было.

Таким образом, в весенний и осенний сезоны 2019 г. в ходе экспедиционных исследований на НИС «Профессор Водяницкий» определено содержание ХОС в воде открытых черноморских районов Краснодарского края и Крыма в Черном и Азовском морях. Отмечено повышенное содержание ХОС в воде исследованных районов весной, что, по-видимому, связано с сезонным увеличением атмосферных выпадений и склонового и речного стоков, приносящих в море дополнительное количество ХОС. При этом пространственное распределение ХОС в воде характеризовалось неравномерностью с выраженным градиентом концентрации, зависящим от мощности источников поступления ХОС в акваторию морей. Неоднократно было выявлено, что в воде и донных отложениях Черного моря в районах поступления речных стоков концентрация ХОС во много раз превышала таковую в открытых акваториях. Есть данные, что в 2003 г. в дельтовых водотоках концентрация ПХБ составляла 530 нг/л, на взморье реки Дунай - 280 нг/л, а в Днепро-Бугской устьевой области - 683 нг/л, когда в открытых районах не превышала 20 нг/л [5].

Если рассматривать морские районы как акватории, имеющие рыбохозяйственное значение, в которых ПДК ΣПХБ и ΣДДТ составляет 10 нг/л [6], то концентрация ΣПХБ₆ превысила ПДК на шельфе Крыма в весенний сезон 2019 г. в двух районах - в керченском предпроливье в Азовском море и в бухте Ласпи. По уровню содержания ΣДДТ превышения ПДК не наблюдалось.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (АААА-А18-118020890090-2).

Список литературы

- 1) Wong M.H., Armour M.A., Naidu R., Man M. Persistent toxic substances: sources, fates and effects // Review on environmental health. 2012. 27, no. 4. Pp. 207–213.
- 2) Поликарпов Г.Г., Жерко Н.В. Экологические аспекты изучения загрязнения Черного моря хлорорганическими ксенобиотиками // Экология моря. – 1996. Вып. 45. С. 92 – 100.
- 3) Егоров, В.Н., Гулин С.Б., Поповичев В.Н., Мирзоева Н.Ю.; Терещенко Н.Н., Лазоренко Г.Е., Малахова Л.В., Плотицына О.В., Малахова Т.В., Проскурнин В.Ю., Сидоров И.Г., Гулина Л.В., Стецюк А.П., Марченко Ю.Г. Биогеохимические механизмы формирования критических зон в Чёрном море в отношении загрязняющих веществ // Морской экологический журнал. - 2013. - Т. 12, № 4. С.5-26.
- 4) Методика измерений массовых концентраций хлорорганических пестицидов и полихлорированных бифенилов в пробах питьевых, природных и сточных вод методом газовой хроматографии: ПНД Ф 14.1: 2:3:4.204-04: утв. ФГБУ "Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия" 31.07.2018 г.
- 5) Ильин Ю. П., Рябинин, А. И., Шibaева, С. А., Клименко, Н. П., Мезенцева, И. В., Мальченко, Ю. А., Салтыкова, Л. В. Результаты мониторинга гидрохимического состояния и загрязнения Азовского и Черного морей в 2001–2005 гг. // Труды УкрНИГМИ. - 2006. С. 151-164
- 6) Приказ Минсельхоза РФ от 13.12.2016 n 552 "Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения" (зарегистрировано в Минюсте РФ 13.01.2017 N 45203) [Электронный ресурс]. <http://food.kodeks.ru/kodeks04/> (дата обращения 14.01.2020).

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЧЕРНОМ МОРЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В 2018 Г.

Мыслина М.А., Орехова Н.А., Вареник А.В.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

569455@mail.ru

Ключевые слова: биогенные элементы, Черное море.

Поступление, распределение и потребление питательных вещества (в основном, неорганического азота и фосфора) можно считать одним из наиболее важных факторов, определяющих функционирование любой морской экосистемы. Загрязнение Черного моря излишними биогенными элементами вызывает особую озабоченность многих ученых черноморских стран.

Для изучения особенностей распределения биогенных элементов в Черном море были использованы данные рейсов №№103-105 НИС «Профессор Водяницкий», выполнявшихся в летне-осенний период 2018 г. Основным районом гидрохимических работ являлась экономическая зона России. Химический анализ проб морской воды на содержание в них неорганических форм азота, фосфора и кремния был осуществлен стандартными методами гидрохимического анализа в ФГБУН ФИЦ Морской гидрофизический институт РАН. Анализ на содержание нитрит-ионов и ионов аммония выполнялся на борту судна, затем пробы были заморожены и доставлены в лабораторию отдела биогеохимии моря Морского гидрофизического института для анализа на содержание нитратов, фосфатов и кремния.

В результате исследований было установлено, что в поверхностном слое вод содержание нитритов не превышало 0,17 мкМ. Концентрация восстановленных неорганических форм азота (ионы аммония) была значительно выше и достигала 0,7 мкМ. Содержание суммы нитратов и нитритов изменялось от 0 до 1,7 мкМ. Концентрация фосфатов изменялась в пределах от 0 до 1 мкМ, силикатов - от 0 до 10 мкМ.

Высокие значения концентраций всех биогенных элементов наблюдались в позднеосенний период года. При этом содержание неорганического азота и фосфатов было максимальным в глубоководной части моря, что определяется процессами интенсивного вертикального перемешивания и снижением активности фитопланктона. Снижению концентраций биогенных элементов в летний период способствовало активное потребление фитопланктоном этих элементов в весенний период [1].

Максимальные значения кремния были зафиксированы в прибрежной части в районах г. Ялта и г. Новороссийск, что может быть связано с поступлением силикатов из береговых источников.

При изучении особенностей распределения биогенных элементов в Черном море отмечено увеличение содержания этих элементов от летнего периода к зимнему. Это объясняется физическо-химическими и продукционными процессами, происходящими в море.

Вертикальное распределение содержания суммы нитритов и нитратов в Черном море характеризуется увеличением концентрации в слое морской воды от $\sigma_t \sim 14,0$ кг/м³ в летний период (от $\sigma_t \sim 13,0$ кг/м³ в осенний) к максимальным величинам на $\sigma_t \sim 15,5$ кг/м³ с дальнейшим снижением в более глубоководных слоях моря. Концентрации ионов аммония в аэробной зоне не превышали 1 мкМ, однако с приближением к сероводородной зоне ($\sigma_t \sim 16,2$ кг/м³) наблюдалось резкое увеличение концентраций до 120 мкМ на глубинах ниже 1000 м. Максимум содержания фосфатов в водах Черного моря на глубине до $\sigma_t \sim 14,0$ кг/м³ составил 1,03 мкМ. В диапазоне между $\sigma_t \sim 14,0$ и 16,0 кг/м³ наблюдалось резкое увеличение концентрации неорганического фосфора до величины 16 мкМ. Вертикальное распределение концентрации силикатов характеризуется двумя диапазонами: в верхнем слое морской воды до $\sigma_t \sim 14,0$ кг/м³ содержание кремния изменялось в диапазоне от 0 до 8,7 мкМ, а затем наблюдалось его увеличение до 250 мкМ на глубине $\sigma_t \sim 16$ кг/м³ и более.

Работа выполнена в рамках гос. задания ФГБУН МГИ РАН № 0827-2020-0003 «Океанологические процессы».

Список литературы

- 1) Konovalov S.K., Murray J.W. Variations in the chemistry of the Black Sea on a time scale of decades (1960-1995) // Journal of Marine Systems. 2001. Vol. 31. P. 17-243.

ИЗОТОПНЫЕ ($\delta^{18}\text{O}$, δD) ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЧНОГО СТОКА ОБИ И ЕНИСЕЯ В КАРСКОЕ МОРЕ

Переверзев Р. А.¹, Дубинина Е.О.², Коссова С. А.²

¹Московский Государственный Университет им. М. В. Ломоносова, г. Москва

²Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии
(ИГЕМ) РАН, г. Москва

rompereverz@hotmail.com

Ключевые слова: изотопы кислорода и водорода, Карское море, река Обь, река Енисей, опреснение, континентальный сток.

Изотопный состав водорода вод в зоне перехода «река-море» позволяет установить источник и долю пресного компонента в морской воде. Целью данной работы является определение изотопного состава водорода пресных вод, поступающих в Карское море из рек Обь и Енисей и количественная оценка содержания данных вод в зоне перехода река-море. Количественные оценки направления, дальности и глубины распространения речных вод в Карском море имеют большое значение, поскольку речные воды являются потенциальным источником радиоактивных и техногенных загрязнений [1,2].

Материал для изотопных исследований отобран в 66-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш» в Карское море и море Лаптевых (13 июля - 21 августа 2016 г.). Пробы для данной работы были отобраны вдоль двух разрезов (профилей), расположенных с юга на север от эстуария рек Оби и Енисея (71° с.ш.), до 76° с.ш. Вдоль «Обского профиля» пробы были отобраны на 15 станциях, вдоль «Енисейского профиля» - на 13 станциях.

Изотопный анализ водорода был проведен методом DI IRMS (Dual Inlet Isotope Ratio Mass Spectrometry) с использованием масс-спектрометра DELTAplus (Thermo, Finnigan). Величины δD водных образцов были прокалиброваны в шкале «V-SMOW» с использованием внутренних стандартов и образцов сравнения МАГАТЭ (ОН-13 - ОН-16). Точность определения величин δD составляет $\pm 0.3\%$.

Процессы смешения морских и речных вод традиционно рассматриваются в координатах «изотопный состав-соленость». В качестве «морского» компонента был принят состав неопресненных вод Баренцева моря, имеющих соленость 34.95% и $\delta\text{D}=1,55\%$ поскольку они являются основным источником морских вод в Карском море [1].

Экстраполяцией величин δD на нулевую соленость был определен усредненный изотопный состав водорода речного стока Оби и Енисея, $\delta\text{D} = -148 \%$ и $-115,5 \%$ соответственно. Для экстраполяции использовались результаты, которые наиболее точно аппроксимируются линейной функцией смешения.

Величины δD , установленные для вод Енисея, расположенных после выхода из залива, по-видимому, изменены под влиянием речного стока Оби.

Аналогичные построения для вод Обского и Енисейского профилей были проведены для изотопно-кислородной системы. Исходя из того, что изотопный состав кислорода «морского» происхождения соответствует неопресненным водам Баренцева моря ($\delta^{18}\text{O} = 0,28 \%$, [1]), были установлены усредненные изотопные параметры ($\delta^{18}\text{O}$; δD) кислорода речного стока Оби и Енисея. Экстраполяция данных на нулевую соленость дает величины $\delta^{18}\text{O} = -15,45 \%$ и $-19,8$ соответственно.

Количественная оценка содержания речных вод в изученных образцах из Обского и Енисейского профилей была проведена по уравнению материального баланса:

$$\delta_{обр.} = x\delta_{р.в.} + (1-x)\delta_{м.в.},$$

где $\delta_{обр.}$, $\delta_{р.в.}$ и $\delta_{м.в.}$ - изотопный состав водорода измеренного образца, речной воды и морского компонента соответственно.

Проведенные расчеты показывают, что поверхностный слой (от 0 до 10 м) Карского моря содержит более чем 50% пресных вод речного происхождения даже на расстоянии более чем 400 км от устьев рек. Эти воды с низкой соленостью резко обособлены от соленых морских вод, поступающих в Карское море из Баренцева моря на придонных горизонтах. Следует учитывать, что придонные воды также опреснены достаточно сильно и содержат до 10% речной воды.

Таким образом, анализ данных об изотопном составе кислорода и водорода вод Карского моря отобранных на Обском и Енисейском профилях позволил сделать следующие выводы:

- Установлены усредненные изотопные параметры ($\delta^{18}\text{O}$; δD) речного стока Оби ($\delta\text{D} = -148\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O} = -15,45\text{‰}$) и Енисея ($\delta\text{D} = -115,5\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O} = -19,8\text{‰}$) соответственно.
- Определено содержание пресных речных вод в водах изученных профилей, установлен характер стратификации вод и динамики влияния стока рек Оби и Енисея с удалением от устья.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ, проект 18-05-00740.

Список литературы

- 1) Дубинина Е. О., Коссова С. А., Мирошников А. Ю., Кокрятская Н. М. Изотопная (δD , $\delta^{18}\text{O}$) систематика вод морей арктического сектора России. Геохимия, 2017, № 11, с. 1041–1052.
- 2) Дубинина Е.О., Коссова С.А., Мирошников А.Ю., Фяйзуллина Р.В. Изотопные (δD , $\delta^{18}\text{O}$) параметры и источники опресненных вод Карского моря. Океанология, 2017, том 57, № 1, с. 38-4

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СТОКА РЕК АБХАЗИИ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПРИБРЕЖНУЮ СТРУКТУРУ ВОД

Полухин А.А.¹, Заговенкова А.Д.^{1,2}, Хлебобашев П.В.¹, Осадчиев А.А.¹

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

aleanapol@gmail.com

Ключевые слова: Черное море, речной сток, зона смешения, биогенные элементы, карбонатная система.

Абхазия занимает всего 5% от общей длины черноморской береговой линии, в то время как материковый сток с территории Абхазии составляет 8-10% суммарного пресноводного стока в Черное море или около 30 км³ в год [1]. Большая же часть общего материкового стока с территории Абхазии поступает в Черное море из более чем 30-ти малых рек, чьи водосборные бассейны расположены в многочисленных ущельях южной части Главного Кавказского хребта и по площади не превышают 500 км². Таким образом, роль пресноводного стока в формировании гидрологической структуры и динамических процессов в прибрежной зоне моря в этом регионе существенно выше, чем в среднем в Черном море. Кроме того, велика роль стока малых рек Черного моря в изменчивости гидрохимической структуры прибрежных вод [2].

В апреле 2019 г. экспедиция ИОРАН под руководством к.ф.-м.н. Осадчиева А.А. проводила исследования в прибрежной зоне республики Абхазия. Работа группы гидрохимии заключалась в изучение химического состава (биогенные элементы, параметры карбонатной системы) рек абхазского побережья Черного моря, а также в зоне смешения морских вод с водами р. Кодор. Основные задачи исследования - получить представление о химическом составе вод некоторых рек Абхазии в нижнем течении, а также исследовать химический состав плюма р. Кодор. Отбор проб проводился в 19 точках (поверхностный слой) в море. Пробы речной воды были отобраны в нижнем течении рек Кодор, Келасури, Моква и Галидзга. Для Келасури отбор проводился в двух местах: недалеко от устья и выше по течению, для остальных рек - на расстоянии порядка 2 км от устья. Отбор проб в море проводился с поверхность пластиковым ведром, из рек - непосредственно в пластиковую посуду для отбора. Сразу после отбора пробу переливали в посуду для хранения проб по ГОСТ 17.1.5.04-81, в зависимости от определяемого компонента. Определения в пробах гидрохимических параметров (биогенные элементы (фосфаты, силикаты, нитраты, нитриты и аммонийный азот), показатель рН, общая щелочность) проводились не позднее, чем через 24 ч после отбора в соответствии с принятыми в ИОРАН методиками гидрохимических определений [3].

Проведенные исследования химического состава речных вод выявили существенные различия. Так, рН рек Келасури и Кодор сильно отличается (на ~0.15 ед.) от рН Моквы и Галидзги. Также они отличаются и по параметру общей щелочности, которая характеризует количество карбонатных солей. В водах Келасури и Кодора щелочность не превышает 1300 μM , тогда как в двух других реках она составляет порядка 1700 μM . По содержанию растворенных силикатов реки почти не отличаются, концентрации в речных водах достаточно высокие (превышают 100 μM). Вода р. Кодор сильно отличается высокой концентрацией фосфатов (1.35 μM), в остальных реках этот параметр на низком уровне. По содержанию нитратов Келасури и Кодор также сильно отличаются от Моквы и Галидзги. В первых двух содержание нитратов находится на уровне 16 μM , в то время как в воде р. Галидзга - 31 μM , а в р. Моква - 45 μM .

Далее приведен анализ распределения химических параметров на разрезе через плюм р. Кодор. Разрез состоял из 13 точек отбора из поверхностного слоя, от устья р. Кодор через плюм в открытую часть моря. Температура по разрезу изменялась от 9 °С в устье р. Кодор до 10.2 °С в центральной части разреза и затем падала до 9.8 °С в мористой части. Соленость вдоль разреза

росла от устья р. Кодор (0 ‰) до мористой части, где наблюдалось 18 ‰. Содержание фосфора на разрезе изменялось от аналитического 0 до 1.35 μM . Максимум фосфатов отмечается в воде р. Кодор, в плюме содержание фосфатов близко к нулю, локальный максимум (1 μM) отмечен на станции 13. Содержание силикатов на разрезе изменяется от 130 μM в речной воде до 8 μM в мористой части на последней станции разреза. Распределение кремния от устья в море консервативно, то есть уменьшается от источника в открытую часть моря. Между станциями 3 и 8, также, как и в случае со щелочностью, наблюдается градиентная зона, где происходит резкое уменьшение содержания силикатов (в 2 раза, с 60 до 30 μM). После границы речного плюма содержание силикатов падает до 20 μM и уменьшается в сторону открытого моря до 8 μM .

На основании полученных результатов можно сделать общий вывод, что р. Кодор вносит существенный вклад в вариативность химических параметров в прибрежной зоне абхазского шельфа. Вода р. Кодор на момент проведения исследования содержит в себе высокие концентрации биогенных элементов, что дает возможность для активного развития фитопланктонного сообщества, невысокое содержание аммонийного азота при достаточно высоких значениях рН указывает на процесс интенсивного продуцирования органического вещества. Интересным результатом является обнаружение факта, что воды исследованных рек (Келасури, Кодор, Моква, Галидзга) существенно отличаются по своему химическому составу, несмотря на относительную близость друг к другу и общий источник питания (ледники Кавказских гор). В общих чертах отмечается, что Кодор и Келасури, находящаяся севернее, по карбонатным параметрам отличаются от рек Моква и Галидзга, находящихся южнее Кодора. Также существенное отличие (более чем в 2 раза) в содержании нитратного азота. Можно предположить, что реки Моква и Галидзга, вымывают азот из почвы бассейна своего водосбора. Наличие сельскохозяйственной деятельности (например, выращивание винограда или иных культур, где применяют азотные удобрения) может служить объяснением высокого содержания азота в реках южнее р. Кодор.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда, проект 18-17-00156 (исследование речных плюмов).

Список литературы

- 1) Джаошвили Ш. Реки Черного моря // Европейское агентство по охране окружающей среды. Технический отчет №71. 2002. 58 с. Режим доступа: http://www.eea.europa.eu/ru/publications/technical_report_2002_71/at_download/file
- 2) Завьялов П.О., Маккавеев П.Н., Коновалов Б.В. и др. Гидрофизические и гидрохимические характеристики морских акваторий у устьев малых рек российского побережья Черного моря // Океанология. 2014. Т. 54. № 3. С. 293–308.
- 3) Современные методы гидрохимических исследований океана // Ред. О.К. Бордовский, В.Н. Иваненков. М.: АН СССР. Ин-т Океанологии. 1992. 200 с.

ОСОБЕННОСТИ АСИДИФИКАЦИИ ВОД МОРЕЙ АРКТИКИ И АНТАРКТИКИ

Полухин А.А.¹, Тищенко П.П.², Медведев Е.В.³, Пронина Ю.О.⁴, Фрей Д.И.¹

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

²Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток

³Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

⁴Российский химико-технологический университет им. Д.М. Менделеева, г. Москва

aleanapol@gmail.com

Ключевые слова: асидификация, углекислый газ, изменение климата, Арктика, море Уэдделла.

Карбонатная система океана представляет собой один из самых сложных комплексов природных равновесий. Важными параметрами карбонатной системы, напрямую влияющими на состояние морских экосистем (прежде всего на морские организмы-кальцификаторы, которые строят свой наружный скелетный материал из карбоната кальция), являются водородный показатель рН и насыщение вод арагонитом [1]. Увеличение концентрации диоксида углерода в морской воде приводит к снижению значения рН, что в свою очередь повышает растворимость карбоната кальция и может привести к снижению уровня насыщения вод арагонитом (Ω_{Ar}). Изменчивость параметров карбонатной системы зависит от множества взаимосвязанных факторов: температуры, солености, парциального давления, растворенного CO_2 и его концентрации в атмосфере, объема материкового стока и ряда других [1]. В целом полярные (арктические и антарктические) моря подвержены куда большему влиянию последствий климатических изменений [2], чем любые другие районы мирового океана.

Материалы, ставшие основой настоящего исследования, получены в экспедициях ИОРАН в арктические моря России (Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское) в период с 2011 по 2019 гг., а также в акваторию моря Уэдделла (бассейн Пауэлла) в январе-феврале 2020 г. Данные о температуре и солености вод исследуемых морей получены с помощью прецизионного STD-зонда SBE911+ (США). Отбор проб производился из кассеты 5-ти литровых пластиковых ба-тометров с горизонтов, определяемых, исходя из структуры вод в точке отбора. Для изучения процесса асидификации в пробах воды производился анализ водородного показателя рН и общей титруемой щелочности. Измерения рН осуществлялись по методике, разработанной в ТОИ [3], общей щелочности - по общепринятой методике Бруевича [4], титрование проводилось бюреткой Brinkman/Dosimat-665. Детальный расчет параметров карбонатной системы морской воды, включая концентрации гидрокарбонат и карбонат ионов, а также насыщения вод кальцитом и арагонитом, описан в работе [5].

Проведенные исследования в арктических морях России показали [6], что шельфовые арктические моря сильно отличаются друг от друга по насыщению вод арагонитом. Так, воды Восточно-Сибирского моря сильно недонасыщены арагонитом от поверхности до дна в его мелководной части, а для акватории моря Лаптевых, находящейся под воздействие стока р. Лена, горизонт 100% насыщения арагонитом находится на глубине 20 м в летне-осенний период. Асидификация вод Карского моря наиболее ярко выражена в зоне влияния стоков рек Обь и Енисей, и в целом насыщение арагонитом в поверхностных водах Карского моря снижается с начала 2000-х годов [6]. Многолетние исследования толщи вод к северу от устья Обской губы показывают, что она недонасыщена по отношению к арагониту. С другой стороны исследования, проведенные в районе глубоководного желоба Св. Анны в Карском море, не выявили развития процесса асидификации вод этой акватории, несмотря на сокращение площади акватории, покрытой льдом, и предполагаемое увеличение потока углекислого газа из атмосферы. Новые данные, полученные в 79 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в море Уэдделла дали представление о распределении насыщения вод арагонитом в бассейне Пауэлла. Так, на станциях в относительно неглубокой части

моря (глубины до 1000 м) мы наблюдаем 100% насыщение вод арагонитом лишь в придонном слое. На глубоководных станциях (глубины более 2000 м) горизонт 100 % насыщения арагонитом в среднем располагается на глубине 1500 м. Измеренное парциальное давление углекислого газа в поверхностном слое вод (среднее значение 400 $\mu\text{атм}$) и придном слое атмосферы (415-417 $\mu\text{атм}$) дают возможность судить о направленности потоков углекислого газа из атмосферы в океан.

Исходя из выделенных в отчете АМАР [1] факторов, основными процессами, влияющими на асидификацию морей российского арктического шельфа, являются увеличивающийся речной сток, а также его меняющийся химический состав. Тающая вечная мерзлота, за счет захороненного в ней органического углерода, способна существенно изменять карбонатное равновесие вод арктических морей. В акваториях, свободных от воздействия материкового стока, важным фактором является поток углекислого газа из атмосферы в океан. Ввиду увеличивающейся продолжительности безледного периода, роль этого фактора может заметно вырасти. Для бассейна Пауэлла преобладающей в процессе асидификации его вод остается поток углекислого газа, предположительно направленный из атмосферы. Поверхностный слой морей Южного океана может стать недонасыщенным по отношению к арагониту уже к концу 21 века. Основной причиной является увеличивающееся в атмосфере содержание CO_2 . Это может вызвать негативные последствия для антарктической экосистемы. Полученные нами данные позволят более подробно изучить процесс асидификации вод моря Уэдделла и возможные последствия этих изменений.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (проект № 18-35-00009) и гранта Президента Российской Федерации №МК-860.2020.5.

Список литературы

- 1) АМАР. АМАР Assessment 2013: Arctic Ocean Acidification. Arctic Monitoring and Assessment Programme (АМАР). Oslo, Norway, 2013. 99 p.
- 2) Fabry V.J., McClintock J.B., Mathis J.T. et al. Ocean acidification at high latitudes: the bellwether // *Oceanography*. 2009. Vol. 22. №. 4. P. 160-171.
- 3) Тищенко П.Я., Вонг Чи Ши, Павлова Г.Ю. и др. Измерение рН морской воды с помощью ячейки безжидкостного соединения // *Океанология*. 2001. Т. 41. № 6. С. 849-859.
- 4) Современные методы гидрохимических исследований океана // Ред. О.К. Бордовский, В.Н. Иваненков. М.: АН СССР. Ин-т Океанологии, 1992. 200 с.
- 5) DOE. Handbook of methods for the analysis of the various parameters of the carbon dioxide system in sea water; version 2, A.G. Dickson and C. Goyet, eds. 1994. ORNL/CDIAC-74.
- 6) Polukhin A. The role of river runoff in the Kara Sea surface layer acidification and carbonate system changes // *Environmental Research Letters*. 2019. Vol.14. №10. P.105007.

МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЧНОГО СТОКА ОБИ И ЕНИСЕЯ

Пронина Ю.О.¹, Полухин А.А.²

¹Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва

²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

jpronina2013@yandex.ru

Ключевые слова: речной сток, гидрохимия, изменение климата, асидификация, Карское море, Обь, Енисей, биогенные элементы.

Речной сток Оби и Енисея, объем которого достигает порядка 40% от всего речного стока в Арктический бассейн, оказывает существенное влияние на формирование гидрохимической структуры вод Карского моря [1] и, согласно некоторым исследованиям, процесс асидификации (понижения величины рН) его вод [2]. Наряду с этим, наблюдается увеличение стока арктических рек и повышение концентрации в них органического вещества, ранее захороненного в мерзлоте [2]. Уровень первичной продукции (ПП), в особенности в приустьевых районах морей, зависит от баланса биогенных элементов, основы для построения нового органического вещества. Увеличение объема первичной продукции может несколько смягчать процесс асидификации поверхностного слоя морских вод за счет увеличения поглощения растворенного CO₂ в процессе фотосинтеза [3], тогда как рост стока, через поступление с ним растворенных и взвешенных форм углерода, может усиливать понижение рН морских вод [4].

Основной задачей данного исследования является анализ многолетней динамики гидрохимических параметров стока рек Обь и Енисей. На основе имеющихся данных (содержание биогенных элементов, величины рН и карбонатной щелочности A_c) за 2003-2006 и 2010-2017 гг. проекта Arctic Great Rivers Observatory (A-GRO) [5], была проведена оценка среднегодовой изменчивости химических параметров стока рек Обь и Енисей. Пробы отбирались ежегодно с января по декабрь, 5-7 раз в год (за исключением 2003 и 2006 гг., когда отбор проводился 1-2 раза в год). С 2003 по 2012 гг. большая часть проб отбиралась в период половодья (май -август), начиная с 2013 г. пробы отбирались каждые два месяца (2/3 проб были отобраны в период межени). Анализ данных выполнен с помощью программы Grapher13.

Для обеих рек отмечается рост среднегодовых концентраций растворенных форм азота, при этом, по сравнению с водами Енисея, концентрации азота в обских водах значительно выше. Среднегодовое содержание растворенного нитратного азота (NO₃) в водах Оби варьировалось от 49,0 до 217,8 мкг N/л, аммонийного азота (NH₄) - от 36,0 до 202,3 мкг N/л, общего растворенного азота (TDN) - от 0,380 до 0,638 мг N/л. В водах р. Енисей за тот же промежуток времени содержание нитратного азота отмечено в диапазоне от 2,8 до 103,0 мкг N/л, NH₄ - от аналитического нуля до 52,0 мкг N/л, TDN - от 0,180 до 0,394 мг N/л.

За рассмотренный интервал времени среднегодовое содержание растворенного неорганического фосфора (фосфатов) незначительно снижалось в обских водах, для менее богатых биогенными элементами енисейских вод существенной динамики этого параметра не наблюдалось. Концентрация общего растворенного фосфора (TDP) растет в водах р. Обь, но при этом снижается в Енисее. Увеличение объемов стока неорганического кремния (SiO₂) отмечено для обеих рек. С водами Оби вынос фосфатов составил от 13,0 до 29,8 мкг P/л, TDP - от 18,1 до 68,5 мкг P/л, SiO₂ в пределах от 3,9 до 9,5 мг SiO₂/л. В стоке Енисея концентрация фосфатов менялась в пределах 4,6 от 10,3 мкг P/л, валового фосфора - от 6,3 до 16,1 мкг P/л, кремния - от 5,22 до 6,25 мг SiO₂/л.

Среднегодовые концентрации растворенных (DOC) и взвешенных (POC) форм органического углерода несколько снижаются в водах обеих рек. С водами Оби вынос растворенного органического углерода составлял от 7,4 до 12,0 мг C/л, взвешенного органического углерода - от 0,97 до

2,14 мг С/л. В стоке Енисея среднегодовые значения концентраций DOC менялись в пределах от 4,0 до 9,2 мг С/л, РОС - от 0,10 до 0,59 мг С/л.

Среднегодовые значения водородного показателя (величины рН) обских вод составляли от 7,3 до 7,9, карбонатной щелочности - от 44,9 до 88,6 мг СаСО₃/л. В стоке Енисея значения рН были выше - от 7,6 до 8,0, А_с - от 32,3 до 65,2 мг СаСО₃/л. Можно отметить рост средних значений показателей рН и карбонатной щелочности в стоке обеих рек, что может быть вызвано изменением режима стока (увеличением доли зимней межени в годовом стоке).

Наблюдаемые изменения концентраций растворенных форм азота, а также параметров карбонатной системы (рН, содержание карбонат и бикарбонат ионов) в речном стоке позволяют предположить наличие некоторого смягчающего эффекта на процесс асидификации вод Карского моря. Однако, при расчете среднегодовых значений показателя рН мы располагали данными лишь за 2003-2006 и 2009-2011 гг., поэтому говорить об устойчивой тенденции к росту данного параметра преждевременно.

Рост среднегодовых концентраций валового фосфора в реке Обь при снижении концентраций минерального фосфора дает право предположить, что увеличивается доля органических соединений фосфора. Запасы фосфора и азота могут быть лимитирующими факторами фотосинтетической активности фитопланктона и определять первичную продукцию в Карском море [6]. Снижение доли минеральных соединений фосфора в стоке Оби может повлиять на продукционные процессы в шельфовой зоне Карского моря, тем самым усиливая процесс асидификации его прибрежных районов.

Изменчивость каждого из рассматриваемых гидрохимических параметров речного стока может оказывать различные по степени и направленности влияния на формирование гидрохимической структуры вод приэстуарных районов Обской губы и Енисейского залива Карского моря. Это происходит за счет увеличения содержания биогенных элементов в приэстуарных районах, а также за счет увеличения поступления растворенных форм углерода со стоком речных вод [2]. Оценка динамики химического стока рек сложная задача. Для высокоширотных рек очень велика межгодовая изменчивость характеристик стока (как водного, так и химического). Для дальнейшего анализа изменений стока рек и их влияния на экологическую обстановку в Карском море требуются дополнительные исследования.

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) 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.
- 3) Bates N. R. et al. Summertime calcium carbonate undersaturation in shelf waters of the western Arctic Ocean how biological processes exacerbate the impact of ocean acidification // *Biogeosciences*. – 2013. – Т. 10. – №. 8. – С. 5281.
- 4) Drake T. W. et al. Increasing alkalinity export from large Russian arctic rivers // *Environmental science & technology*. – 2018. – Т. 52. – №. 15. – С. 8302-8308.
- 5) Проект Arctic Great Rivers Observatory (A-GRO) [электронный ресурс] // Woods Hole Research Center. – Режим доступа: <https://arcticgreatrivers.org/data/>
- 6) Демидов А. Б. Первичная продукция Карского моря: особенности формирования, оценка и долговременная изменчивость : дис. – 2018.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ В ЗОНЕ СМЕШЕНИЯ РЕКА-МОРЕ

Реджепова З. Ю., Немировская И.А.

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

rejeпова@yandex.ru

Ключевые слова: углеводороды, взвесь, донные осадки, барьер река-море, Арктика, Карское море, море Лаптевых, Восточно-Сибирское море.

Окраинные арктические моря, такие как Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское, находятся под влиянием большого объема речного стока. На геохимическом барьере река-море изменяется поведение всех присутствующих в водной толще соединений, резко возрастают пространственные градиенты основных термодинамических характеристик по сравнению с их фоновым распределением [1, 2], в том числе углеводородов (УВ).

Представлены результаты исследования алифатических углеводородов во взвеси поверхностного слоя воды и в донных осадках на разрезах река-море (Карского, Лаптевых и Восточно-Сибирского морей). Цель исследования - изучение происхождения и трансформации УВ в геохимической зоне смешения река-море, а также их межгодовая изменчивость. Материалом послужили пробы, отобранные в рейсах НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 2016 и 2017 гг.

Определение проводили методами, принятыми при анализе нефтяных и природных соединений: УВ - методом ИК-спектрофотометрии, $C_{орг}$ - сухого сжжения, взвесь - гравиметрически, состав взвеси - с помощью сканирующего электронного микроскопа, хлорофилла а (хл а) - флуориметрическим методом [2].

На изученных разрезах с увеличением солености наблюдалась общая тенденция уменьшения содержания органических веществ (ОВ), взвеси, УВ. Потери в концентрациях превышали в отдельных случаях 90% от выноса УВ рекой. В пелагиале содержание УВ близко к фоновому (менее 10 мкг/л), а в устьевых областях - значительно выше. Среднее содержание УВ в пересчете на мг взвеси уменьшалось в устьевых областях в последовательности (мкг/мг): устье Оби (86.5; 2017 г., 9.26; 2016 г.) - Лена (27,6; 2015 г.) - Енисей (25.9; 2016 г., 30.6; 2011 г) - Индигирка (22.5; 2017) - Хатанга (6.4; 2017) - Колыма (4.6; 2017). В речных водах Оби, Хатанги и Индигирки содержание УВ превышает ПДК для нефтяных УВ - 50 мкг/л. В устье Оби при максимальной концентрации УВ, их содержание достигло 86 мкг/мг взвеси, а состав алканов был нефтяным. В устье р. Хатанги влияние хозяйственной деятельности минимально [3]. Высокое содержание взвеси; связанное с особенностями рельефа эстуария и влиянием приливно-отливных процессов. В пересчете на сухую взвесь концентрация УВ составила здесь всего 6.4 мкг/мг, а в составе алканов преобладали природные терригенные гомологи. Наиболее низкое содержания УВ во взвеси и осадках на речных разрезах были установлены в Восточно-сибирских реках (Индигирка, Колыма), что связано с наименьшим их вовлечением в хозяйственную деятельность и меньшим стоком. Кроме того разрезы начинались на взморье рек при солености 14.8 и 17 psu соответственно.

В донных отложениях максимальные концентрации УВ были приурочены к пелиту в устьевом взморье р. Индигирка (55.5 мкг/г, 2017 г.) и алевро-пелитовому илу на разрезе р. Обь 43.6 мкг/г (2017 г.). При этом доля УВ в составе $C_{орг}$ < 0.1 %. В морских донных осадках фоновые концентрации УВ обычно ниже 50 мкг/г в илистых и 10 мкг/г в песчанистых, а их доля в составе $C_{орг}$ ≤ 1% [2]. Следовательно, содержание нефтяных УВ в донных осадках минимально.

Концентрирование УВ в донных осадках, как и в поверхностных водах, происходило в области смешения речных вод с морскими. Распределение ОВ в большей степени, по сравнению с УВ, зависит от гранулометрического типа осадка, так как наблюдается прочная связь между содержанием $C_{орг}$ с влажностью осадков.

В процессе седиментации количество автохтонных алканов уменьшается, т.к. они больше подвержены биологическому разложению. Поэтому в осадках преобладают, как правило, более устойчивые аллохтонные алканы, связанные с наземной растительностью (доминировала серия нечетных гомологов C₂₅-C₃₁ [2, 4]).

Таким образом, общим для всех рассмотренных разрезов при смешивании речных вод с морскими, является резкое уменьшение концентраций ОБ в поверхностных водах в узкой прибрежной полосе. Распределение УВ зависит от различных факторов: антропогенной нагрузки на водосборный бассейн, биологической продуктивности района, характера ландшафта и почв, зарегулированность стока реки, сезона исследования и количества выносимой рекой взвеси, направления ветра. Геохимический барьер река-море выступает в качестве фильтра, который предотвращает попадание в открытые морские воды терригенных частиц взвеси и связанных с ними загрязнений. Уменьшение продуктивности вод с западных арктических морей к восточным сказывается и на концентрациях УВ. Поэтому минимальное их содержание установлено в поверхностных водах Восточно-Сибирского моря (2-3 мкг/л). Изменение в последние годы ледовой обстановки в прибрежных водах привело к уменьшению фоновых концентраций УВ, которые в сентябре 2000 г. колебались в интервале 14-20 мкг/л [2], а в 2017 г. в интервале 3-10 мкг/л.

Результаты исследований получены в рамках государственного задания (тема № 0149-2019-0016), обобщение результатов и подготовка к публикации – при поддержке РНФ (проект 19-05-00356).

Список литературы

- 1) Лисицын А.П. Современные представления об осадкообразовании в океанах и морях. Океан как природный самописец взаимодействия геосфер земли. Мировой океан Т.2. М.: Науч. мир, 2014. С. 331–571.
- 2) Немировская И.А., Реджепова З.Ю. Поведение углеводородов в устьевых зонах арктических рек // Геохимия. 2018, № 8. С. 791–804.
- 3) AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme). Persistent organic pollution in the Arctic. Oslo: AMAP, 2007. Chapter 4. 87 p.
- 4) Yunker M. B., Macdonald R.W., Snowdon R.L, Fowler B. R., Alkane and PAH biomarkers as tracers of terrigenous organic carbon in Arctic Ocean sediments // Organic Geochemistry. 2011. V.42. P.1109–1146.

РЕЖИМНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСТВОРЕННОГО КИСЛОРОДА В ГЛУБОКОВОДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ЗИМНЕЙ КОНВЕКЦИИ (ПО ДАННЫМ БУЕВ БИО АРГО)

Свищев С.В.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

sergsvishchev09@gmail.com

Ключевые слова: буи Био-Арго, зимняя конвекция, растворенный кислород, Черное море.

Одним из наиболее важных гидрохимических показателей является содержание растворенного в воде кислорода. Концентрация растворенного кислорода и степень насыщения вод кислородом характеризуют состояние акваэкосистемы, комфортность существования биологических сообществ, интенсивность протекания в ней основных биологических и биохимических процессов, стабильность гидрохимического режима. Сезонные изменения распределения кислорода в воде являются результатом двух групп процессов: физических (изменения интенсивности конвекционного и ветрового перемешивания вод, а также сезонных изменений термогалинного режима и соответствующего изменения растворимости кислорода) и химико-биологических (продукции кислорода в результате фотосинтеза, потребления кислорода на окисление органического вещества и дыхание гидробионтов).

До недавнего времени количественные оценки вклада зимней конвекции в баланс растворенного кислорода Черного моря были весьма разрозненными и неточными в силу малого количества данных наблюдений в зимний период и их низкого вертикального разрешения. Однако современные методы измерений, в частности контактные данные буев Био-Арго о концентрации растворенного кислорода с высоким вертикальным разрешением (1 метр), накопленные за последние пять лет [1], позволяют значительно повысить качество подобных оценок.

Для анализа особенностей режима растворенного кислорода, связанных с интенсивностью зимней конвекции был проанализирован массив профилей температуры, солености и концентрации растворенного кислорода, полученных 10 буями Био-Арго в верхнем 200 м слое вод глубоководной части Черного моря, ограниченной изобатой 1500 м, за период с ноября 2013 г. - по ноябрь 2018 г. Данный район выбран как обладающий достаточной горизонтальной однородностью в силу своей удаленности от влияния берегового стока и антропогенной деятельности, что позволяет сравнивать вертикальные профили растворенного кислорода не учитывая неоднородность их пространственного расположения. Помимо этого, несмотря на значительное общее количество имеющихся наблюдений содержания растворенного кислорода в Черном море, рассматриваемая центральная часть обеспечена данными значительно хуже прибрежных районов, в основном лишь по «вековым» разрезам [2, 3].

Проведена статистическая и экспертная оценка качества контактных измерений буев Био-Арго, в том числе по стандартным океанографическим тестам [4]. Выполнен статистический анализ гидролого-гидрохимических параметров по горизонтам глубины и условной плотности, для построения сезонных и межгодовых вертикальных профилей среднемесячного содержания растворенного кислорода в глубоководной части Черного моря с высоким разрешением.

Наибольший вклад в кислородозапас Черного моря вносит верхний слой вод, по своему положению совпадающий с квазиоднородным слоем и содержащий воды, с концентрациями кислорода, близкими к величинам его растворимости. Тонкая структура распределения кислорода в этом слое в значительной степени зависит от протекания процессов фотосинтеза, дыхания организмов, окисления органического вещества, а также интенсивности прогрева и охлаждения вод и скорости обмена с атмосферой и соседними слоями.

Для поверхностных вод глубоководной части Черного моря характерен сезонный ход содержания кислорода с максимумом в зимний период и минимумом в летний период, что определяется преимущественно зависимостью растворимости кислорода от температуры. При этом степень насыщения вод кислородом остается близкой к 100% в течение всего года [5]. Однако зимняя конвекция и интенсивное ветровое перемешивание приводят к вовлечению холодных поверхностных вод с высоким содержанием растворенного кислорода в нижележащий холодный промежуточный слой.

Для оценки режимных характеристик растворенного кислорода, обусловленных интенсивностью зимней конвекции произведен расчёт корреляционной связи между концентрациями кислорода для различных изопикнических поверхностей поверхностного и холодного промежуточного слоев в летний период и значениями зимней минимальной температуры поверхности моря (ТПМ), выступающими индикатором суровости зимы и интенсивности вертикального перемешивания.

Установлено, что значимые величины коэффициентов обратной корреляции между концентрацией кислорода в теплый период и температурой поверхностного слоя вод в зимний период приходятся на горизонты 13.8 - 14.4 условной плотности, что соответствует условной границе раздела нижней части верхнего сезонного термоклина и верхней части холодного промежуточного слоя.

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) Архив Ifremer (Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer): [site]. URL: <ftp://ftp.ifremer.fr> (дата обращения: 20.06.2019).
- 2) Иванов В.А., Белокопытов В.Н. Океанография Черного моря. Севастополь: ЭКОСИ Гидрофизика, 2011. 212 с.
- 3) Свищев С.В. Оценка качества данных по кислороду в Черном море за период 1923 – 2007 гг. // Системы контроля окружающей среды. НПЦ "ЭКОСИ-Гидрофизика" Севастополь, 2011. Т. 15. С. 208–212.
- 4) Manual of quality control procedures for validation of oceanographic data // UNESCO Manuals and Guides. – 1993. – № 26. – 436 pp.
- 5) Коновалов С.К., Видничук А.В., Орехова Н.А. Пространственно-временные характеристики гидрохимической структуры вод глубоководной части Черного моря // монография «Система Черного моря». Раздел 2.1. – Москва: Научный мир, 2018. – 808 с. DOI: 10.29006/978-5-91522-473-4.2018.106.

СУЛЬФАТ – ХЛОРНОЕ ОТНОШЕНИЕ В ВОДЕ ЧЕРНОГО МОРЯ КАК ОТРАЖЕНИЕ ПРОЦЕССА СУЛЬФАТРЕДУКЦИИ

Семилова Л.С.^{1,2}, Дубинин А.В.¹, Римская-Корсакова М.Н.¹

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

²Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва

semilova.luybov@mail.ru

Ключевые слова: сероводород, сульфат, сульфатредукция, соленость, хлорность.

Черное море - крупнейший сероводородный бассейн на Земле. Причина появления сероводорода на глубинах более 90 - 240 м - плотностная стратификация водной толщи, вызванная различием в солености. Источником сероводорода является процесс редукции сульфата морской воды. В связи с расходом сульфата в водной толще меняется его концентрация и сульфат - хлорное отношение, которое для океанских вод близко к величине 0.1400. Плотностная стратификация Черного моря ограничивает скорость водообмена, что на основании изучения распределения сульфата и сульфат - хлорного отношения поможет выяснить положение в водной толще основных мест редукции сульфата по его убыли и окисления сероводорода по накоплению сульфата. Цель данной работы - изучение распределения сульфата и сульфат - хлорного отношения на верхней границе анаэробных вод до глубины 600 м в северо - восточной части Черного моря. Исследование является актуальным, так как данные по концентрации сульфата были получены еще в 50 - х годах прошлого столетия и были определены относительно глубины водной толщи, а не от солености. Это не позволяет оценить локальный дефицит сульфата в водной толще от изменения солености и хлорности.

Материалом для исследования послужили пробы морской воды, отобранные с помощью комплекса "Rosette", оснащенного шестью 4 - литровыми пластиковыми батометрами. Гидрофизические измерения выполнялись зондом «Sea Bird 19+» фирмы Sea - Bird Electronics, Inc. Отбор проб морской воды проводился в Черном море на станции с координатами 44.489° с.ш. и 37.869° в.д в 7 милях от Голубой бухты (г. Геленджик) на НИС "Ашамба" в июле 2018 и 2019 годов. Из батометров пробы отбирали в пластиковые пробирки для определения солености (50 мл) и сульфата (40 мл). Предварительно взвешенные пластиковые пробирки перед отбором проб для определения солености из анаэробной зоны заполняли 3 мл 5% раствора ацетата цинка. Пробы для определения сульфата впоследствии на берегу замораживали при температуре -18°С и в таком виде перевозили в лабораторию в ИО РАН. Содержание сульфата определяли гравиметрическим методом после осаждения в виде BaSO₄ в двух параллельных пробах. Пробы из анаэробной зоны предварительно фильтровали от осадка ZnS. Данные по концентрации сульфата в воде Черного моря получены с точностью 0.03 ммол/кг. Хлорность определяли в береговой лаборатории непосредственно после отбора проб методом титрования морской воды раствором нитрата серебра, в результате чего осаждали нерастворимые в воде соли галогенидов серебра (AgCl, AgBr, AgI). Хлорность морской воды рассчитывается как масса серебра в граммах, необходимого для осаждения Cl, Br и I содержащихся в 328.670 г образца морской воды, то есть $Cl (\text{‰}) = 0.328670 Ag (\text{‰})$. Определение хлорности проводили на потенциометрическом титраторе КЕМ АТ - 710 с комбинированным серебряным электродом, оборудованном двумя автоматическими бюретками объемом 10 мл. Титрант стандартизовали, используя международный стандарт морской воды IAPSO (OSIL).

Соленость морской воды наряду с температурой и условной плотностью является главной характеристикой морской воды. Сульфат консервативно распределен относительно солености и хлорности в окисленных водах Мирового океана. Верхние слои моря распреснены за счет поступления речного стока и метеорных вод. Их соленость составляет около 17 ‰. В придонной части моря соленость вод достигает 22.3 ‰.

Содержание сульфата также растет с глубиной водной толщи от 14.6 до 17.5 ммоль/кг при увеличении кондуктометрической солености. До солености 21.8 епс (единицы практической солености) изменение концентрации сульфата линейно зависит от солености $S = 1.3478 \times (C_{SO_4}) - 1.7704$, $R^2 = 0.990$ [1]. Глубже 200 м при солености выше 21.8 епс зависимость концентрации сульфата от солености перестает быть линейной. Причина нелинейности заключается в нарастании с глубиной дефицита сульфата, который максимально оценивается в 3% [2]. Дефицит сульфата возникает за счет его расходования на окисление органического вещества сульфаредактирующими микроорганизмами (бактериями).

Соотношение между кондуктометрической соленостью и хлорностью для всего интервала глубин вод Черного моря описывается зависимостью $S = 1.813 \times Cl\%_o$ [3], что несколько больше, чем для Мирового океана $S (\%_o) = 1.80655 \times Cl (\%_o)$.

Наши данные показывают, что в верхней части аэробной зоны Черного моря сульфат/хлорное отношение равно 0.1420 и практически постоянно до глубины ядра холодного промежуточного слоя, свидетельствуя о постоянных конвективных течениях в этой области водной толщи. Эта величина не отличается от таковой для океанских вод Мирового океана. Глубже ядра холодного промежуточного слоя (порядка 80 м в районе исследования) величина SO_4/Cl постепенно меняется, уменьшаясь до 0.137 при солености более 22 епс. Сохранение пониженной величины SO_4/Cl отношения в глубинных водах Черного моря свидетельствует об идущих процессах редукции сульфата в водной толще и о низкой интенсивности процессов перемешивания вод.

Распределение сульфата в верхней части анаэробной зоны Черного моря ранее рассматривали только относительно глубины. Нами впервые получены данные по концентрации сульфата и хлорности в зависимости от условной плотности вод, что позволяет проводить не только сравнение этого параметра по площади моря, но и в зависимости от времени наблюдения в пределах одной станции. Такие данные могут применяться для выяснения механизма окисления сероводорода и редукции сульфата на верхней границе анаэробной зоны в зависимости от динамики вод [1 - 3].

Полученные данные по концентрации сульфата и изменению хлорности в воде Черного моря показывают, что основная зона образования сероводорода находится в придонных водах, где максимален дефицит сульфата относительно хлорности (0.137). В зоне окисления сероводорода на верхней границе анаэробных вод не происходит накопления сульфата, вероятно, по причине высоких скоростей водного обмена и проникновения интрузий вод Мраморного моря.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 17-05-00339 и № 18-05-00580.

Список литературы

- 1) Дубинин А.В., Дубинина Е.О., Коссова С.А., Бережная Е.Д. Вентиляция анаэробной зоны Черного моря по данным изотопного состава серы сульфата // Доклады РАН. 2017. Т. 475. №4. С.428–434.
- 2) Скопинцев Б.А. Формирование современного химического состава вод Черного моря. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 336 с.
- 3) Kremling K. Relation between chlorinity and conductometric salinity in Black Sea water // The Black Sea- geology, chemistry and biology (Eds E.T. Degens, D.A. Ross). Tulsa: The American Association of Petroleum Geologists, 1974. 151-154 pp.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В КУРШСКОМ ЗАЛИВЕ В 2018-2019 ГГ.

Сташко А.В.^{1,2}

¹Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград

²Атлантический филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, г. Калининград

hidanstashko@gmail.com

Ключевые слова: Куршский залив, биогенные элементы, биохимическое потребление кислорода.

Куршский залив - крупная пресноводная лагуна, расположенная в восточной части южного побережья Балтики и отделенная от моря узким проливом в районе г. Клайпеда. Современное состояние залива характеризуется рядом экологических проблем, среди которых - продолжающееся эвтрофирование, «цветение» вод в период развития токсичных синезеленых водорослей, в том числе из-за высокой биогенной нагрузки (р. Неман и др.) [1, 2]. С учетом того, что Куршский залив включен в перечень объектов рыбохозяйственного значения, выполняет транспортную, рекреационную и другие функции, экологический мониторинг и, в частности, исследование гидрохимических показателей в заливе является актуальной задачей.

Отбор проб воды в заливе для исследования гидрохимических показателей в 2018 году осуществляли в период с мая по август и в ноябре на равномерно распределенных по акватории российской части залива станциях. Мониторинг осуществлялся в рамках комплексного исследования водных биологических ресурсов и среды их обитания, выполняемого АтлантНИРО. Количество станций в разные месяцы варьировало от 7 до 12, отобранных в подповерхностном слое проб - 52. Содержание растворенного кислорода, нефтепродуктов, минеральных форм биогенных элементов (фосфор фосфатов, аммонийный азот, азот нитритов, азот нитратов), величину показателей БПК₅ и рН определяли стандартными методами [3, 4]. Оценка степени загрязнения вод залива проводилась относительно значений предельно допустимых концентраций, указанных в приказе Росрыболовства [5].

Среднее за период исследования значение степени насыщения вод Куршского залива кислородом составило 117,9 %, что в единицах массовой концентрации соответствовало установленному диапазону ПДК [5]. Отмечено превышение допустимых значений биохимического потребления кислорода на протяжении всего периода отбора проб: среднее составило 4,9 мг О₂/дм³ что в 2,3 раза выше ПДК (2,1 мг О₂/дм³). Динамика значений БПК характеризовалась максимумом в июле-августе, когда присутствие в водах залива биохимически легкоокисляемых органических веществ было наибольшим. Согласно данным исследований предыдущих лет, значения БПК₅ в Куршском заливе устойчиво превышают ПДК как минимум на протяжении периода вегетации фитопланктона.

Значения водородного показателя (рН) вод залива с мая по август возрастали, достигнув максимума в 8,6 рН в августе, затем снизились. С мая по ноябрь усредненные по акватории значения находились в пределах допустимого диапазона.

Для минеральных форм биогенных элементов средние за период исследования концентрации аммонийного азота, азота нитритов и азота нитратов составили 0,25 мгN/дм³, 0,01 мгN/дм³ и 0,16 мгN/дм³ соответственно, что для всех трех показателей ниже предельно-допустимых концентраций [5]. При этом в августе было отмечено превышение среднего по акватории значения содержания аммонийного азота - 0,47 мгN/дм³ при ПДК 0,4 мгN/дм³. Среднее значение содержания фосфора фосфатов составило 0,02 мгP/дм³, что также ниже установленного ПДК в 0,2 мгP/дм³.

Содержание нефтепродуктов в водах залива в среднем за период наблюдения находилось ниже предельно-допустимого значения и составило 0,015 мг/дм³ [5]. Значительных скачков для средних по акватории концентраций, свидетельствующих об антропогенном загрязнении, отмечено не было.

Анализ значений гидрохимических показателей свидетельствует о том, что в 2018 г. Куршский залив (российская акватория) частично не соответствовал нормативам качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения. Отмечены сезонные изменения большинства гидрохимических показателей, наиболее выраженные из них - для минеральных форм биогенных элементов, - связаны с гидрологическим режимом залива и сезонностью процессов жизнедеятельности фитопланктона.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания Атлантического филиала ФГБНУ «ВНИРО» «Осуществление государственного мониторинга во внутренних водах Российской Федерации, в территориальном море Российской Федерации, на континентальном шельфе Российской Федерации и в исключительной экономической зоне Российской Федерации, в Азовском и Каспийском морях».

Список литературы

- 1) Александров С.В. Влияние "цветения" синезеленых водорослей на экологическое состояние Куршского залива // Вода: химия и экология. 2009. №. 4. С. 2-6.
- 2) Александров С.В. Первичная продукция планктона в лагунах Балтийского моря (Вислинский и Куршский заливы) // Калининград: АтлантНИРО, 2010. 228 с.
- 3) Сапожников В.В. и др. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоёмов и перспективных для промысла районов Мирового океана. 2003.
- 4) Бордовский О.К., Иваненков В.Н. Методы гидрохимических исследований Океана: Руководство. М.: Наука, 1978. 270 с.
- 5) Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (с изменениями на 12 октября 2018 года)» от 13 декабря 2016 г. №552, г. Москва.

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОЧАГАХ СУБМАРИННОЙ РАЗГРУЗКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД У МЫСА АЙЯ

Чайкин Д.Ю.¹, Вертерич А.В.², Козловская О.Н.³, Бежин Н.А.³, Довгий И.И.³

¹Московский физико-технический институт, г. Москва

²Средняя образовательная школа №15, г. Севастополь

³Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

chajkin.danil.02@inbox.ru

Ключевые слова: субмаринная разгрузка подземных вод, биогенные элементы, мс Айя.

Субмаринная разгрузка подземных вод является процессом переноса подземных вод, которые формируются на суше, в моря, минуя речной сток. Исследования показали, что в ряде регионов субмаринная разгрузка является основным источником биогенных элементов на границе суша-море [1]. В данной работе проводилось изучение поверхностного распределения биогенных элементов (фосфат-, силикат-, нитрат-, нитрит-ионов и ионов аммония) в акватории, прилегающей к очагам субмаринной разгрузки подземных вод в районе м. Айя (Севастопольский регион) в весенний (март 2019 г.) и осенний (сентябрь 2019 г.) периоды. Отбор проб в обеих экспедициях осуществлялся на 25 поверхностных станциях, 10 в карстовой полости (т.н. "Екатерининский грот") и 15 в прилегающей акватории. В непосредственной близости от района экспедиции отсутствует речной сток и сброс канализационных вод. Наиболее мощный источник трещино-карстовых субмаринных вод расположен в кутовой части карстовой полости, что делает этот объект интересным для изучения, поскольку полость с трех сторон закрыта от моря. Распределение наблюдается в поверхностном слое глубиной до 1 м. Диапазон изменения солености 11-18,2‰ в весенний период и 14-18,8‰ в осенний период. Диапазон концентраций биогенных элементов в весенней экспедиции составлял: растворенный неорганический фосфор 0,11-0,23 мкМ, кремниевая кислота 3,3-41,0 мкМ, нитрат-ионов 0,01-17,0 мкМ, нитрит-ионов 0,01-0,4 мкМ, ионов аммония 0,01-0,65 мкМ. Диапазон концентраций биогенных элементов в осенней экспедиции составлял: растворенный неорганический фосфор 0,01-0,16 мкМ, кремниевая кислота 1,5-39,5 мкМ, нитрат-ионов 0,01-16,8 мкМ, нитрит-ионов 0,01-0,13 мкМ, ионов аммония 0,1-0,97 мкМ.

Показаны корреляции концентрации многих биогенных элементов с величиной солености. С удалением от очага соленость увеличивается, а концентрация биогенных элементов уменьшается. Например, для фосфат-ионов $y = -5,1x + 107,7$; $R^2 = 0,57$ (март 2019 г.), $y = -8,0x + 149,9$; $R^2 = 0,77$ (сентябрь 2019 г.). Результаты хорошо соотносятся с литературными данными $y = -6,1x + 113,5$ (сентябрь 2007); $y = -6,76x + 124,3$ (август 1994) $y = -6,1x + 109,6$ (осень 1993) [2]. При экстраполяции значения концентрации к нулевой солености можно получить величину концентрации биогенного элемента в подземной воде.

Зависимости с величиной достоверности аппроксимации (R^2) более 0,5 получены для силикат-, фосфат-, нитрат-ионов и иона аммония в весенний период, менее 0,5 для нитрит-иона и общего растворенного фосфора. В осенний период зависимости с величиной достоверности аппроксимации более 0,5 получены для силикат- и нитрат-ионов, для остальных элементов корреляция имело менее выраженный характер. При этом концентрация аммония и общего растворенного фосфора увеличивалась с удалением от источника. Это обусловлено интенсивным протеканием биологических процессов с участием биогенных элементов. Таким образом, многие биогенные элементы (силикат-, фосфат-, нитрат-ионы и аммоний) могут быть использованы для оценки потока субмаринных подземных вод в периоды, когда отсутствует вклад активного роста первичной продукции, а в вегетационный период для оценки потока можно использовать концентрацию силикат- и нитрат-ионов.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ и г. Севастополя в рамках научного проекта №18-33-50001 (конкурс «Наставник»), а также в рамках государственного задания Министерства

науки и высшего образования Российской Федерации (тема «Океанологические процессы» № 0827-2020-0003).

Список литературы

- 1) Rodellas V. Submarine groundwater discharge as a major source of nutrients to the Mediterranean Sea / V. Rodellas, J. Garcia-Orellana, P. Masqué, M. Feldman, Y. Weinstein // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. – 2015. – Vol. 112 (13). – P. 3926–3930.
- 2) Кондратьев С.И. Наблюдения субмаринной разгрузки подземных вод (Южный берег Крыма) / С.И. Кондратьев, А.В. Прусов, Ю.Г. Юровский // Морской гидрофизический журнал. – 2010. – №1. – С. 32–45.

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ АКТИВНОСТИ ИЗОТОПОВ РАДИЯ В МЕСТАХ СУБМАРИННОЙ РАЗГРУЗКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Шибецкая Ю.Г.¹, Товарчий Я.Ю.¹, Кременчуцкий Д.А.², Бежин Н.А.², Довгий И.И.²

¹ Севастопольский государственный университет, г. Севастополь

² Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

garaldaaa@gmail.com

Ключевые слова: морская радиохимия, изотопы радия, субмаринная разгрузка подземных вод, мыс Айя.

Субмаринная разгрузка подземных вод давно привлекает внимание ученых как путь переноса биогенных элементов на границе суша-море и как потенциальный источник пресной воды. В качестве трассеров для определения потока субмаринной разгрузки подземных вод в районе м. Айя ранее использовались гидрологические параметры (соленость) и гидрохимические параметры (концентрация кремниевой кислоты и фосфат-ионов) [1]. Мощность разгрузки в этом районе по литературным данным колеблется от 2 до 15 тыс. м³ в сутки в зависимости от сезона и количества осадков в конкретном году.

Для изучения субмаринной разгрузки широко используются природные радионуклиды. Отчет МАГАТЭ [2] по международному проекту содержит многочисленные примеры использования изотопов радия терригенного происхождения ²²⁶Ra и ²²⁸Ra как трассеров субмаринной разгрузки подземных вод. Использование этих изотопов обусловлено тем, что их активность значительно (в 5-10 раз) различается в пресной и морской воде. Мы использовали сорбент на основе MnO₂ и акрилатного волокна для извлечения изотопов радия из морской воды. Методика получения, характеристика, механизм сорбции радия и рекомендации по его использованию опубликованы нами ранее [3]. Пробы прокачивали через сорбент перистальтическим насосом в береговой лаборатории, сорбент озоляли. Активность ²²⁶Ra, ²²⁸Ra определяли по дочерним продуктам распада после установления равновесия.

С целью отбора проб, был выполнен ряд прибрежных экспедиций. В зимний период (21 декабря 2018 г.) было отобрано 8 поверхностных проб объемом по 200 л, в весенний период (24 марта 2019 г.) отобрано 6 поверхностных проб объемом 200 л в карстовой полости (т.н. "Екатерининский грот") и прилегающей акватории у м. Айя на удалении не более 100 м от берега. Выбор глубины отбора проб определялся тем, что согласно литературным данным [1] распространение субмаринных подземных вод трещино-карстового происхождения в этом районе происходит в поверхностном слое глубиной до 1 м. Отбор проб проводился под отвесными скалами, в непосредственной близости отсутствует речной сток и сброс канализационных вод. Для определения фоновых значений активности ²²⁶Ra, ²²⁸Ra в ходе 106 рейса на НИС «Профессор Водяницкий» (18 апреля - 13 мая 2019 г.), отобрано 7 поверхностных проб объемом 1 м³ на прибрежных станциях на разрезе м. Херсонес - м. Айя - м. Сарыч. Эти станции располагались на удалении нескольких километров от берега. Полученные результаты свидетельствуют о значительном различии средних величин активности изотопов ²²⁶Ra, ²²⁸Ra в прибрежной зоне в районе очагов субмаринной разгрузки подземных вод (136±82, 127±18 дпм·м⁻³) и фоновых значений (61±21, 50±15 дпм·м⁻³) в весенний период. Кроме того, значения активности изотопов ²²⁶Ra, ²²⁸Ra в прибрежной зоне в районе очагов субмаринной разгрузки подземных вод в зимний период сопоставимы с фоновыми, что говорит о меньшем потоке, чем в весенний период - время активного таяния снега в горах, формирующего подземный сток. Актуальным является дальнейшее изучение сезонной изменчивости в летний и осенний периоды.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ и г. Севастополя в рамках научного проекта №18-33-50001 (конкурс «Наставник»), а также в рамках государственного задания Российской Федерации (тема «Океанологические процессы» № 0827-2020-0003).

Список литературы

- 1) Kondrat'ev S.I. Hydrological and chemical characteristics of the submarine freshwater source near Cape Aiya / S.I. Kondrat'ev, Y.T. Shchetinin, N.N. Dolotov, A.I. Androsovich // Physical Oceanography. – 1998. – Vol. 9 (3). – P. 217–224.
- 2) Nuclear and isotopic techniques for the characterization of submarine groundwater discharge in coastal zones. Results of a coordinated research project 2001–2006. IAEA-TECDOC-1595. – Vienna: IAEA, 2008. – 192 p.
- 3) Dovhyi I.I. MnO₂ fiber as a sorbent for radionuclides in oceanographic investigations / I.I. Dovhyi, D.A. Kremenchutskii, N.A. Bezhin, Ya.Yu. Tovarchii, Yu.G. Shibetskaya, A.M. Egor-in, E.A. Tokar, I.G. Tananaev // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2020. – Vol. 323 (1). – P. 539–547.

УПРАВЛЕНИЕ КОНФЛИКТАМИ ОСНОВНЫХ ВИДОВ МОРЕПОЛЬЗОВАНИЯ В БАРЕНЦЕВОМОРСКОМ РЕГИОНЕ. МОРСКОЙ НЕФТЕГАЗОВЫЙ КОМПЛЕКС

Александрова Н.В., Александрова А.Г.

*Московский государственный институт международных отношений (МГИМО), г. Москва
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва
yasti2@mail.ru*

Ключевые слова: морские ресурсы, районы ограниченной антропогенной деятельности, морской нефтегазовый комплекс, методы комплексного управления прибрежными зонами, стратегический план развития, морское пространственное планирование, функциональное зонирование, антропогенная деятельность, экологическая уязвимость.

Возможность использования морских ресурсов для реализации разнообразной экономической деятельности определяет конфликты между разными категориями пользователей, которые становятся всё более очевидными. И эти конфликты будут расширяться по мере повышения плотности населения и связанным с этим усилением использования природных ресурсов. Таким образом, нужно систематически и постоянно планировать и контролировать этот процесс, необходима общая методология для описания сложных взаимодействий между системой ресурсов и потенциальными пользователями. Основную группу рисков, связанных с антропогенной деятельностью в замерзающих морях, в ближайшей перспективе составят риски от развития и функционирования морского нефтегазового комплекса (МНГК) [1]. Целью данного исследования является исследование критериев и установление этапов выделения на акваториях замерзающих морей Арктики районов ограниченной антропогенной деятельности (РОАД), связанной с развитием и функционированием МНГК относительно разливов нефти и нефтепродуктов. Необходимость изменения подхода к управлению морской деятельностью стала очевидной к концу 90-х годов, когда негативные тенденции в развитии морской деятельности привели к дисбалансу и появлению объективных целевых конфликтов различного масштаба [2]. В Стратегии развития морской деятельности Российской Федерации до 2030 г., утвержденной распоряжением правительства РФ от 8 декабря 2010 г. (№2205-р), в качестве важных стратегических целей обозначен переход к комплексному планированию развития приморских территорий и прибрежных акваторий страны, как единого объекта государственного управления и совершенствование информационного обеспечения морской деятельности на основе интеграции и рационального использования систем, комплексов и средств различного подчинения. Комплексный подход к планированию и управлению прибрежно-морской деятельностью - это реакция на пространственно-временную несогласованность всех элементов деятельности в области эксплуатации ресурсов морей (научных, политических, экономических и др.), приводящую к искажениям в отражении единого морского ресурсного пространства и, как следствие, конфликтам и кризисам. Эта ситуация характерна как для России, так и для всего мирового прибрежно-морского хозяйства. За рубежом были разработаны и применены на практике методы комплексного управления прибрежными зонами (КУПЗ) [3]. Они представляют собой по сути экономико-правовой механизм гармонизации многочисленных противоречивых интересов прибрежных природопользователей. Его конечная цель - достижение устойчивого развития прибрежно-морских регионов. Так, для Мурманской области был разработан стратегический план развития КУПЗ Кандалакшского залива и выполнено обоснование структуры организации системы комплексного управления прибрежными зонами для местного уровня [4]. В условиях современных климатических вариаций в Арктике Баренцево море имеет региональные

особенности проявления глобальных изменений. Изменение климата может привести к значительной перестройке морских экосистем. Изменения, прогнозируемые Межправительственной группой экспертов по изменению климата (IPCC, 2013), даже при «мягком» сценарии (RCP4.5) столь велики, что распределение многих видов и зон рыбного промысла уже в середине XXI века может значительно отличаться от современного. В Баренцевом море осуществляется активная морская деятельность, включающая рыболовство, добычу ресурсов, транспортные операции, что связано с исключительно интенсивным судоходством, в том числе в береговых районах. Штормовая активность и экстремальные погодные условия создают риски для всех видов морской деятельности. На 9-й Конференции (г. Париж, 2008) сторонников конвенции о биологическом разнообразии были приняты научные критерии выделения экологически важных морских районов (ЭВМР/ЕBSA), нуждающихся в охране и защите от стрессового антропогенного воздействия. В качестве базовых методических документов, положенных в основу методики используются: • Методика Международного союза охраны природы (МСОП/IUCN) выделения экологически важных морских районов (ЭВМР/ЕBSA), адаптированная применительно к задачам выделения РОАД с учетом опыта отечественных и зарубежных разработок; • «Методические подходы к созданию карт экологически уязвимых зон и районов приоритетной защиты акваторий и берегов Российской Федерации от разливов нефти и нефтепродуктов» (<http://www.wwf.ru/resources/publ/book/478>). Таким образом, выделение районов ограничения антропогенной деятельности в замерзающих морях является важнейшей превентивной мерой защиты экосистем замерзающих морей от возрастающего антропогенного воздействия, и прежде всего [U+02D7] со стороны МНГК. Исходя из опыта морских держав, для осуществления эффективной комплексной морской политики необходимо, во-первых, признание приоритетной роли экологического потенциала Мирового океана, во-вторых, внедрение концепции экосистемного управления в систему административного управления в океанической сфере деятельности и, в-третьих, использование морского территориального планирования (функционального зонирования) для принятия решения относительно освоения морей, поддержание и развитие океанической науки и системы мониторинга океана [5].

Список литературы

- 1) Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации (в 2-х том.) (колл. авт.)/ под общ. ред. Бедрицкого А.И. - М.: 2008.
- 2) <http://www.biodiversity.ru/coastlearn/iczm-rus/introduction.html>
- 3) Морская доктрина Российской Федерации на период до 2020 года / Пр-1387 от 27 июля 2001 г. Москва. 2001. - [Электронный ресурс]. Доступно из URL: <http://www.scrf.gov.ru/documents/34.html>.
- 4) Бондаренко В.С. Региональное управление природопользованием в прибрежных районах. М.: Ойкумена, 2003. 347 с.
- 5) Денисов В.В. Эколого-географические основы устойчивого природопользования в шельфовых морях (экологическая география моря). Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2002. 502 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФИЛЬТРАЦИИ ТРЕХМЕРНЫХ ЧАСТИЦ МИКРОПЛАСТИКА ПРИ ПРОБООТБОРЕ В МОРСКОЙ СРЕДЕ

Багаев А.В.¹, Ахметова А.Р.², Муханов В.С.³, Венкатачалапати Р.⁴

¹Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

²Севастопольский Государственный Университет, г. Севастополь

³Институт морских биологических исследований имени А.О.Ковалевского РАН, г. Севастополь

⁴Университет Аннамалаи, г. Ченнаи, Индия

a.bagaev1984@gmail.com

Ключевые слова: микропластик, метод Монте-Карло, моделирование, фильтрация.

Ежегодно в Мировой океан попадает большое количество пластикового мусора, который из-за физической, биологической, химической деградации разбивается на мельчайшие частицы, размером от 0,5 до 5 мм – микропластик. На данный момент существует множество методов измерения концентрации микропластика в морской среде, включая такие как траление нейстонной сетью [1, 2, 3]. Исходя из данных, полученных в ходе применения вышеперечисленных методов, можно прийти к выводу, что размер ячейки оказывает решающее влияние на размерно-частотную характеристику полученного распределения микропластика в естественной среде. Из-за большого разнообразия форм частиц микропластика такие распределения могут содержать смещения, особенно для наименьших размеров фильтрованных частиц микропластика неправильной формы. Наше исследование направлено на: параметризацию размера частиц и проекцию на плоскость сетки; исследование того, как меняется вероятность прохождения через фильтры с ячейкой 0,333 и 0,5 мм частиц микропластика разных форм и размеров методом Монте-Карло; обеспечение надежного метода для коррекции измеренных распределений на месте относительно размера ячейки используемой нейстонной сети. Разработанный алгоритм и программа на языке программирования Python позволили провести серию численных экспериментов и продемонстрировать, как меняется размерно-частотная характеристика распределения частиц с учетом их возможного вращения. В результате расчетов показано, что гистограмма распределения после "фильтрации" трансформируется следующим образом: а) отсекаются размеры менее 0,333 мм, при этом остаются частицы до 0,5 мм; б) снижается доля частиц с малыми размерами (загиб облака точек к низу в левой части шкалы размеров); в) искажается линейная (в log-log шкале) зависимость между размером и количеством.

Работа выполнена при поддержке госзадания ИнБЮМ № АААА-А18-118020790229-7, РФФИ №18-55-45024/19 и РНФ №19-17-00035.

Список литературы

- 1) Zobkov M.B., Esiukova E.E. Microplastics in a Marine Environment: Review of Methods for Sampling, Processing, and Analyzing Microplastics in Water, Bottom Sediments, and Coastal Deposits // Oceanology. 2018. vol. 58, issue 1, pp. 137–143. DOI: 10.1134/S0001437017060169
- 2) Chubarenko I., Bagaev A., Zobkov M., Esiukova E. On some physical and dynamical properties of microplastic particles in marine environment // Mar. Pollut. Bull. 2016. vol. 108, pp. 105-112, doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.04.048
- 3) Mukhanov V.S., Litvinyuk D.A., Sakhon E.G., Bagaev A.V., Veerasingam S., Venkatachalapathy R. A new method for analyzing microplastic particle size distribution in marine environmental samples // Ecologica Montenegrina. 2019. vol. 23, pp. 77-86.

МЕЖГОДОВЫЕ И СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА «А» В ПОВЕРХНОСТНОМ ГОРИЗОНТЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

Буканова Т.В., Гоголев Д.Г.

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

tatiana.bukanova@gmail.com

Ключевые слова: концентрация хлорофилла «а», MODIS, OLCI, Балтийское море.

На сегодняшний день наиболее актуальной из экологических проблем Балтийского моря стала проблема эвтрофикации [1] - процесса повышения биологической продуктивности за счёт избыточного поступления биогенных элементов - азота и фосфора, под воздействием антропогенных и естественных факторов и, как следствие, ухудшения качества прибрежных и открытых вод Балтийского моря [2]. К наиболее эвтрофированным районам можно отнести юго-восточную часть Балтийского моря: Гданьский, Калининградский и Куршский заливы [1, 3, 4, 5]. Фитопланктон - первое звено трофической цепи и главный продуцент органического вещества в водоёмах, в связи с чем изучение изменения его биомассы и скорости продукции имеет исключительную важность при комплексном анализе состояния водоёмов. Для измерения показателей биомассы фитопланктона удобно использовать хлорофилл «а», так как он является главным фотосинтетически активным пигментом фитопланктона и преобладает во всех группах водорослей. Исключительность концентрации хлорофилла «а» заключается в том, что это её пространственно-временная изменчивость может быть изучена с помощью спутниковых данных в широком диапазоне пространственных и временных масштабов.

Цель исследования - анализ межгодовых и сезонных изменений концентрации хлорофилла «а» в юго-восточной части Балтийского моря по спутниковым данным видимого диапазона.

Значения концентрации хлорофилла «а» получены с 1059 спутниковых изображений радиометра MODIS (спутники Terra и Aqua) за период с 2003 по 2019 гг. (разрешение 1 км), далее проведено осреднение данных в окне 3x3 км и построены карты среднемесячных и среднегодовых значений для акватории, ограниченной с севера 56°с.ш., с запада 18°в.д., с юга и востока береговой линией. Для расчёта концентрации хлорофилла «а» в поверхностном слое юго-восточной части Балтийского моря использован региональный алгоритм [6]. Дополнительно произведена оценка точности расчёта концентрации хлорофилла «а» в регионе исследования по данным новейшего спектрорадиометра OLCI на спутнике Sentinel-3.

Анализируются среднемесячные пространственные распределения концентрации хлорофилла «а» для акватории исследования. Рассчитаны среднемесячные и среднегодовые значения концентрации хлорофилла «а», показан линейный тренд. Выявлено, что концентрация хлорофилла «а» в юго-восточной части Балтийского моря имеет значительные вариации от года к году, что обусловлено условиями среды в конкретные годы, в первую очередь температурой воды.

Исследование выполнено в рамках госзадания ИО РАН № 0149-2019-0013.

Список литературы

- 1) HELCOM. Eutrophication status of the Baltic Sea 2007-2011. A concise thematic assessment. Baltic Sea Environment Proceedings. 2014. № 143. 41 p.
- 2) Schiewer U. Ecology of Baltic coastal waters. Springer-Verlag, 2008. 430 pp.
- 3) Lindgren D., Håkanson L. Functional classification of coastal areas as a tool in ecosystem modeling and management. In. Mass-Balance Modelling and GIS-Based Data Analysis as Tools to Improve Coastal Management. Uppsala, Sweden Uppsala University. Licentiate thesis. 2007. 126 p.

- 4) Буканова Т.В. Тенденции эвтрофирования юго-восточной части Балтийского моря по спутниковым данным: диссертация канд. геогр. наук. - Калининград, 2014. 142 с.
- 5) Wasmund N., Uhlig S. Phytoplankton trends in the Baltic Sea // ICES Journal of Marine Science. 2003. № 60. P. 177-186.
- 6) Буканова Т.В., Вазюля С.В., Копелевич О.В., Буренков В.И., Григорьев А.В., Храпко А.Н., Шеберстов С.В., Александров С.В. Региональные алгоритмы оценки концентрации хлорофилла и взвеси в юго-восточной Балтике по данным спутниковых сканеров цвета // Современные проблемы дистанционного исследования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 2. С.64-73.

СИСТЕМА ПОИСКА АНОМАЛИЙ В ПОЛЯХ МОНИТОРИНГА ПРИБРЕЖНЫХ ВОД НА БАЗЕ БЕСПИЛОТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Греков А.Н.^{1,2}, Никишин В.В.², Шишкин Ю.Е.^{1,2}

¹Институт природно-технических систем, г. Севастополь

²Севастопольский государственный университет, г. Севастополь

oceanthi@ya.ru

Ключевые слова: экологический мониторинг, интеллектуальный автономный надводный аппарат, инерциальная навигация, нелинейная фильтрация, беспилотное транспортное средство, автоматизированный мониторинг акваторий, природоохрана.

На сегодняшний день для осуществления оперативного мониторинга акваторий прибрежных и шельфовых зон активно применяются беспилотные аппараты малых и сверхмалых габаритов, оснащенные специализированными датчиками физико-химических параметров. Осуществление контроля такими беспилотными транспортными средствами происходит за счет специализированной системы автоматизированного управления, причем несмотря на интенсивное развитие информационных технологий в данной области, задача управления до сих пор исчерпывающе и в полном объеме не разрешена [1,2].

Перемещение беспилотных транспортных средств, оснащенных точечными измерителями, в мониторируемом пространстве позволяет получить значения параметров среды в узлах координатной сетки с заданным шагом, которые, в свою очередь, служат в качестве опорных точек для задания математической модели среды. Такая математическая модель, в зависимости от характера данных среды, задается наилучшей, с точки зрения исследователя, аппроксимационной или интерполяционной моделью, например, нелинейной регрессионной моделью, сплайн-интерполяцией или интерполяцией рядами Фурье. Модель определяет значения параметров среды во всех точках пространства в виде скалярного поля (факторного пространства). В контексте решаемой задачи аномалиями будем называть возмущения в векторном поле факторного пространства, заданного математической моделью среды. С точки зрения логики автопилота для областей, в которых обнаружены аномалии, плотность проведения измерений должна быть увеличена.

В работе кратко представлен опыт разработки автоматизированной системы экологического мониторинга скалярных и векторных полей параметров акваторий прибрежных и шельфовых зон на базе надводного беспилотного аппарата. Известны несколько готовых промышленных решений автоматизированных систем управления, представленных в виде компактных автопилотов на базе МЭМС-сенсоров и микроконтроллеров такие как Ardupilot, Pixhawk, iNav, BetaFlight. К положительным особенностям таких систем следует отнести невысокую себестоимость серийных промышленных решений, высокую надежность, гибкость настройки, открытый исходный код. Ключевым недостатком подобных систем является их крайне высокая сложность что обусловлено их универсальностью, другими словами отсутствием проблемно-ориентированности. Высокая сложность автопилотов предъявляет повышенные требования к квалификации операторов, пользующихся такими системами. Внесение изменений и адаптация автопилота к решению задачи экологического мониторинга требует наличие высокой квалификации программиста для модификации исходного кода автопилота, поэтому в данном случае выгоднее и проще разработать собственную версию автопилота, которая ориентирована на решение задачи поиска аномалий в полях на факторном пространстве данных мониторинга прибрежных вод, и позволяет оперативно вносить изменения в собственную логику работы, синхронизировать данные от датчиков с автопилотом аппарата и передавать их посредством системы беспроводной телеметрии на наземную станцию управления. В настоящей работе в качестве основы автопилота используется 8-битный

микроконтроллер Atmel atmega2560. Производительность контроллера достаточна для решения поставленной задачи, а энергоэффективность обеспечивается за счет невысокой тактовой частоты микроконтроллера, разработанный автопилот прошел испытания и подтвердил свою надежность. Автопилот обрабатывает информацию с МЭМС-сенсоров пространственной ориентации (гиротактометр и акселерометр) и по исходным данным рассчитывает кватернион с последующим пересчетом в углы крена и дифферента. Данные сенсоров используются для коррекции показаний магнитометра при вычислении курсового угла. Навигационная информация доступна через спутниковые системы GPS/GLONASS.

В настоящее время разработанный прототип беспилотного аппарата испытан в следующих режимах:

- 1) Ручное управление.
- 2) Удержание заданного магнитного курса.
- 3) Следование по точкам маршрута.

Испытания проведены в районе бухты Голландия в г. Севастополь. В аппарат заранее записывались координаты маршрутных точек. Во время движения отклонение по курсу не превышало $\pm 5^\circ$. Дальность автономного хода аппарата в среднем составила 2 км [3], при этом боковое отклонение от траектории не превышало ± 3 м. Коллективом планируется установка на аппарат сенсоров, измеряющих рН и электропроводность. Данные от сенсоров будут заведены в автопилот, что позволит упростить систему управления, т.к. не потребуются дополнительных устройств передачи результатов измерений на береговую станцию. Такая возможность позволит в реальном времени реагировать на возмущения в градиентах полей данных мониторинга физико-химических параметров среды и в случае необходимости направить аппарат в область с аномальными значениями градиентов параметров в таких областях с целью более подробного изучения интересующих исследователя областей.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и города Севастополь в рамках научного проекта № 18-48-920018\18.

Список литературы

- 1) Шишкин Ю.Е., Греков А.Н. Концепция интеллектуальной системы автоматизированного экологического мониторинга севастопольской бухты на базе малогабаритных автономных роботов // Системы контроля окружающей среды. 2018. № 14 (34). С. 63–69.
- 2) Shishkin I.E., Grekov A.N., Nikishin V.V. Intelligent Decision Support System for Detection of Anomalies and Unmanned Surface Vehicle Inertial Navigation Correction // в сборнике: Proceedings - 2019 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2019, 2019. p. 1-6.
- 3) Shishkin I.E., Grekov A.N., Grekov N.A. A multi-model system of intelligent unmanned surface vehicles for environmental monitoring // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), Vladivostok, Russia, 2019. p. 1-6.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТИЦ МИКРОПЛАСТИКА В ФИНСКОМ ЗАЛИВЕ И ЛАДОЖСКОМ ОЗЕРЕ

Гузева А.В.¹, Зеленковский П.С.¹, Иванова Е.В.², Тихонова Д.А.²

¹Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

²Институт озероведения РАН, г. Санкт-Петербург

olina2108@mail.ru

Ключевые слова: микропластик, донные отложения, Невская губа Финского залива, водные объекты Северо-Запада РФ.

Загрязнение водных объектов микрочастицами пластика - одна из новых экологических проблем современности. Микропластик - это частицы пластика размером менее 5 мм. Частицы пластика, попадающие в окружающую среду, могут быть представлены как в виде микрогранул, специально изготовленных для добавления в косметику и чистящие средства, так и являться продуктами распада крупных пластиковых отходов на мельчайшие фрагменты. Частиц микропластика крайне сложно собрать и изъять из окружающей среды, в частности, водных объектов, поэтому они могут представлять потенциальную опасность для экосистем. Частицы пластика в водной среде обрастают биопленкой и могут сорбировать на поверхности токсичные вещества, включая устойчивые органические загрязнители и тяжелые металлы [1]. Вместе с токсикантами они могут попадать в живые организмы, передаваясь по пищевым цепям.

В настоящее время Институт озероведения РАН проводит исследование Невской губы Финского залива и акватории и водосбора Ладожского озера на предмет наличия частиц микропластика в водной толще, донных отложениях и прибрежных грунтах.

Отбор проб воды осуществлялся при помощи специальной фильтровальной установки, изготовленной сотрудниками ИНОЗ РАН, с сеткой с размером ячейки 100 мкм. Пробы донных отложений и прибрежных грунтов подготавливались к дальнейшим исследованиям по методике, разработанной в Институте океанологии им. Ширшова РАН [2]. Анализ проб осуществлялся при помощи оптической и флуоресцентной микроскопии, а также спектральных методов ИК- и Рамановской спектроскопии. Рамановские спектры образцов микропластика были получены на приборе Horiba Jobin-Yvon LabRam HR800 на базе Ресурсного центра Геомодель СПбГУ.

Были получены данные о содержании частиц микропластика в воде, донных отложениях и прибрежных грунтах Невской губы Финского залива, а также Ладожского озера. Полученные результаты показали, что концентрации частиц микропластика в донных отложениях во много раз превышают концентрации в водной толще. Таким образом, донные отложения являются аккумулялирующей средой для частиц микропластика и требуют особого внимания исследователей. В результате проведенных работ выявлены преобладающие формы частиц, их размерный диапазон, химический состав некоторых полимеров и их количественное содержание. Преобладающим типом полимеров на территории Невской губы Финского залива оказался полиэтилентерефталат.

Авторы выражают благодарность Ресурсному центру Геомодель СПбГУ за выполнение работ на Рамановском спектрометре Horiba Jobin-Yvon LabRam HR800.

Список литературы

- 1) Umamaheswari S., Murali M. FTIR spectroscopy study of fungal degradation of poly(ethylene terephthalate) and polystyrene foam // Chemical Engineering. 2013. Vol. 64. P. 19159–19164
- 2) Zobkov M., Esiukova E. Microplastics in Baltic bottom sediments: Quantification procedures and first results // Marine Pollution Bulletin. 2017. Vol. 114. P. 724–732.

ПРОБЛЕМА ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОРСКИХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО И РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИХ ОЦЕНКИ

Зубцова А.С.¹, Сташко Д.А.¹, Лисицкая И.Г.¹, Вах Е.А.^{1,2}, Зубцова И.Л.¹

¹Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

²Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, г. Владивосток

lisa-box@mail.ru

Ключевые слова: оценка степени загрязнения донных отложений, интегральная оценка загрязнения, суммарный показатель загрязнения, коэффициент загрязнения.

Интенсивная эксплуатация прибрежных акваторий Приморского края обуславливает необходимость комплексного изучения морской среды залива Петра Великого. Эффективным и надежным методом оценки экологического состояния водоема является наблюдение за уровнем загрязнения донных осадков (ДО). Однако, отсутствие в РФ нормативно закреплённых характеристик качества ДО по уровню концентрации загрязняющих веществ, наличие множества различных методических подходов и отдельных авторских разработок ставит под сомнение объективность заключений по результатам исследований экологического состояния ДО водного объекта [1].

Прибрежные акватории залива Петра Великого Японского моря имеют широкое назначение и различную антропогенную нагрузку (бухта Золотой Рог - порт; залив Угловой - рекреация; залив Китовый, бухты Миноноска и Краковка - марикультура). Сотрудниками ИШ ДВФУ выполнены экологические исследования этих объектов и предложена методика оценки эколого-геохимического состояния ДО акваторий, различающихся по видам хозяйственной деятельности.

В ходе комплексных инженерных изысканий бухты Золотой Рог залива Петра Великого в 2017 году получены данные о составе ДО. Сравнивая содержание загрязняющих веществ (ЗВ) в ДО бухты с нормативами и фоновыми концентрациями согласно официальных нормативных документов и некоторых литературных источников, установлено, что выбранные в качестве нормативов (взамен отсутствующих ПДК) значения допустимых концентраций существенно разнятся [2]. Так, содержание Pb может превышать норматив в 2 раза, если брать во внимание Голландские листы, если сравнивать этот показатель с региональным нормативом Петербурга, то значение составит 0,32 ДК, а в сравнении с фоном этот показатель имеет уже 2,8 ДК.

Использование установленных для почв нормативов (ПДК и ОДК) является некорректным из-за различия генезиса и физико-химических характеристик донных и почвенных отложений. Применение допустимой концентрации (ДК) имеет преимущество, так как это конкретная величина, закреплённая зарубежным нормативным документом - «голландскими листами». Поэтому ДК имеют широкое применение, хотя это и противоречит российскому законодательству [1, 2].

Существующие нормативные акты РФ [3, 4] не дают чёткого определения фоновой концентрации, предлагая три варианта определений фона: концентрация в ДО экологически чистых акваторий; концентрации ЗВ в ДО на этой же станции на глубине не менее 20 см; фоновые показатели по данным многолетних наблюдений в этой же акватории. Из-за природной изменчивости и неоднородности геохимического фона, принимаемые фоновые концентрации - в значительной степени случайные величины. Следует подчеркнуть, что, опираясь на нормативный документ [4], регионы вправе разрабатывать и утверждать региональные показатели среднего содержания ЗВ в ДО с учетом геохимических особенностей конкретной территории. Однако в Приморском крае такие региональные показатели отсутствуют.

Степень загрязнения акватории б. Золотой Рог определялась по восьми тяжелым металлам (Cu, Pb, Cd, Zn, As, Cr, Ni, Hg) и нефтепродуктам двумя методами: при помощи суммарного показателя загрязнения Z_c и расчета коэффициента загрязнения по Хакансону.

Поскольку для ДО проведение интегральной оценки загрязнения нормативно не установлено, была использована методика по аналогии с принятой для почв. В качестве критериев оценки

техногенного воздействия на ДО использован суммарный показатель загрязнения (Z_c) методики Ю.Е. Саета [5]. Выполненные расчеты Z_c показали, что применение разных значений фоновых концентраций дает результаты, интерпретирующие одну и ту же ситуацию как норму и как аномалию. Поэтому для оценки экологического состояния ДО на основе расчета суммарного показателя загрязнения необходимо установить региональные фоновые концентрации ЗВ в морском грунте, которые обеспечат унифицированный подход к оценке качества и загрязненности ДО.

Оценка загрязнения ДО с применением коэффициента загрязнения C_f (характеризует загрязнение акватории отдельными веществами) и степени загрязнения C_d (отражает общее загрязнение водного объекта исследуемыми веществами), предложенные Хакансоном [6], показала, что степень загрязнения ДО во всех точках пробоотбора высокая ($C_d > 36$).

Сравнение существующих методических подходов оценки состояния ДО позволило подтвердить приемлемость используемых подходов при различных эколого-геохимических оценках. Методический подход к оценке качества донных отложений залива Петра Великого должен базироваться на выработке четких градаций эколого-геохимических оценок ДО и группе используемых параметров, среди которых: суммарный показатель загрязнения, использование единых фоновых концентраций для Залива Петра Великого, градация по степени опасности.

Список литературы

- 1) Сташко Д.А., Зубцова А.С., Олесик С.М., Нестерова Е.И. Методические подходы к оценке экологического состояния донных отложений // Актуальные вопросы фундаментальных и прикладных исследований. Всероссийская научная конференция, Владивосток, 26 марта 2019 г. сборник материалов. 2019. С. 40-42.
- 2) Зубцова А.С., Вах Е.А., Зубцова И.Л.. К вопросу оценки экологического состояния донных отложений бухты Золотой Рог. Геология на окраине континента: I молодежная научная конференция - школа, приуроченная к 60-летию юбилею ДВГИ ДВО РАН, Владивосток, 14–19 сентября 2019 г. 2019. С. 122-123.
- 3) РД 52.24.609-2013. Руководящий документ. Организация и проведение наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях водных объектов. Введ. 2013.09.02.
- 4) Об утверждении Методических указаний по осуществлению государственного мониторинга водных объектов в части организации и проведения наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях водных объектов: Приказ Минприроды России № 112 от 24 февраля 2014 г. // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. 2014.
- 5) Сает Ю.Е. Геохимия окружающей среды // М.: Недра, 1990. 333 с.
- 6) Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach // Water Res. 1980. Vol. 14. № 8. P. 975-1001.

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОПЛАСТИКА В УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ ДОНА

Клещенков А.В., Ластовина Т.А., Будник А.П., Пляка П.С., Филатова Т.Б.

Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону

kle-aleksej@yandex.ru

Ключевые слова: микропластик, дельта Дона, Таганрогский залив Азовского моря, загрязнение, гидрохимия.

Микропластик - особый вид пластика, имеющий размер менее 5 мм [1]. Ежегодно во всем мире производится около 300 млн т пластика, из которых до 13 млн т выбрасывается в реки и поступает в океаны [2], что позволяет прогнозировать к 2025 году его совокупное количество в 250 млн т [3]. Срок службы пластиковых изделий может варьироваться от года до более 50 лет в зависимости от материала и характера использования. Далее изделия либо утилизируются (9 %), используются для извлечения энергии (12 %), попадают на свалку (8 %) или выбрасываются в окружающую среду (71 %) [4]. Именно массовая практика безответственного выбрасывания разнообразных пластиковых изделий привела к загрязнению пресных и морских водоёмов большим количеством микропластика.

С целью исследования содержания микропластика в воде в дельте Дона и в восточной части Таганрогского залива Азовского моря в ходе рейса на НИС «Профессор Панов» в период с 22 октября по 14 ноября 2019 года был произведен отбор проб. На пяти станциях был выполнен горизонтальный и вертикальный лов согласно методике, изложенной в [5]. Горизонтальный лов выполнялся икорной конической сетью, протягиваемой в горизонтальном направлении в воде в полупогруженном состоянии на небольшой скорости судна, вертикальный лов производился средней сетью Апштейна, глубины на станциях составляли от 4 до 12 метров. По окончании обловов со стенок сети проточной водой смывался остаток в стакан сети и полученный таким образом объем, помещался в стеклянную плотно закрывающуюся тару, после чего пробы были направлены в лабораторию.

Для выделения микропластика из проб была использована методика, разработанная в рамках Программы морского мусора США (NOAA Marine Debris Program). К пробам было применено последовательно три стадии: просеивания, растворения органической составляющей и плотностного разделения. На первой стадии концентрированная проба была пропущена через сито ($d=0,250$ мм), твёрдые частицы, не прошедшие сквозь ячейки, были многократно промыты бидистиллированной водой. Полученный осадок был перенесён в стаканы, высушен в сушильном шкафу, а затем взвешен. На второй стадии растворение органической составляющей осадков проводили путём воздействия 0.05 М раствора Fe (II) и 30-% H_2O_2 при нагревании (до 75 °C). В полученную суспензию был добавлен NaCl для увеличения плотности раствора, сама суспензия нагрета до растворения соли. На заключительной стадии суспензия была перенесена в сепаратор для отделения пластика. Полученный на поверхности микропластик был отделён от суспензии, многократно промыт бидистиллированной водой на сите, перенесён в виалы и высушен для дальнейших исследований.

Уже при первичном просеивании суспензий через сито было обнаружено наличие крупных частиц микропластика. Размер частиц был измерен в программе Digimizer.

Из проб, полученных в акватории порта Азов (рукав старый Дон дельты Дона) вертикальным ловом, удалось выделить твёрдые крупные частицы размером $\sim 1,150 \times 0,764$ мм, при использовании горизонтального лова - мягкие куски размером $\sim 2,284 \times 1,700$ мм. Были идентифицированы частицы белого и синего пластика, имеющие нерегулярную форму. Во втором крупном рукаве дельты Дона - Каланче в районе хутора Дугино крупные частицы микропластика были обнаружены в пробах отобранных как горизонтальным (размеры $\sim 2,350 \times 1,240$, $\sim 3,398 \times 1,881$, $\sim 1,093$

× 0,791, ~ 1,165 × 0,874 мм, твердые белые частицы нерегулярной формы), так и вертикальным ловом (~2,201 × 1,292, ~1,227 × 1,073 мм, твёрдые белых частицы нерегулярной формы).

При исследовании проб из Таганрогского залива только на станции, расположенной на траверзе Павло-Очаковской косы, нам удалось собрать крупные частицы горизонтальным ловом (размеры ~2,215 × 1,993, ~0,636 × 0,549 мм, наличие твёрдых белых частиц нерегулярной формы, наличие мягких крупных частиц, разноцветный пластик), в то время как вертикальный не позволил набрать достаточного для анализа количества микропластика.

Полученные пробы микропластика были исследованы физико-химическими методами анализа, основные данные о форме и размере частиц были сделаны на основании данных оптической микроскопии и спектроскопии комбинационного рассеяния света.

Работа выполнена в рамках проекта ГЗ ЮНЦ РАН «Морские биогеосистемы юга России и их водосборы в условиях аридного климата, хозяйственного освоения и современных геополитических вызовов», № гос. рег. АААА-А18-118122790121-5.

Список литературы

- 1) Law K.L., Thompson R.C. Microplastics in the seas // *Science*. 2014. Vol. 345. P. 144.
- 2) Foerster K.H. *Plastics - the Facts 2017* // Association of Plastic Manufacturers, Brussels. 2018. 44 p.
- 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*. 2015. Vol. 347. P. 768.
- 4) Enfrin M., Dumée L.F., Lee J. Nano/microplastics in water and wastewater treatment processes – Origin, impact and potential solutions // *Water Research*. 2019. Vol. 161. P. 621-638.
- 5) Zobkov M.B., Esiukova E.E. Microplastics in a Marine Environment: Review of Methods for Sampling, Processing, and Analyzing Microplastics in Water, Bottom Sediments, and Coastal Deposits // *Oceanology*. 2018. Vol. 58. P. 137-143.

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ВЫНОСА БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ВОДОСБОРА С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ФИНСКОГО ЗАЛИВА

Коробченкова К.Д., Ершова А.А.

Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург

korobchenkova14@mail.ru

Ключевые слова: моделирование, SWAT, биогенная нагрузка, эвтрофикация, Финский залив, трансграничные реки.

Эвтрофикация является главной экологической проблемой для Финского залива Балтийского моря, что вызывает беспокойство стран, расположенных на его водосборной территории. В связи с этим одной из целей Плана действий по Балтийскому морю, принятому в 2007 г. Хельсинской комиссией (ХЕЛКОМ) [1], является разработка мероприятий по снижению поступления в морскую экосистему биогенных элементов, которые катализируют процессы эвтрофикации. Для реализации этой цели необходимо получать достоверную информацию о поступлении биогенных веществ с водосборных территорий рек, формирующих диффузную нагрузку на Финский залив.

Для оценки биогенной нагрузки с водосборных территорий необходимы данные мониторинга. В связи с тем, что не на всех реках Ленинградской области, впадающих в Финский залив, существуют посты регулярных измерений, необходимо использование методов математического моделирования для оценки биогенной нагрузки с данной территории, в том числе применение ГИС-технологий [2].

Данная работа посвящена построению модели выноса биогенных элементов с водосбора SWAT (Soil and Water Assessment Tool) с применением ГИС-технологий для условий прибрежной зоны Финского залива. Данная модель является одной из самых разработанных и апробированных на данный момент систем комплексного прогнозного моделирования [3, 4], которая ранее не применялась для территории Российской Федерации.

SWAT - имитационная почвенно-гидрологическая оценочная масштабируемая модель бассейна (группы суббассейнов) реки, разработанная Службой сельскохозяйственных исследований Департамента сельского хозяйства США (USDA). Данная модель позволяет рассчитывать значения выходных параметров исходя из установленных входных переменных, которые описывают разное влияние на почвенно-гидрологическую систему в границах модельных бассейнов или суббассейнов.

Временной шаг модели SWAT сутки. Модель можно применять для решения большого количества задач: прогнозирования результатов антропогенного воздействия сельскохозяйственной деятельности на гидрологические и почвенные составляющие ландшафта, на донные отложения, на миграцию пестицидов и продуктов их распада, на урожайность сельскохозяйственных культур, геохимический фон исследуемой территории [3, 4]. В данном исследовании модель SWAT применялась на платформе геоинформационной системы Quantum GIS.

В ходе работы было выполнено исследование возможностей применения ГИС-модели SWAT для малых рек, расположенных на трансграничной территории России и Финляндии. Объектом для данного исследования являются водосборная территория реки Селезнёвка, на которой, начиная с ноября 2018 г. проводятся гидрологические и гидрохимические наблюдения в рамках Программы приграничного сотрудничества «Россия-Юго-Восточная Финляндия 2014-2020» и водосборная территория реки Виройоки, которая является тест-объектом в данном исследовании ввиду аналогичных физико-географических особенностей с р. Селезнёвка и обеспеченностью исходными данными.

В ходе работы с моделью SWAT создаются файлы входных данных: цифровой снимок рельефа (DEM файл); шейпфайл речной сети; файлы, содержащие заданные характеристики почв и ви-

ды землепользования. Водосбор делится на 19 суббассейнов и 638 элементарных гидрологических единиц (HRUs). Добавляются файлы с ежедневными данными о погоде.

В результате становится доступным представление данных в статистическом, графическом и анимационном видах и для р. Виройоки были смоделированы ежедневные значения стока ($\text{м}^3/\text{с}$), нагрузки общего азота и фосфора (кг). Следующим этапом была верификация модели на основе данных, полученных при моделировании SWAT и на другой модели Vemala, и данных мониторинга. Верификация показала, что фактические и эмпирические данные имеют небольшое расхождение и модель требует дальнейшей калибровки.

После всех необходимых доработок модель SWAT позволит планировать хозяйственную деятельность на трансграничном водосборе с учетом различных сценариев, отражающих изменения хозяйственной деятельности на водосборной территории и будущие климатические изменения.

Следующим шагом после сбора исходных данных для реки Селезнёвка в ходе мониторинга Северо-Западным управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (СЗУГ-МС) в 2019 г., и создания необходимых входных файлов будет являться реализация модели SWAT для водосбора р. Селезнёвка, её верификация и калибровка на основе этих данных. В конечном итоге, модель сможет стать универсальным методом планирования (управления) хозяйственной деятельности на водосборах Северо-Запада России.

Исследование выполнено в рамках проекта Программы приграничного сотрудничества "Россия - Юго-Восточная Финляндия на 2014-2020 годы" - "Water meets people - learn, act and influence" (SEVIRA).

Список литературы

- 1) План действий ХЕЛКОМ по Балтийскому морю/ СПб.: Диалог, 2008. 112 с.
- 2) Кондратьев С.А. Оценка современной биогенной нагрузки на российскую акваторию Финского залива и ее соответствие международным требованиям // Научное обеспечение реализации "Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 г." Всероссийская научная конференция, 6-11 июля 2015 г.: сборник научных трудов [в 2 т.]. Петрозаводск, 2015. Т. 1. С. 439-446.
- 3) SWAT. 2012. Soil and Water Assessment Tool: Input/Output Documentation. College Station, Тех.: Texas A&M University. Available at. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://swat.tamu.edu/media/69296/swat-io-documentation-2012.pdf>. (Дата обращения: 10 декабря 2019).
- 4) Лычак А.И. Прогнозное моделирование геоэкологических ситуаций в Крыму с использованием SWAT-модели // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского Серия «География». 2011. Т. 24. №2. С.116-121.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ МОРСКИМ МУСОРОМ ПОБЕРЕЖИЙ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА: РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Кузьмина А.С., Миннигазимова Л.И., Ершова А.А.

Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург

Linaara_12@mail.ru

Ключевые слова: морской мусор, фрейм-метод, рейк-метод, Невская губа.

Морской мусор - это мусор, выброшенный людьми намеренно или попавший в водную среду или на берег случайно. Плавающие в воде пластиковые бутылки, забытые или оставленные рыболовные сети, железные банки и многое другое - это сделанные человеком вещи, нашедшие себе путь в водную среду. Загрязнение морским мусором и частицами пластика является проблемой глобального масштаба и несёт негативные последствия для экосистем и неизвестно каким образом это влияет на здоровье человека.

Одним из способов определения источников поступления морского мусора в водную среду является проведение качественного мониторинга по его изменению, распределению и накоплению на песчаных побережьях. Морские побережья - это полосы земной поверхности, где взаимодействуют суша, океан и атмосфера. Морские побережья как часть морских экосистем важны для общего состояния здоровья как *морской*, так и наземной среды.

Материалы исследования были применены в рамках полевых работ на песчаных пляжах восточного побережья Финского залива.

Проект ОСПАР стал основой по разработке метода мониторинга морского мусора на пляжах и оценивал наличие морского мусора на пляжах в регионе ОСПАР (Северо-Атлантический регион). Для Балтийского побережья методы мониторинга морского мусора были адаптированы немецкими учеными. Метод «SandRake» («грабли») и «Frame-метод» предназначены для оценки аккумуляции частиц различных фракций: микро-мусора (2-5 мм), а также мезо-мусора (5-25 мм) и макро-мусора (более 25мм) в верхнем слое песка (30-50 мм) от зоны заплеска до линии растительности.

«Фрейм-метод» направлен на детальное изучение зоны заплеска (то есть зоны воздействия волн и накопления материала), а «Рейк-метод» - на изучение более обширных зон побережья (от зоны заплеска до линии растительности).

«Фрейм-метод» и «Рейк-метод» исследуют разные зоны пляжа, ещё одним отличием является использование различного инвентаря - для «Фрейм-метода» это металлическое сито 2 мм [1], а для «Рейк-метода» предполагается использование специального инструмента - «граблей» - для просеивания песка [2]. Эти два метода позволяют определить разные источники поступления мусора на берег и разные факторы, которые влияют на это (вынос из моря, поступление с суши, сточные воды и т.д.). Морской мусор состоит из множества различных материалов, включая пластик, стекло, резину, дерево, металл, сетку и бумагу.

Полевые исследования проводились лето в 2019 году на 13 пляжах Финского залива в границах Санкт-Петербурга и Ленинградской области: остров Декабристов, парк 300-летия, поселок Лахта, Жемчужный пляж, поселок Лисий нос, Петергоф (парк Александрия), поселок Солнечное, Ломоносов, Зеленогорск, на двух пляжах острова Котлин, поселках Большая Ижора и В поселке Лебяжье. Отобранные пробы морского мусора подсчитывались, взвешивались, классифицировались и разделялись на фракции.

Восточная часть Финского залива подвергается высокой антропогенной нагрузке различных отраслей: его воды загрязняются биогенными элементами, нефтью, тяжелыми металлами, плохо очищенными сточными водами, а так же источником загрязнения становится бытовой и строительный мусор. Всё это становится серьезной угрозой для морских экосистем.

В результате анализа данных была определена динамика территориального распределения морского мусора по видам и фракциям, сделаны предположения об источниках его поступления. Также проведено сравнение с данными прошлогоднего исследования. Морской мусор различных типов и фракций был обнаружен в зоне заплеска и вплоть до линии растительности.

При обработке результатов мониторинга можно увидеть, как распределяется морской мусор (в том числе микромусор) по типам и фракциям, начиная с зоны заплеска и заканчивая линией растительности.

На побережьях Невской губы в зоне заплеска преобладает макро-, мезомусор, который включает в себя большое количество пластика разнообразного происхождения (фильтры от сигарет, ватные палочки, пенопласт, пеллеты). Также на побережьях, территория которых находится вблизи зоны строительства (Лахта, Жемчужный пляж), присутствует строительный мусор. Большое количество салфеток и ватных палочек свидетельствует о близости источника неочищаемых сточных вод.

На побережьях Финского залива также преобладает мусор, который включает в себя большое количество стекла (пляж в парке Александрия) и металл (Северный и Южный пляж в Кронштадте).

Наименьшая концентрация морского мусора в зоне заплеска наблюдалась на пляже в п. Солнечное - пол частицы на квадратный метр. Наибольшая концентрация на Жемчужном пляже - 7,9 частиц на квадратный метр.

Наибольшая концентрация частиц по всему пляжу наблюдалась в п. Солнечное - 7,3 частицы на квадратный метр, наименьшая концентрация на пляже в Лебяжьем - 1,7 частиц на квадратный метр. На побережье Финского залива также преобладает мусор, который включает в себя большое количество стекла (пляж в парке Александрия) и металл (Северный и Южный пляж в Кронштадте).

В рамках практики по получению профессиональных умений и навыков.

Список литературы

- 1) Ершова А.А. Мониторинг морского мусора на побережьях лагун / замкнутых заливов / эстуариев рек (Невская губа), 2017. Пер. изд.: GESAMP Guidelines on the monitoring and assessment of plastic litter and microplastics in the ocean (Kershaw P.J., Turra A. and Galgani F. editors), Rep. Stud. GESAMP No. 99, 130p.
- 2) M. Haseler, G. Schernewski, A. Balciunas, V. Sabaliauskaite, Monitoring methods for large micro- and meso-litter and applications at Baltic beaches. J Coast Conserv. 2017.

МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА СОДЕРЖАНИЯ МИКРОПЛАСТИКА В СООБЩЕСТВАХ МАКРОВОДОРОСЛЕЙ НА ПОДВОДНОМ СКЛОНЕ САМБИЙСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Куприянова А.Е., Лобчук О.И., Есюкова Е.Е., Володина А.А., Чубаренко И.П.

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

UNITED_jemelt8@mail.ru

Ключевые слова: микропластик, макроводоросли, Балтийское море, Самбийский полуостров.

Одной из самых острых проблем настоящего времени является проблема загрязнения пляжей, донных осадков, толщи морской воды, а также сообществ макроводорослей частицами микропластика. Как показали последние исследования [1, 2, 3, 4], загрязнение частицами пластика морского побережья и самих вод моря является острой проблемой и для Калининградского региона.

Для исследования содержания микропластика в сообществах макроводорослей на подводном склоне Самбийского полуострова (юго-восточная часть Балтийского моря) были проведены три экспедиции в летнее время (30 июля, 5 и 7 августа 2019 г). Место для экспедиции выбрано не случайно, именно в этой части прибрежной зоны моря на участке валунно-глыбовой отмостки мыса Таран развиты сообщества прикрепленных макроводорослей (*Furcellaria lumbricalis*, *Coccotylus truncatus*, *Polysiphonia fucooides*, *Cladophora rupestris* и др. [5]). Исследование проводилось на восьми станциях, охвативших участки с нитчатыми водорослями (на глубинах 3,2 и 4 м) и с многолетней водорослью фурцеллярией (глубины 5,6 и 8,2 м).

Для отбора проб был сконструирован ручной насос, с помощью которого морская вода, доставляемая на судно, профильтровывалась на борту через каскад металлических сит и ситовых тканей (5 мм, 2 мм, 0,333 мм, 0,175 мм и подставка под сито 10 мм) в металлическое ведро. В первый день работ отфильтровывали по 20-30 л. с каждой пробы, второй и третий день работ по 100 литров с каждой пробы.

Пробы воды отбирали с двух-трехкратным повтором на участках, где водоросли отсутствовали, и непосредственно среди водорослей. Фильтры запаковывали в пакеты и доставляли в лабораторию.

Пробы растущих водорослей собирали с мерных площадок 25x25 см² с трехкратным повтором на каждой станции и запаковывали под водой в матерчатые мешки (из ткани 'двунитка'). В лаборатории водоросли помещали в стеклянные емкости с дистиллированной водой и тщательно промывали от остатков беспозвоночных животных и ила. Полученную воду с каждой станции проливали через ситовую ткань. Сито укладывали в полиэтиленовый пакет и помещали в холодильник. Промытые макроводоросли взвешивали в сыром виде, а затем в воздушно-сухом состоянии, и запаковывали в бумажные пакеты.

Далее пробы обрабатывались и просматривались в лаборатории по методу [6]. Оказалось, что во всех собранных пробах обнаружены частицы микропластика. Предварительный анализ показал, что в пробах, отобранных среди водорослей, количество частиц микропластика значительно больше (в 1,3-5,3 раза), чем в пробах, отобранных на участках, где водоросли отсутствовали. Среди микрочастиц отмечены в основном нити, преимущественно бесцветные и сине-голубых оттенков, а также красные, черные, золотисто-желтые. На отдельных станциях, на участках вне водорослей, обнаружено повышенное содержание микрочастиц от автомобильных шин.

Исследования проводятся при поддержке РФФ, грант №19-17-00041.

Список литературы

- 1) Chubarenko I., Bagaev A., Zobkov M., Esiukova E. On some physical and dynamical properties of microplastic particles in marine environment // Mar. Pollut. Bull. 2016. V. 108. P. 105-112. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.04.048>
- 2) Esiukova E. Plastic pollution on the Baltic beaches of the Kaliningrad region, Russia // Mar. Pollut. Bull. 2017. V. 114. P. 1072-1080. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.10.001>
- 3) Есюкова Е.Е., Чубаренко И.П. Особенности распределения микропластика на песчаных пляжах Калининградской области (Балтийское море) // Региональная экология. 2018. № 1 (51). С. 108-121. http://ecoscience.online/regecology/doi_article.php?doi=1026-5600-2018-1-108-121
- 4) Лобчук О.И., Килесо А.В. Присутствие, перенос и накопление частиц вспененных пластиков в прибрежной зоне Балтийского моря // В книге: Моря России: фундаментальные и прикладные исследования Тезисы докладов Всероссийской научной конференции. 2019. С. 226-227
- 5) Володина А.А., Герб М.А. Макрофиты прибрежной зоны российского сектора юго-восточной части Балтийского моря (Калининградская область) // Известия КГТУ. 2013. № 28. С. 129-135
- 6) Зобков М.Б., Есюкова Е.Е. Микропластик в морской среде: обзор методов отбора, подготовки и анализа проб воды, донных отложений и береговых наносов // Океанология. 2018. Т. 58. № 1. С. 149-157. DOI: 10.7868/S0030157418010148

ВОЗДЕЙСТВИЕ ФОРЕЛЕВЫХ ХОЗЯЙСТВ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ

Лапенков А.Е.¹, Зуев Ю.А.²

¹Институт озераедения РАН, г. Санкт-Петербург

²Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» ("ГосНИОРХ" им. Л.С. Берга), г. Санкт-Петербург

lapa13art@gmail.com

Ключевые слова: форелевые хозяйства, экологическое состояние, бентос, Ладожское озеро.

Как и любая человеческая деятельность в природных водоемах, промышленная аквакультура оказывает воздействие на окружающую водную среду, в особенности на прибрежные акватории. При эксплуатации аквакультурного хозяйства важную роль играет мониторинг абиотических и биотических параметров, так как их изменчивость может приводить к ухудшению экологического состояния акватории, и, соответственно, условий содержания культивируемых гидробионтов и естественных обитателей водоема.

В 2018 и 2019 гг. было проведено подробное исследование Малой Никоновской бухты (Ладожское озеро). Были получены схемы подводных ландшафтов, данные по гидрохимическим параметрам, исследованы бентосные сообщества, определено содержание органического вещества в грунте, собраны видеоданные, отражающие состояние донной поверхности, в глубоководной части бухты обнаружен бактериальный мат.

В Европейском союзе широкое распространение имела методика MOM (Modelling - Ongrowing fish farm - Monitoring), изначально разработанная для морских акваторий [1, 2]. Выполненное исследование показало возможность использования ее мониторинговой части для условий ультрапресного олиготрофного водоема.

Результаты мониторинга по программе MOM для Малой Никоновской бухты позволили получить первичное представление о поступлении органического вещества на дно акватории. Получены двойственные оценки состояния водоема по критериям pH, Eh, органолептическим показателям донных осадков и характеристикам фауны. Состояние бухты в зоне размещения хозяйства можно оценить как «находящееся под угрозой». Предварительные оценки показывают негативное влияние форелевого хозяйства на донные отложения, увеличение рисков возможного сероводородного заражения грунтов и придонных вод. В то же время фауна и органолептические параметры донных отложений показывают, что последняя стадия загрязнения еще не наступила, и в бухте идут процессы самоочищения. Также не выявлено значительного негативного воздействия на бентосные сообщества, включающие и реликтовую фауну озера. Индексы биологического разнообразия показывают ненарушенность структуры бентосных сообществ в прибрежной зоне [3].

Также для оценки влияния форелевого хозяйства проведено видео-исследование, что позволило обнаружить в котловине Малой Никоновской бухты бактериальный мат, определить площадь его распространения и выявить его сезонную изменчивость [4].

Методика MOM, дополненная видео-исследованием, может быть рекомендована для использования при оценке экологического состояния как морских, так и пресных (и ультрапресных) водоемов при размещении форелевых или иных аквакультурных хозяйств. К числу достоинств данной методики следуют отнести учет малого числа ключевых гидрохимических характеристик (pH, Eh, содержание сероводорода и растворенного кислорода), для определения которых в настоящее время существует значительный выбор портативных приборов, простых в обслуживании и доступных по цене.

Список литературы

- 1) Hansen P.K. et al. Regulating the local environmental impact of intensive, marine fish farming: II. The monitoring programme of the MOM system (Modelling–Ongrowing fish farms–Monitoring) // Aquaculture. 2001. Vol. 194. №. 1-2. P. 75-92.
- 2) Ervik A. et al. Regulating the local environmental impact of intensive marine fish farming I. The concept of the MOM system (Modelling-Ongrowing fish farms-Monitoring) // Aquaculture. 1997. Vol. 158. №. 1-2. P. 85-94.
- 3) Зуев Ю.А., Зуева Н.В., Лапенков А.Е. Макрозообентос заливов Валаамского архипелага // Водные ресурсы: изучение и управление (лимнологическая школа-практика). 2016. 22 с.
- 4) Lapenkov A., Zuyev Y., Zuyeva N. The Landscape Investigations As Necessary Part Of Biological Study In The Coastal Zone // EMECS 11 - SEA COASTS XXVI. Joint Conference. Managing Risks To Coastal Regions And Communities In A Changing World. 2016. С. 249.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПЛЯЖЕЙ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ ПЛАСТИКОВЫМ МУСОРОМ НА ОСНОВЕ МОНИТОРИНГА ПО МЕТОДУ OSPAR

Лобчук О.И.¹, Есюкова Е.Е.¹, Килесо А.В.²

¹Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, г. Москва ²Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград
olga_may87@mail.ru

Ключевые слова: макромусор, морской мусор, песчаные пляжи, метод OSPAR, Балтийское море, Калининградская область.

Как для побережья всего Балтийского моря, так и для Калининградской области, проблема морского мусора является одной из основных экологических проблем [1, 2, 3]. Морской мусор появляется на побережьях не только в летний сезон в местах отдыха населения, но и выносится из моря. Для оценки степени загрязнения пляжей Калининградской области морским мусором был выбран метод OSPAR [4]. Метод OSPAR был предложен в 1992 году, и стал первым единым стандартизованным методом мониторинга морского мусора антропогенного происхождения для побережья Северо-Атлантического региона. В дальнейшем методика была адаптирована для побережья Балтийского моря.

Пляжи, согласно методу OSPAR: (i) должны состоять, преимущественно, из песка или гальки, (ii) на протяжении всего года должны подвергаться воздействию открытого моря, (iii) должны быть доступны для исследователей весь год, (iv) минимальная длина пляжа должна быть не менее 100 м и, по возможности, более 1 км в длину.

Для оценки загрязнения пластиковым мусором на побережье Калининградской области было выбрано шесть точек: Балтийская (Вислинская) коса, пляж г. Балтийск, пляж пос. Янтарный, пляж пос. Пионерский, пляж г. Зеленоградска - корень Куршской косы, пляж национального парка Куршская коса в районе дюны Эфа.

Ранее, в работах авторов [1, 2, 3, 5, 6] показано, что основными загрязнителями побережья являются различные виды пластмасс и пенополистирол различной структуры. На основании метода OSPAR удалось уточнить количество и качество загрязнения. Оказалось, что в летние месяцы одним из основных загрязнителей являются сигаретные фильтры и пластик/полистерен. Сигаретных фильтров на пляже Балтийска было обнаружено 0.13 шт/м², на пляже в пос. Янтарный 0.46 шт/м², на пляже в пос. Пионерский - 0.20 шт/м². Мусора из пластика/полистерена на пляже в пос. Балтийская коса обнаружено 0.40 шт/м², на пляже в г. Зеленоградске - 0.10 шт/м². Единственным исследуемым пляжем, где обнаружилась вспышка загрязнения морским мусором в виде пенополистирола стал пляж на Куршской косе в районе дюны Эфа - 0.25 шт/м².

Помимо сигаретных фильтров, пенополистирола, были обнаружены такие загрязнители как геотекстиль, фрагменты от биг-бэгов, ленты и фрагменты резины от воздушных шаров, пластиковые крышки от бутылок, фрагменты одежды, фрагменты автомобильных покрышек, пластиковый лом от бытовых приборов и одноразовой посуды, пластиковые бутылки, сети/лески/канаты, ватные палочки и др.

Исследования проводятся при поддержке РФФИ и Правительства Калининградской области, грант № 19-45-393006 р_мол_а. Обработка проб в лаборатории частично выполнялась в рамках госзадания ИО РАН (тема №0149-2019-0013).

Список литературы

- 1) Есюкова Е.Е., Чубаренко И.П. Особенности распределения микропластика на песчаных пляжах Калининградской области (Балтийское море) // Региональная экология. 2018. Т. 51. №1. С. 108-121.

- 2) Есюкова Е.Е., Чубаренко И.П. Микропластик в водной толще, донных осадках и песках пляжей юго-восточной части Балтийского моря: концентрации, распределение частиц по размерам и формам // Региональная экология. 2019. Т. 56. № 2. С. 1-14.
- 3) Лобчук О.И., Килесо А.В. Присутствие, перенос и накопление частиц вспененных пластиков в прибрежной зоне Балтийского моря // В книге: Моря России: фундаментальные и прикладные исследования Тезисы докладов Всероссийской научной конференции. 2019. С. 226-227.
- 4) OSPAR, 2010. OSPAR Guideline for Monitoring Marine Litter on the Beach in the OSPAR Maritime Area, Agreement Number 2010-02, 84 p.
- 5) Esiukova E. Plastic pollution on the Baltic beaches of the Kaliningrad region, Russia // Mar. Pollut. Bull. 2017. Vol. 114. P. 1072-1080.
- 6) Есюкова Е.Е, Чубаренко Б.В., Бурнашов Е.М. Геосинтетические материалы как источник загрязнения пластиковым мусором морской среды // Региональная экология. 2018. Т. 53. №3. С. 15-28.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МИКРОПЛАСТИКОМ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

Макеева И.Н., Ершова А.А., Еремина Т.Р., Татаренко Ю.А.

Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург

Zelsl@mail.ru

Ключевые слова: микропластик, морской мусор, Арктика.

На сегодняшний день загрязнение морской среды микропластиком (частицы пластика менее 5 мм) является глобальной экологической проблемой. Из-за сложности изучения и новизны этой проблемы еще пока не существует единой стандартизированной методики по определению концентрации микропластиковых частиц в воде.

Находясь в водной среде микропластик попадает под влияние течений и распространяется по всему Мировому океану до тех пор, пока не достигнет зоны аккумуляции. В мире существует несколько таких зон («мусорных пятен»), и одна из них находится в Арктическом бассейне [1]. Российская Арктика является одной из важнейших высокопродуктивных морских экосистем Северного Ледовитого океана (СЛО), с постоянно увеличивающейся антропогенной нагрузкой, но при этом остающейся достаточно мало изученной. Поэтому изучение распространения и аккумуляции микропластиковых частиц в Арктике является новой и актуальной задачей.

Основной целью исследования была отработка методики отбора проб на содержание микропластиковых частиц в поверхностном слое воды в арктических морях, характеризующихся высокой продуктивностью, а также получение предварительных оценок загрязнения морской среды Арктики.

В 2019 году РГГМУ были проведены экспедиционные исследования в рамках программы «ТРАНСАРКТИКА-2019» с целью количественной и качественной оценки аккумуляции микропластиковых частиц в акватории российской части Арктического бассейна. Отбор проб производился на протяжении всего маршрута Северного морского пути от г. Владивосток до г. Мурманск: Охотское море - Берингово море - Чукотское море - Восточно-Сибирское море - море Лаптевых - Карское море - Баренцево море. Исследования водной среды проводились в летний период 2019 года (июль - сентябрь). В процессе экспедиции было отобрано более 120 проб воды с поверхностного горизонта.

Отбор проб производился с помощью судового насоса, встроенного в проточную систему в килевой части судна, и забирающего забортную воду по ходу судна с подповерхностного слоя (до 4 м). Вода, поступающая в пробоотборник для забора морской воды, профильтровывалась через металлическую сеть (размер ячеек сети - 100 мкм). Далее проба фиксировалась и отправлялась на лабораторный анализ.

Анализ проб проводился согласно методике, разработанной Атлантическим отделением Института океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук (АО ИО РАН) [2], и состоял из нескольких этапов:

- Очистка проб от органического материала;
- Визуальное определение микропластиковых частиц с помощью светового микроскопа;
- Спектроскопический анализ микропластиковых частиц с помощью ИК-Фурье спектроскопии.

Для получения предварительной оценки загрязнения микропластиком арктических морей обработано 14 проб, отобранных во всех морях Арктического бассейна. Получены результаты количественной и качественной оценки содержания микропластиковых частиц в поверхностном слое - среднее содержание частиц составило 0,03 шт/л. Проведено сравнение результатов с результатами международных исследований в СЛО.

Полученные данные позволят получить общую характеристику зон максимального и минимального загрязнения микропластиковыми частицами арктических морей Российской Федерации, а также могут служить основой для разработки методов мониторинга арктических морей, характеризующихся высокой продуктивностью.

Список литературы

- 1) A. Cózar, E. Martí, C.M. Duarte, J. García-de-Lomas, E.V. Seville, T.J. Ballatore, V.M. Eguíluz, J.I. González-Gordillo, M.L. Pedrotti, F. Echevarría, R. Troublè, X. Irigoien. The Arctic Ocean as a dead end for floating plastics in the North Atlantic branch of the Thermohaline Circulation//Science advances, 2017, №3 (4), с. 1-8. DOI: 10.1126/sciadv.1600582
- 2) М.Б. Зобков, Е.Е. Есюкова, Микропластик в морской среде: обзор методов отбора, подготовки и анализа проб воды, донных отложений и береговых наносов// Методы и приборы исследований, 2018, № 1 (58), с. 149–157. SDI: 007.001.0030-1574.2018.058.001

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНОВОЙ ОБСТАНОВКИ НА ЗАЩИЩЁННОЙ АКВАТОРИИ ПОРТА

Мартын И.А., Царёв В.А., Кузнецова М.Н.

Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург

irma_martyn@mail.ru

Ключевые слова: ветровые волны, гидродинамическое моделирование, Охотское море, акватория порта.

Работа посвящена расчёту распространения ветрового волнения на акватории порта, защищённого молом, при различной длине берегозащитного сооружения, определению пространственно-временной изменчивости ветрового волнения на акватории порта, расчету и анализу пространственного распределения основных характеристик ветровых волн - высоты и максимальной амплитуды. Представлена нестационарная двухмерная гидростатическая модель распространения волнения на акватории бухты Пяти Охотников [1]. Производится расчет основных характеристик ветрового волнения на акватории порта при различных параметрах берегозащитного сооружения.

Входящие данные модели - массив глубин для расчетной сетки, параметры поступающего волнения задаются с помощью фиктивного источника, расположенного у входа на акваторию порта. Высота поступающей волны задается 1 м. Используется прямоугольная сетка 400x400 узлов (шаг по вертикали 2 км, шаг по горизонтали 1 км).

Для расчета возмущений уровня морской поверхности использовались уравнения движения и неразрывности. Уравнения решаются методом конечных разностей на смещенной прямоугольной сетке, при их решении, для твердых границ устанавливается условие непротекания, на жидких границах условие пропускания. На жидкой границе условие пропускания записано с помощью импедансного соотношения, чтобы в области акватории не возникали стоячие волны. На поверхности задавалось отсутствие касательного напряжения трения ветра, на дне условие прилипания для горизонтальных составляющих скоростей течения. Выходящие данные - полученные характеристики ветрового волнения [2,3].

Расчет проводился на 24 часа, с использованием трех различных длин берегозащитного сооружения. По результатам расчетов при различных длинах мола (берегозащитное сооружение) волны претерпевают одинаковую трансформацию. В начальный момент времени входящий волновой фронт претерпевает трансформацию, фронт разворачивается, в связи с распределением глубин на акватории. Достигая берега, волны подходят к нему по нормали, отражаются и распространяются далее по акватории, таким образом, наблюдается классическая картина рефракции, которая повторяется, когда фронт волн достигнет твердой границы. В полученных результатах так же можно отметить явление дифракции. При входе волн на акваторию хорошо отделяется зоны света и тени, которая находится за молом. Наилучшим местом для стоянки судов считается зона тени из-за наименьшего влияния волнения на стоящие в порту суда [4]. Было определено, что для полного установления волнения понадобилось менее 30 минут, после заполнения всей территории порта волнением, можно отметить, что картина имеет сложную ячеистую структуру, с уменьшением высоты волны к периферии ячейки. В результате расчетов, при различных длинах берегозащитного сооружения, максимальная высота волны составила 7.5 м, при наибольшей длине мола, рассматриваемой в данной работе, максимальная высота волны составила 5.5 м. Наибольшие высоты волн наблюдаются у твердых границ и в центре акватории порта, в следствии схождения отраженных от твердых границ волн.

По результатам расчетов можно сделать вывод о том, что влияние берегозащитных сооружений на волнение в пределах акватории порта имеет место, уменьшая высоту волн и уменьшая влияние на портовые объекты. Представленная модель расчета распространения волнения на акватории

порта дает основные характеристики волнения. Полученные результаты модели не противоречат физическим законам.

Список литературы

- 1) Гилл А. Динамика атмосферы и океана. М.: Мир, 1986. Т.1. С.93-97.
- 2) Доронин Ю.П. Динамика океана. Л.:Гидрометеоиздат, 1980. С.13-23.
- 3) Доронин Ю.П. Физика океана. СПб.: изд.РГГМУ, 2000. С.46-55.
- 4) Доронин Ю.П. Океанография шельфовой зоны. СПб.: изд.РГГМУ, 2007. 128 с.

ПОПУЛЯРИЗАЦИЯ НАУКИ – ВОЗМОЖНОСТИ VS СЛОЖНОСТИ

Медведева В.Н.

ФГБУК «Музей Мирового океана», г. Калининград

v.stepancova@yandex.ru

Ключевые слова: популяризация научных знаний, science communication, музей.

Рациональное морское природопользование (РМП) требует глубокого научного подхода, комплексных естественнонаучных знаний и понимания экологических процессов. Можно отметить, что общий уровень осведомленности в этих вопросах недостаточно высок. Необходимо, чтобы знания из таких областей были объяснены доступным языком, что невозможно без масштабной, направленной на разные слои населения, популяризации развивающихся отраслей РМП. Популяризация науки (science communication) - это способ вовлечения в процесс познания, в котором используются самые различные форматы и методы общественной коммуникации. Данное направление работы с каждым годом приобретает все большую значимость, ведь научный процесс становится все сложнее и приобретает характер общественного предприятия, прочнее внедряясь в общество [3].

Сейчас сообщество популяризаторов науки России представляет собой разрозненные категории людей, заинтересованные в укреплении позиций науки на фоне её противодействия лженауке [5]. Наиболее известные и привычные для нас источники научно-популярной информации это - СМИ, интернет и научно-популярная литература [4]. Но многие забывают о музеях, перед которыми поставлены такие задачи, реализация которых привела к тому, что они рассматриваются как справочная система, как некая особая форма работы с посетителем в информационном пространстве [2]. Именно музей может выступить той структурой, которая систематизирует оригинальные «кусочки» информации из «океана информационного шума» и структурирует их с помощью логических связей [1]. В направлении science communication у музеев есть ряд преимуществ перед другими источниками и формами популяризации науки. По результатам многолетней работы со специалистами научных учреждений, проведения совместных проектов и реализации грантов были выявлены следующие особенности естественнонаучных музеев, которые могут стать прочной основой для популяризации науки:

- большое количество гостей - в 2018 российские музеи посетило более 154 млн. чел., что превышает численность населения нашей страны;
- использование и возможность адаптации практически всех форматов мероприятий по популяризации: научные кафе, парки, кружки, клубы, фестивали науки, научные слэмы, т.д.
- наличие в штате высококвалифицированных научных сотрудников - специалистов музеев можно приравнять к научным журналистам;
- высокие организационные возможности - в структуру музея входят различные подразделения, специализирующиеся именно на работе с посетителями;
- богатством музейных фондов. Изучение предметного ряда (экспонаты, модели, макеты, муляжи и т.д.) является наиболее простым и действенным способом постижения природных процессов и понимания причинно-следственных связей;
- возможность создания специальных тематических срезов по любой тематике в рамках специфики музея; междисциплинарность рассматриваемых вопросов;
- высокая степень интерактивности и аттрактивности, которая обусловлена возможностью рассмотреть, а иногда и «потрогать» музейный предмет;
- использование в образовательном процессе проблемно-целевого подхода;

- практически неисчерпаемый лимит доверия;
- свобода от академических ограничений;
- поддержка непрерывного образования.

Как и в любой системе, в музейном деле имеются сложности, которые снижают эффективность проводимой работы:

- отсутствие координированных действий музеев на национальном уровне;
- столичная локализация и фрагментарность мероприятий;
- отсутствие значимой информационной поддержки мероприятий;
- неэффективная коммуникация научных учреждений и музеев;
- отсутствие или ограниченная мотивация участия ученых в популяризации;
- работа с посетителями различного уровня и степени подготовки.

Совместная работа сотрудников музея и ведущих ученых научно-исследовательских институтов - хорошая возможность показать место современной науки в жизни каждого человека, дать представление о научных достижениях и способствовать формированию экологической культуры у широкого круга населения. Примером такого взаимодействия может служить проектирование музейного комплекса «Планета Океан», в частности раздела «Лаборатория Воды и Воздуха», над которым работают более 15 морских организаций страны и мира. На территории музея могут быть представлены передовые технологии, позволяющие анализировать обстановку в Мировом океане, антропогенное влияние, атмосферные процессы, вести учеты морских млекопитающих, оценивать экологический след морского транспорта. Музей, в котором будут отражены все сферы взаимодействия Мирового океана и Человечества, раскрыты фундаментальные основы функционирования Океана и, соответственно, Планеты, - это возможность дать объективную информацию и показать необходимость осознанного морского природопользования.

Список литературы

- 1) Ганжа А.Г. Принципы построения структурализующей концептуальной модели для «Банка знаний // Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова. Годичная научная конференция, 2001. М.: «Диполь-Т», 2001. С. 357-359.
- 2) Григорян Г.Г., Кожина Л.М. Музейные собрания научно-технических музеев: история, проблемы, перспективы: Материалы по музееведению в области истории науки и техники и научно-технических знаний. М.: Знание, 1996. 96 с.
- 3) Комарова Е.К. Наука на пороге XXI века. Свобода или ответственность // Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова. Годичная научная конференция, 2000. М.: «ИИЕТ РАН», 2000. С. 171-174.
- 4) Сухенко Н.В. Специфика популяризации науки в России // Вестник НГТУ им. Р.Е. Алексеева «Управление в социальных системах. Коммуникативные технологии». Н. Новгород, 2016. С. 19-22.
- 5) Темницкий А.Л., Мороз А.С. Потенциал популяризаторов науки в противостоянии лженаучному знанию // Социологическая наука и социальная практика. М.: ФНИСЦ РАН, 2018. С. 62-76.

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ БАРЕНЦЕВА И БЕЛОГО МОРЕЙ ПЛАВАЮЩИМ МОРСКИМ МУСОРОМ ПО ДАННЫМ СУДОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В 2019 Г.

Погожева М.П.^{1,3}, Якушев Е.В.^{1,2}, Терский П.Н.³, Глазов Д.М.⁴, Шпак О.В.⁴,
Аляутдинов В.А.³, Коршенко А.Н.^{1,3}, Ханке Г.⁵

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

²Норвежский институт водных исследований (NIVA), г. Осло, Норвегия

³Государственный океанографический институт, г. Москва

⁴Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва

⁵Объединенный научный центр (JRC), г. Испра, Италия

pogojeva_maria@mail.ru

Ключевые слова: загрязнение морских вод, морской мусор, Арктика, Баренцево море, Белое море.

В настоящее время морской мусор, особенно пластик, является одной из наиболее актуальных проблем воздействия на морскую среду в глобальном масштабе [1]. Существуют большие расходы, связанные с мировыми оценками проблемы морского мусора, попадающего в океаны каждый год. По текущим оценкам количество макропластика, поступающего с суши в морскую среду ежегодно, варьируется от 4,5 до 12,7 млн. тонн, а 1,75 млн. тонн происходит из так называемых морских источников, таких как рыболовство, аквакультура (рыбоводство) и судоходство [2]. Несмотря на то, что Арктические районы представляются мало населенными с практически отсутствием какой-либо активной промышленной и производственной деятельности, наличие активного рыболовного промысла и добыча полезных ископаемых и, соответственно, активное судоходство создает существенную нагрузку на экосистему Баренцева моря.

Целью данной работы была предварительная оценка уровня загрязнения плавающим мусором, его потенциальных источников, путей и мест скопления в Баренцевом и Белом морях на поверхности моря. Данные были получены в результате комплексной научно-исследовательской экспедиции «Трансарктика-2019» в мае-июне 2019 г. Экспедиция проходила в восточной части Баренцева моря и в части Белого моря, маршрут проходил от г.Архангельска до Земли Франца-Иосифа.

Мониторинговые наблюдения выполнялись специалистами Государственного океанографического института и Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академии наук. Наблюдения велись по ходу движения судна двумя разными методами. Проводилось тестирование европейской методики института JRC (г. Испра, Италия) согласно которой при помощи специального приложения, заранее установленного на планшеты на базе Андроид фиксировались встречи морского мусора на поверхности моря. Исходя из высоты наблюдателя над урезом воды выбиралась ширина полосы учета, в которой наблюдатель гарантированно различает объекты более 2,5 см согласно методике. Приложение позволяет записывать трек учета с привязкой каждого объекта к GPS координатам и идентифицировать объекты морского мусора по установленным общепринятым категориям. При встрече больших скоплений мусора, и фактах подтверждения источников поступления мусора или взаимодействия его с морской фауной производилась фотофиксация. Все встреченные объекты антропогенного мусора дополнительно фиксировались в полевом дневнике, в который также записывались погодные условия, волнение, видимость и прочая важная информация.

Параллельно с этими наблюдениями проводились непрерывные 24-часовые визуальные наблюдения за встречаемым мусором сменяющимися наблюдателями. Все встречаемые объекты фиксировались в бумажном протоколе с привязкой каждого объекта к GPS координатам. Наблюдения включали идентификацию категорий мусора по составу согласно методике.

Плавающий морской мусор встречался в течение всей экспедиции. Концентрация плавающего мусора значительно варьировала вдоль маршрута следования судна от обширных участков чистой воды без мусора до районов со значительными скоплениями. В данном исследовании представлены первые данные о загрязнении района исследований плавающим морским мусором, что является дополнением к общей оценке состояния окружающей среды Баренцева и Белого морей.

Работа выполнена в рамках проекта "Трансарктика-2019".

Список литературы

- 1) Kershaw P.J. Marine plastic debris and microplastics—Global lessons and research to inspire action and guide policy change. 2016.
- 2) Jambeck J.R. et al. Plastic waste inputs from land into the ocean // Science. 2015. Vol. 347. № 6223. P. 768-771.

ПРОБЛЕМА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОБЕРЕЖИЙ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА ГРАНУЛЯТОМ ПЛАСТИКА

Поляков А.Д., Ершова А.А.

Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург

badboytema@yandex.ru

Ключевые слова: пластиковые гранулы, микропластик, Финский залив, Невская губа.

Проблема загрязнения вод Финского залива различными веществами, к числу которых относятся биогенные вещества, нефть, тяжелые металлы, фенолы и органические вещества с каждым годом вызывает все большее беспокойство. В последние годы внимание приковано также к загрязнению Финского залива морским пластиковым мусором.

Морской мусор - это мусор, выброшенный людьми намеренно или попавший в водную среду или на берега случайно. Морской мусор может состоять из множества различных материалов, включая пластик, стекло, резину, дерево, металл и бумагу. Морской мусор классифицируется в зависимости от размера: макромусор - частицы размером более 25 мм; мезомусор - от 5 до 25 мм. Особый интерес представляет микромусор, частицы которого составляют менее 5 мм, среди которого выделяют микропластик, являющийся большей частью всего пластика, попадающего в водные экосистемы и циркулирующий в Мировом океане до тех пор, пока не осядет на дно [1].

Микропластик - это твердые частицы синтетических полимеров, размером менее 5 мм [1]; его разделяют на первичный и вторичный в зависимости от происхождения. Первичный микропластик — это специально произведённые и\или добавленные в различную продукцию микрогранулы пластика (например, микрошарики в косметике или в пескоструйных машинах в строительстве). Вторичный микропластик возникает, когда крупные пластиковые отходы под воздействием агрессивных факторов среды (УФ-излучение, соленость и др.) распадаются в природной среде на микроскопические частицы.

Одним из самых распространенных видов первичного микропластика является гранулят пластика или гранулы (пеллеты, «mermaid tears» - «русалочьи слёзы») [2]. Основным предполагаемым источником гранулята пластика в воде является кораблекрушение или потери при разгрузке контейнеров (чаще всего из-за не герметичной упаковки). Гранулят пластика перевозят морским транспортом, чтобы уже в стране производителя выплавить необходимое количество изделий, тогда как производство гранулята может находиться в другой точке мира [1, 2].

Гранулят пластика является одним из основных типов морского мусора, который можно найти даже на самых отдалённых пляжах Тихого океана - он преодолевает огромные расстояния. Опасность нахождения гранулята пластика в воде связана с прямым причинением вреда животным, а также пластиковые изделия впитывают из воды органические загрязнители, включая ПХБ, ДДТ и ПАУ, некоторые из которых не только токсичны — их структура сходна с гормоном эстрадиолом, что приводит к гормональному сбою у отравленного животного [2, 3].

Актуальность данной работы связана с глобальным увеличением количества морского мусора антропогенного происхождения в мировом океане, и отсутствием оценок загрязнений во многих его частях, в частности в Финском заливе Балтийского моря. В связи с этим, целью работы было проведение исследование распределения пластикового морского мусора, в частности пластиковых гранул, на берегах Невской губы и восточной части Финского залива. Для достижения цели были проведены полевые исследования летом 2018 года, когда было обследовано 13 пляжей и осенью 2019 года следования проводились на 4 пляжах, на территории Санкт-Петербурга и в его окрестностях с использованием двух международных методик мониторинга морского мусора на побережьях, которые были адаптированы для Балтийского побережья Институтом исследования Балтийского моря Лейбница [4, 5].

Для полевых исследований использовались два метода отбора проб [4, 5]: Фрейм метод (метод рамки), когда исследуется фиксированная часть пляжа от уреза воды до конца зоны заплеска, и Рейк метод (метод граблей), при котором песчаный пляж обследуется по всей ширине между линией воды и линией растительности. Обе методики предполагают просеивание песка с использованием размера ячейки сита до 2 мм [4].

За 2018 год Фрейм методом на побережьях Финского залива и Невской губы было найдено всего 86 гранул, Рейк-методом - 268 гранул, но стоит отметить, что все пробы, отобранные Рейк-методом, были взяты за пределами Невской губы. Тогда как за 2019 год Фрейм методом удалось найти 21 гранулу, Рейк методом только 10. В 2020 году мониторинг пляжей будет продолжен, 4 пляжа с ежемесячным отбором проб для определения динамики и распространения гранулята пластика в течение года.

BalticLitter

Список литературы

- 1) Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W., ... & Russell, A. E. (2004). Lost at sea: where is all the plastic? // *Science*, 304(5672), 838-838.
- 2) Karlsson T.M. et al. The unaccountability case of plastic pellet pollution. *Marine Pollution Bulletin*. 2018. Vol. 129. № 1. P. 52-60.
- 3) Frumin, G.T. *Environmental toxicology (ecotoxicology). A course of lectures.* – St. Petersburg: RSHMU Publishers, 2013. – 34pp.
- 4) Haseler, M., Schernewski, G., Balciunas, A. et al. (2018). Monitoring methods for large micro- and meso-litter and applications at Baltic beaches // *J Coast Conserv* 22: 27.
- 5) Eremina T., Ershova A., Martin G., Shilin M. (2018). Marine litter monitoring: review for the Gulf of Finland coast. // *IEEE/OES Baltic International Symposium (BALTIC)*, 8 p. DOI: 10.1109/BALTIC.2018.8634860

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА В УПРАВЛЕНИИ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕМ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Санин А.Ю.

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

eather86@mail.ru

Ключевые слова: морское пространственное планирование, прибрежная зона, управление природопользованием, рекреация.

В настоящее время для прибрежной зоны морей Российской Федерации характерны ряд проблем: конфликты интересов природопользователей, последствия неблагоприятных и опасных явлений природы, которые могут угрожать здоровью и даже жизни людей и приводить к ощутимому материальному ущербу, загрязнение окружающей среды и преобразование природных ландшафтов. Представляется, что продуманное управление природопользованием, учитывающее и мировой опыт, и местные особенности, позволило бы как минимум несколько смягчить остроту проблем, характерных для региона.

После перехода от социалистической к рыночной экономике актуальность использования зарубежного опыта в управлении природопользованием возрастает, так как с развитием механизма частной собственности у органов управления несколько уменьшается контроль над деятельностью природопользователей в целом и в прибрежной зоне в частности, что для России является достаточно новой тенденцией, а для большинства зарубежных стран – нет. Хотя, разумеется, необходимость механического копирования всего происходящего в управлении природопользованием за рубежом отсутствует. В частности, требования обеспечения свободного доступа к морю, предусмотренное законодательством Российской Федерации, но отсутствующее за рубежом, представляется важным для обеспечения потребностей всех природопользователей, и в целом позитивным для развития рекреационного и селитебного природопользования.

Некоторые составляющие зарубежного опыта в управлении природопользованием в прибрежной зоне вызывают особенное внимание, необходимо рассмотреть вопрос об использовании их в той или иной степени и для прибрежных зон морей и внутренних водоемов Российской Федерации. К ним относятся:

1. Приоритетный характер рекреационного природопользования (отмечаемый в литературе (Долотов, 1996)), особенно для привлекательных для рекреации регионов. Лишь небольшая часть побережья морей Российской Федерации пригодна для традиционной, массовой купально-пляжной рекреации, которая играет важную роль в поддержании работоспособности и здоровья туристов, а также благополучия местных жителей рекреационных территорий.

2. Активное использование принципов морского пространственного планирования (МПП). Это позволяет увязывать интересы различных природопользователей. В России МПП уже активно внедряется в отдельных регионах, в частности, для прибрежной зоны Балтийского моря. Более того, разработка МПП и внедрение его принципов активизируют международное сотрудничество России с остальными странами, имеющими выход к Балтийскому морю (Palmowski, 2018).

3. Экономическая оценка геоэкологических услуг, оказываемых природными экосистемами, в том числе и аквальных ландшафтами. Такая оценка позволяет представлять реальную ценность природных ландшафтов, и учитывать ее при принятии управленческих решений. Часто стоимость таких услуг превышает выгоду, получаемую от хозяйственного использования территории, что заставляет поднимать вопрос о целесообразности преобразований природных ландшафтов человеком, в результате чего они полностью или частично утрачивают способность оказывать геоэкологические услуги.

4. Развитие сети особо охраняемых природных территорий (ООПТ), в частности, национальных парков, и экологического туризма в их пределах. По существующим международным рекомендациям, к ООПТ должно относиться не менее 10% территории. Если для прибрежных слабоосвоенных регионов, например, арктического или большей части дальневосточного побережья достижение такого результата не вызывает сложности, то для староосвоенных побережий, характеризующихся высокой конкуренцией природопользователей за территорию, достичь такого показателя весьма затруднительно. Однако многие виды ООПТ, в частности, национальные парки, не характеризуются запретом на любую хозяйственную деятельность в своих пределах. Охраняемые природные ландшафты часто представляют интерес для рекреантов, что позволяет развивать экологический туризм в дополнении к традиционной пляжно-купальной рекреации. Удачными для совмещения экологического туризма и пляжно-купальной рекреации представляется Калининградская область (Куршская коса), Черноморское побережье (ООПТ гор Крыма и Кавказа), окрестности Владивостока, побережье Каспийского моря (дельта Волги) и некоторые другие участки побережья морей и внутренних водоемов.

Внедрение указанных и некоторых других (концепций управления прибрежной зоной, уже разработанных для некоторых участков, системного подхода, кластерного подхода и др.) зарубежных наработок в управлении природопользованием прибрежными зонами при максимальном учете местных особенностей и интересов всех природопользователей будет способствовать повышению эффективности управления природопользованием и смягчению конфликтов между его различными типами.

Список литературы

- 1) Долотов Ю.С. Проблемы рационального использования и охраны прибрежных областей Мирового океана // М.: Научный мир, 1996. 304 с.
- 2) Palmowski T., Tarkowski M. Baltic Cooperation in Marine Spatial Planning // Baltic Region. 2018. Vol. 10. № 2. P. 100-113.

ПРОСТРАНСТВЕННО-РАСПРЕДЕЛЕННАЯ МОДЕЛЬ РЕКРЕАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРИРОДНО-ХОЗЯЙСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ СЕВАСТОПОЛЬСКОГО РЕГИОНА

Свищев С.В.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

sergsvishchev09@gmail.com

Ключевые слова: эколого-экономическое моделирование, рекреационный потенциал, Севастополь, адаптивный баланс влияний.

Туристическая индустрия в настоящее время является одной из крупнейших, высокодоходных и наиболее динамично развивающихся отраслей мирового хозяйства, создавая свыше 10 % мирового валового национального продукта. Туризм оказывает влияние на все стороны регионального развития, способствуя пополнению регионального бюджета, совершенствованию социальной и рыночной инфраструктуры, решению проблемы занятости населения путем создания новых рабочих мест, укреплению межгосударственных и межрегиональных связей. Для Севастопольского региона, обладающего высоким туристско-рекреационным потенциалом, уникальными природными и культурно-историческими ресурсами, проблема развития въездного и внутреннего туризма имеет особое значение.

Однако развитие туризма в Севастопольском регионе сдерживается рядом факторов, к основным из которых можно отнести неоднородное и недостаточное развитие туристской инфраструктуры; отсутствие комплексного взгляда на регион как на туристскую дестинацию; отсутствие иерархичности и взаимосвязанности широкого ассортимента предлагаемых туристских и сопутствующих услуг; низкая платежеспособность населения; отсутствие действенных механизмов регулирования и поддержки развития туризма в регионе. В этих условиях важное теоретическое и практическое значение имеет пространственно-временная оценка рекреационно-туристской привлекательности отдельных районов и локаций, их синергии и совокупного вклада в рекреационно-туристский потенциал региона. Подобного рода оценка необходима для принятия экономически обоснованных и территориально дифференцированных рекомендаций и управленческих решений по развитию туристской индустрии природно-хозяйственного комплекса «берег - море» Севастопольского региона.

В оценке привлекательности рекреационных зон имеются серьезные методические трудности, так как элементы природной среды не имеют однозначных количественных оценок и на рекреационную ценность территории значительное влияние оказывают туристские предпочтения (традиции, мода и др.), носящие субъективный характер. Оценки природных туристских ресурсов по их запасам, истощению и восстановлению природных комплексов могут использоваться при планировании рекреационного развития территорий, но их социально-экономическое значение этим не исчерпывается. Так, с помощью ресурсного подхода нельзя оценить оздоровительный эффект природного комплекса, его привлекательность, экологичность и др.

Для преодоления этих сложностей предлагается методика интегральной оценки рекреационно-туристской привлекательности территории, основанная на комплексном подходе с использованием экспертных оценок и статистического анализа, учитывающая транспортную доступность, природно-экологические и социально-экономические условия, уровень развития рекреационно-туристской инфраструктуры по предложенной совокупности сгруппированных показателей с вычисляемыми весовыми коэффициентами.

При построении массивов, оценивающих распределение рекреационно-туристской привлекательности отдельных районов и локаций, мы исходили из максимального значения рекреационной емкости на пляжах (150 условных единиц), с последующим поэтапным понижением для объектов

кратковременного туристического интереса - памятников, театров, музеев, храмов (100 условных единиц), для сферы туристических услуг - гостиниц, домов отдыха (70 условных единиц). Учитывалась также транспортная обеспеченность мест расположения потребителей рынка туристских услуг и рекреационных ресурсов, повышающая в районах с остановками общественным транспортом значение индекса рекреационной привлекательности на 8 условных единиц. С другой стороны, негативный эффект от антропогенного загрязнения объектов природно-хозяйственного комплекса «берег - море» отражен в понижении индекса рекреационной привлекательности для районов сброса сточных вод (от 40 единиц в районах периодического сброса в малых объемах - до 0 условных единиц в районах постоянного обильного сброса).

После чего был рассмотрены массивы, включающие в себя объекты рекреационной привлекательности. Выбранный нами район Севастопольского региона - Большая Севастопольская бухта обладает минимальным потенциалом пляжной рекреации - всего около 1 га (или 2.5 % от общей площади) пляжей. Это пляжи «Ушакова балка», «Хрустальный», водной станции КЧФ и «Матюшенко». Помимо них на границах рассматриваемого района расположены пляжи «Толстяк», «Песочный» и «Солнечный». Однако историко-культурный рекреационный потенциал данного района имеет чрезвычайно высокую плотность. Рассмотрены 48 основных достопримечательностей - от Диорамы и Максимовой дачи на южной, до крепости Каламита в Инкермане на восточной границах рассматриваемого района. Наряду с этим учитывалось влияние 32 крупнейших гостиниц и гостевых домов, а также 35 точек сброса сточных вод - 15 постоянных и 20 переменных.

В результате получена карта распределения индекса рекреационной привлекательности вокруг Севастопольской бухты - в условных единицах от 0 до 150. Также произведены численные эксперименты по усвоению разработанного индекса эколого-экономической моделью, основанной на принципах адаптивного баланса влияний [1, 2].

Простейший анализ позволяет выделить несколько центров привлекательности: район парка Ахматовой, центр города, Ушакова балка и Малахов курган, Северная сторона, район пляжа Толстяк - и несколько центров с отрицательным прогнозом развития рекреации, обусловленным как затрудненной или ограниченной доступностью, так и неблагоприятной экологической ситуацией.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-47-920001 р_а, а также 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. 2018. Т. 34, № 5. С. 454-467.
- 2) Тимченко И.Е., Игумнова Е.М., Свищев С.В. Применение принципов адаптивного моделирования морских экосистем к гидрохимическим наблюдениям в Севастопольской бухте // Морской гидрофизический журнал. 2019. Т. 35, № 1. С. 70-84.

МОНИТОРИНГ ПЛАСТИКОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ПОБЕРЕЖЬЯХ ВНУТРЕННИХ ВОДОЕМОВ (КУРШСКИЙ И ВИСЛИНСКИЙ ЗАЛИВЫ)

Хатмуллина Л.И.¹, Есюкова Е.Е.¹, Чубаренко И.П.¹, Гирайте Г.^{2,3}

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

²Институт исследований Балтийского моря им. Лейбница, г. Росток, Германия

³Клайпедский университет, г. Клайпеда, Литва

liliakhatmullina@gmail.com

Ключевые слова: микропластик, пластиковый мусор, мониторинг, Балтийское море, Куршский залив, Вислинский залив.

Проблема загрязнения морской среды пластиковыми отходами на данный момент имеет глобальный масштаб и значение. Наблюдение за концентрациями и составом морского мусора и, в частности, пластиковых отходов с недавнего времени является частью программ мониторинга различных международных организаций - HELCOM, MSFD, UNEP, GPML, GESAMP, EMODnet и др. Мониторинг пластикового макромусора в основном ограничен морскими пляжами. Исследования состояния побережий внутренних водных объектов - озер, лагун, эстуариев и устьев рек - довольно немногочисленны, методы мониторинга не разработаны. С другой стороны, наблюдение за экологическим состоянием этих систем крайне важно, поскольку они (1) могут иметь высокие уровни загрязнения и (2) эстуарии и устья рек могут являться одними из основных источников мусора для морской среды; (3) имеют большое значение для использования человеком в хозяйственных и рекреационных целях. Крупнейшими внутренними водоемами Калининградской области являются Куршский и Вислинский заливы, обладающие значительными рыбными запасами, а также являющиеся местами отдыха населения.

Для тестирования на берегах внутренних водоемов использовалась методика «Marine litter sampling method» (IOW), включающая оценку макро-, мезо- и крупного микромусора (> 2 мм). Визуальный осмотр выброшенного на берег макромусора производился на прямоугольной площадке, включающей зону заплеска, размером 40 м² (4x10 м) вдоль уреза. Область осматривалась, и все найденные предметы размером > 25 мм отбирались и отмечались в таблице. Далее на размеченной площадке отмечались два квадрата площадью 1м², для отбора мезо- (5-25 мм) и крупного микромусора (2-5 мм). Первый квадрат S1 выбирался в наиболее загрязненном месте в зоне заплеска. Вторым квадратом S2 выбирался на расстоянии 3 м от края квадрата S1. Отбор проб производился путем промывания верхнего слоя (2 см) пляжевого грунта на металлическом сите 2 мм и отбора фрагментов антропогенного происхождения в оставшемся на сите осадке. Чтобы доказать, что место отбора не влияло на результаты мониторинга, проводился как минимум один дополнительный контрольный отбор. Для этого размечалась аналогичная площадка T2_{macro} на расстоянии 10 м от края изначальной площадки T1_{macro} в зоне заплеска.

В июле-октябре 2018 г. было выполнено обследование 6 пляжей Куршского залива и 8 пляжей Вислинского залива (включая приустьевой участок р. Преголи). Для каждой точки отбора проб, согласно методике, проведено не менее одного дополнительного контрольного отбора. Всего получено 66 проб, найдено 649 объектов антропогенного происхождения (фрагменты кирпича/керамики, пластиковые пеллеты, предметы, фрагменты, стекло, резина, металл). Из них пластиковый мусор составил 67%. Средние концентрации антропогенного мусора на пляжах составили: в Куршском заливе - 27 единиц макро/мезомусора на 40 кв.м пляжа и 16 ед./м² микромусора; в Вислинском заливе - 10.8 единиц макро/мезомусора на 40 кв.м пляжа и 6.3 ед./м² микромусора.

Побережье устьевой зоны р. Преголи, несмотря на повышенную рекреационную нагрузку со стороны пос. Шоссейное, Прибрежный, активную судоходную деятельность и близость к городскому порту, не выделялось по уровню загрязнённости. В целом, анализ показал, что отдаленность

пляжа от населенных пунктов не связана с количеством мусора на пляжах. Основными критическими факторами миграций мусора в морской прибрежной зоне являются скорость и направление ветра, высоты волн, экспозиция берега к ветру [1]. Исходя из оценок, представленных в [2], южная часть Куршского залива и северо-восточная часть Вислинского залива, где проводился мониторинг, имеют схожие уровни антропогенной нагрузки. В связи с этим можно предположить, что полученные различия в концентрациях мусора на побережьях могут быть обусловлены разницей гидродинамического режима исследованных частей заливов. Действительно, течения в Вислинском заливе имеют сложный и быстро изменяющийся характер. Режим течений обусловлен ветром, водообменом с Балтийским морем, речным стоком и морфометрическими условиями залива, причем первые два фактора являются определяющими [3]. В части залива, примыкающей к проливу, течения в основном направлены либо в залив, либо в пролив. В устье р. Преголи течения преимущественно направлены в морской канал [3]. Куршский залив можно формально разделить на две части: северную, гидродинамика которой определяется стоком реки Неман, и южную, где ветер является единственным гидродинамическим воздействием. Южная часть лагуны имеет длительное время обновления вод, рассчитанное для Лагранжевых трассеров (120 дней по модели SHYFEM), и может быть классифицирована как зона аккумуляции [4]. Таким образом, пластиковый мусор в этой части залива также будет циркулировать длительное время, переотлагаясь на берегах, и иметь потенциал к постепенному накоплению.

Методика «Marine litter sampling method» (IOW) позволила провести отбор образцов, а также количественное и качественное сравнение уровней загрязненности берегов различных лагун (Куршский и Вислинский залив) и таким образом имеет потенциал для использования на побережьях других внутренних акваторий. Для более точного описания загрязненности побережий исследованных акваторий необходимо дальнейшее проведение регулярных мониторингов, расширение количества точек отбора проб с включением территорий Польши и Литвы, более детальная оценка хозяйственной и рекреационной деятельности, а также регистрация метеорологических условий и гидродинамических параметров во время проведения мониторинга.

Работа была выполнена при поддержке РФФИ, проект № 18-55-76001 «Пояс мусора вдоль побережий Балтийского моря: мониторинг, влияние, очищение».

Список литературы

- 1) Chubarenko I. Microplastics in sea coastal zone: Lessons learned from the Baltic amber / I. Chubarenko, N. Stepanova // Environmental pollution. - 2017. - Vol. 224. - P. 243-254.
- 2) Chubarenko B. Transboundary Lagoons of the Baltic Sea (Chapter 6) / B. Chubarenko, D. Domnin, S. Navrotskaya et al. // The Diversity of Russian Estuaries and Lagoons Exposed to Human Influence, Estuaries of the World. Ed.: R. Kosyan. Cham, 2017. - P. 149-191.
- 3) Лазаренко, Н. Н. Гидрометеорологический режим Вислинского залива / Н. Н. Лазаренко, А. Маевский. – Л. : Гидрометеоиздат, 1971. - 279 с.
- 4) Ferrarin C. Hydraulic regime-based zonation scheme of the Curonian Lagoon / C. Ferrarin, A. Razinkovas Arturas, S. Gulbinskas, G. Umgieser, L. Bliudziute // Hydrobiologia. - 2008. - Vol. 611. - №. 1. - P. 133–146.