МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

VIII ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

МОРЯ РОССИИ: СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ

(Севастополь, 23–27 сентября 2024 года)

Севастополь
2024

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF THE RUSSIAN FEDERATION

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

MARINE HYDROPHYSICAL INSTITUTE OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

VIII ALL-RUSSIAN SCIENTIFIC CONFERENCE

THE SEAS OF RUSSIA: MODERN RESEARCH METHODS AND THEIR PRACTICAL APPLICATIONS

(Sevastopol, 23–27 September 2024)

PROCEEDINGS

Sevastopol
2024

УДК 551.46:061.3
М79

М79 **Моря России: современные методы исследований и их практические применения = Seas of Russia: Modern Research Methods and Their Practical Application :** тезисы докладов VIII Всероссийской научной конференции, Севастополь, 23–27 сентября 2024 г. – Севастополь : ФГБУН ФИЦ МГИ, 2024. – 353 с. ; 21 см. – 50 экз. – ISBN 978-5-6043409-7-4. – Текст : непосредственный.
ISBN 978-5-6043409-7-4

В сборнике представлены тезисы докладов VIII Всероссийской научной конференции «Моря России: современные методы исследований и их практические применения». Тематика докладов охватывала следующие вопросы: экспериментальные и теоретические исследования гидродинамических, термохалинных, литодинамических и биогеохимических процессов; современные и перспективные методы, средства и алгоритмы контактных и дистанционных измерений; математическое моделирование океанологических процессов; исследование влияния изменений климата и антропогенного воздействия на состояние морской среды; информационно-ресурсное обеспечение океанологических исследований и морехозяйственной деятельности; методы и средства защиты морской среды и обеспечения рационального природопользования; проблемы береговой зоны моря.

Редколлегия: чл.-корр. РАН, д. г. н. *С. К. Коновалов,*
д. г. н. *Е. Ф. Васечкина*, д. г. н. *Ю. Н. Горячкин*,
д. ф.-м. н. *А. А. Кубряков*, д. ф.-м. н. *А. И. Кубряков*,
д. ф.-м. н. *А. М. Чухарев*, к. ф.-м. н. *Д. В. Алексеев*,
к. ф.-м. н. *А. В. Багаев*, к. ф.-м. н. *О. А. Дымова*,
к. ф.-м. н. *И. Е. Козлов*, к. г. н. *А. А. Латушкин*,
к. г. н. *Н. А. Орехова*, к. т. н. *С. В. Федоров*,
к. ф.-м. н. *Ю. Ю. Юровский*,
Н. А. Конопляникова, *Н. Б. Мороз*

Конференция проводится под эгидой Морской коллегии при Правительстве Российской Федерации и при информационной поддержке Севастопольского городского отделения Русского географического общества и Музея Мирового океана.

ISBN 978-5-6043409-7-4

© Коллектив авторов, 2024
© ФГБУН ФИЦ МГИ, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

Матишов Г. Г., Григоренко К. С. Геоэкологические последствия зарегулирования рек в условиях маловодного климата 36

СЕКЦИЯ 1
ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ В МОРСКОЙ СРЕДЕ НА ОСНОВЕ КОНТАКТНЫХ И ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ

Андрулионис Н. Ю., Подымов О. И., Соловьев В. А. Ошибки при расчете плотности по данным CTD-зонда в субкислородном слое Черного моря 38
Безгин А. А., Лунев Е. Г., Смоляницкий В. М. Малогабаритные автономные буйковые станции с передачей данных через спутниковые системы связи «Гонец» и «Арктика-М» 39
Василенко Н. В., Кубряков А. А., Станичный С. В., Алескерова А. А., Медведева А. В. Распространение плюма реки Кубани по оптическим спутниковым данным 41
Василенко Н. В., Кубряков А. А., Станичный С. В., Алескерова А. А., Медведева А. В. Проявление субмезомасштабных процессов в Азовском море в полях температуры поверхностного слоя 42
Воронцов А. А., Баталкина С. А., Булыгин А. М., Нефедова Г. И. Характеристики термического режима Черного и Азовского морей в современный период 44
Гайко Л. А. Температурный режим вдоль побережья залива Петра Великого, Японское море, за период с конца XIX по начало XXI века на примере гидрометеостанции Владивосток 45

Гайский П. В., Козлов И. Е., Шайда О. В., Давидович А. Р. Разработка термопрофилирующего буя для арктических исследований 47
Гайский П. В., Шайда О. В., Давидович А. Р. Буксируемо-зондирующие режимы измерения профилей температуры с помощью термопрофилемеров на малых глубинах 48
Гармашов А. В., Марюшкин Ю. А., Толокнов Ю. Н., Коровушкин А. И. Штормовое волнение в районе Южного берега Крыма по натурным измерениям на стационарной океанографической платформе 49
Герасюк В. С., Кулыгин В. В., Подобедова А. В. Оптические свойства растворенного органического вещества вдоль водного континуума 51
Греков А. Н., Греков Н. А. Восстановление вертикального профиля скорости звука по данным, полученным точечными и распределенными измерителями 53
Григорьев А. В., Морозова М. И. Статистические характеристики изменчивости подповерхностных течений в Керченском проливе по данным инструментальных наблюдений в 2020–2021 годах 54
Григоренко К. С. Динамика морских вод и гидрология прибрежных районов Азовского моря в районах Чумбурской, Сазальникской и Камышеватской кос 56
Ежова Е. А., Гавриков А. В. Восстановление частотного спектра ветрового волнения из данных судовой радиолокационной станции 57
Жук В. Р., Кубряков А. А. Влияние динамики Восточно-Сибирского течения на распространение тихоокеанских вод в Чукотском море 59
Козлов И. Е. Кинематика внутренних волн и морского льда в Арктике по данным спутниковой радиолокации 60
Козлов И. Е., Коржуев В. А., Копышов И. О., Павлов М. И., Зубов А. Г., Зимин А. В. Характеристики турбулентности верхнего слоя арктических морей по данным микроструктурных измерений летом 2023 года 61

Копышов И. О., Козлов И. Е. Анализ режимов потока в проливе Карские Ворота по данным натурных и модельных наблюдений в июле 2023 года 63
Коржуев В. А., Чухарев А. М., Павлов М. И., Казаков Д. А. Параметризация характеристик турбулентности в приповерхностном слое моря по данным натурных измерений 65
Кориненко А. Е., Малиновский В. В. Натурные исследования глубины проникновения пузырьков воздуха, формируемых обрушениями 66
Кубряков А. А., Станичный С. В., Орлов А. Н. Определение температуры поверхности Черного моря по измерениям спутника «Метеор-М» на основе калибровки с данными MODIS 67
Кудинов О. Б., Лишаев П. Н., Латушкин А. А., Крыль М. В., Рябоконь Д. А., Хурчак А. П. Гидрооптические исследования в летний период 2024 года в Голубом заливе (пгт Кацивели) 69
Кузнецов А. С. Особенности долгопериодных колебаний прибрежного течения у Южного берега Крыма 71
Кузьмин А. В., Козлов И. Е. Пространственно-временная изменчивость короткопериодных внутренних волн в акваториях морей Карского и Лаптевых по данным спутниковых радиолокационных наблюдений летом 2022 года 73
Кузьмичёва Т. Ф. Результаты анализа сгонно-нагонных явлений в районе Аральского моря по снимкам, полученным со спутников AQUA/TERRA 74
Куликовский К. В., Байкова Т. В., Лихачева М. В., Алиев Г. М., Планкина М. Б. Оценка работоспособности лазерного волнографа в условиях различной фоновой засветки 75
Латушкин А. А., Артамонов Ю. В., Скрипалева Е. А., Федирко А. В. Синоптическая изменчивость поля мутности и гидрологических параметров на поверхности моря у берегов Крыма по данным натурных измерений летом 2023 года 76

Лемешко Е. Е. Изменчивость течений в проливе Фрама по спутниковым данным 78
Лукашова О. А., Белокопытов В. Н. Проявление процессов формирования холодного промежуточного слоя в Черном море на шельфе Юго-Западного Крыма 79
Маньковская Е. В., Корчемкина Е. Н. Угол цветности вод Черного и Азовского морей по данным спутниковых и контактных измерений 80
Маньковская Е. В., Морозов А. Н. Распределение взвешенного вещества весной 2019 года в северо-восточной части Черного моря по данным гидрооптических измерений 81
Медведева А. В., Станичный С. В., Василенко Н. В. Апвеллинг в Мраморном море 82
Метик-Диюнова В. В., Хамицевич Н. В. Оценка влияния циркуляционных механизмов на закономерности межгодовой и сезонной изменчивости аномалий температуры воздуха в районе Южного берега Крыма 84
Новиков Б. А. Изучение дрейфующего морского льда в Арктике с помощью дрона 86
Петренко Л. А., Козлов И. Е., Коник А. А. Особенности вихреобразования в Баренцевом море в условиях ослабления Полярного фронта 87
Пилик Д. И., Медведев И. П., Архипкин В. С. Многолетние изменения уровня Черного моря 88
Погребной А. Е. Климатическая изменчивость температуры воздуха в проливе Фрама 90
Погребной А. Е., Белокопытов В. Н. Характеристики дрейфа айсберга D28 по спутниковым данным Sentinel-1A/B 91
Полозок А. А., Фомина И. Н. Характеристика условий возникновения штормовых ситуаций в районе морской станции Мысовое 92
Рубакина В. А., Симонова Ю. В., Марюшкин Ю. А. Мониторинг температуры поверхностного слоя моря в акватории Южного берега Крыма в 2023 году на основе спутниковых и контактных данных 94

Рубакина В. А., Станичный С. В., Кубряков А. А. Суточный ход температуры в зоне речного плюма и его особенности по данным дистанционного зондирования 96
Свергун Е. И., Глухов В. А., Глитко О. В. Проявления короткопериодных внутренних волн в прибрежных районах Авачинского залива по данным различных сенсоров дистанционного зондирования.....98
Свергун Е. И., Маховиков А. Д., Зимин А. В. Короткопериодные внутренние волны тихоокеанской акватории Камчатки и северных Курильских островов по данным многолетних спутниковых радиолокационных наблюдений 2015–2021 годов 100
Станичный С. В., Василенко Н. В., Медведева А. В., Кубряков А. А. Красные приливы в Таганрогском заливе Азовского моря.....102
Станичный С. В., Медведева А. В., Кубряков А. А., Станичная Р. Р., Михайличенко Т. В. Внутренние волны: механизмы проявления в данных ДЗЗ, взаимодействие с динамическими структурами 103
Степанов Д. В., Островский А. Г. Вертикальное перемешивание в северо-западной части Японского моря в период апрель – октябрь 2015 года.....104
Стерлядкин В. В., Рубан О. А., Алиев Г. М. Измерение капиллярных волн на океанографической платформе.....105
Татаренко Ю. А., Глушаков Г. Д., Мороз А. А., Паутова Е. М., Аверкиев А. С., Шевчук О. И. Исследование особенностей термохалинной структуры и динамики вод в проливе Бьеркезунд и Выборгском заливе 106
Федирко А. В., Артамонов Ю. В., Скрипалева Е. А. Термохалинная структура вод северной части Черного моря в марте 2024 года по данным измерений на НИС «Профессор Водяницкий».....108
Хамицевич Н. В., Майборода С. А., Казаков С. И., Метик Диюнова В. В., Богуславский А. С. Изменение засушливости климата Южного берега Крыма 110
Чепыженко А. А. Общее взвешенное и растворенное органическое вещество в прибрежных водах Черного

и Азовского морей: вопросы калибровки и достоверности данных 112
Чухарев А. М., Павленко О. И., Зубов А. Г., Павлов М. И., Коржуев В. А. Генерация турбулентности локальными вихревыми структурами 114
Шибанов Е. Б., Папкова А. С. Новый метод восстановления спектрального коэффициента яркости моря на основании спутниковых данных первого уровня обработки 115
Шоларь С. А., Стельмах Л. В., Суслин В. В., Алатарцева О. С. Лабораторный эксперимент по изучению спектров показателя поглощения света типичных представителей фитопланктона Черного моря 117
Шукало Д. М., Шульга Т. Я. Сравнительный анализ данных спутниковых наблюдений о поверхностной солености Черного моря и натурных измерений 119
Юровский Ю. Ю., Кудинов О. Б. О точности волнографических измерений инерциальными датчиками 121

СЕКЦИЯ 2
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В МОРСКИХ СИСТЕМАХ, МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ МОДЕЛИ

Артамонова К. В., Лукьянова О. Н., Гладышев С. В. Изменчивость характеристик промежуточных и глубинных вод в северной части Атлантического океана 123
Атаджанова О. А., Зимин А. В., Коник А. А. Многолетняя изменчивость характеристик суб- и мезомасштабных вихрей в Курило-Камчатском регионе Тихого океана 125
Атаджанова О. А., Козлов И. Е., Коник А. А., Плотников Е. В., Медведева А. В. Генерация и эволюция вихрей за мысами острова Надежды в Баренцевом море по данным спутниковых наблюдений и приливной модели 127

Багаев А. В., Белоконь А. Ю., Манилюк Ю. В., Юровский Ю. Ю., Кальпа В. А. О проводимых в МГИ численных и натурных экспериментах по исследованию сейшевых колебаний в системе связанных бухт на примере системы севастопольских бухт 128
Багатинская В. В., Багатинский В. А., Дианский Н. А., Гусев А. В., Морозов Е. Г. Геострофическая и дрейфовая составляющие динамики вод Южного океана..... 130
Багатинский В. А., Багатинская В. В., Морозов Е. Г., Дианский Н. А. Изменчивость купола температуры глубинной воды моря Уэдделла в зависимости от циклонической активности 131
Базюра Е. А., Губарев А. В., Полонский А. Б. О влиянии климатических мод Атлантико-Евразийского региона на завихренность касательного напряжения трения ветра над Черным морем 132
Башарин Д. В., Шокурова И. Г. Продолжительные ветры над Черным морем летом и события атмосферного блокирования 134
Белоконь А. Ю., Лазоренко Д. И., Фомин В. В. Математическое моделирование распространения длинных волн в проливе Босфор 135
Букатов А. А., Павленко Е. А., Соловей Н. М. Климатическая изменчивость верхнего квазиоднородного слоя в Баренцевом и Карском морях..... 136
Бухарев А. А. Глубина верхнего квазиоднородного слоя и ее изменение при наличии бриза в совместной модели океана и атмосферы..... 138
Воронцов А. А., Белов С. В., Белова К. В., Мельников Д. А. Информационно-ресурсное обеспечение океанологических исследований и морской деятельности 140
Глухов Л. А., Маркова Н. В., Дымова О. А. Анализ циркуляции Черного моря в 2022 г. на основе численного моделирования..... 141
Даньшина А. В. Пространственно-временные изменения характеристик слоя атлантических вод бассейна Нансена 142

Демышев С. Г., Дымова О. А. Пример использования новых дискретных уравнений переноса тепла и соли для моделирования циркуляции Черного моря 143
Дешова Д. В., Гордеева С. М. Роль атмосферы в тепловом балансе поверхности Печорского моря 145
Довгая С. В., Манилюк Ю. В., Фомин В. В., Лазоренко Д. И. Численные эксперименты по моделированию длинных волн в системе связанных бухт 147
Дорофеев В. Л., Сухих Л. И. Оценка вертикальных потоков взвешенного органического вещества в Черном море по результатам численного моделирования 149
Дулов В. А., Юровская М. В., Фомин В. В., Шокуров М. В., Юровский Ю. Ю., Барабанов В. С., Гармашов А. В., Каменев О. Т. Экстремальный черноморский шторм в ноябре 2023 года 151
Дымова О. А., Евстигнеева Н. А. Моделирование транспорта бериллия-7 в прибрежной зоне Черного моря 152
Евстигнеева Н. А., Демышев С. Г. Оценка точности воспроизведения температуры и солености в прибрежной зоне Черного моря при использовании в модели разностных схем для уравнения адвекции, обладающих инвариантами степени выше двух (на основе результатов четырехмерного усвоения данных наблюдений) 154
Ефимов В. В., Яровая Д. А. Глубокое проникающее охлаждение в Черном море как реакция на вторжения холодного воздуха в зимний период 156
Жук Е. В., Маркова Н. В., Белокопытов В. Н. Разработка и применение ГИС для анализа скоростей дрейфа буев Argo на примере Черного моря 157
Жук Е. В., Пластун Т. В., Ингеров А. В., Годин Е. А., Вецало М. П., Галковская Л. К., Исаева Е. А., Касьяненко Т. Е. Банк океанографических данных МГИ: разработка новых и развитие ранее созданных информационных продуктов ... 158
Зацепин А. Г., Подымов О. И., Сильвестрова К. П., Мурзакова Ю. В. Относительный теплозапас деятельного слоя Черного моря по данным наблюдений на полигоне «Геленджик» и его оценки с использованием баз данных различных атмосферных реанализов 160

Зацепин А. Г., Подымов О. И., Сильвестрова К. П., Мурзакова Ю. В. Профиль температуры в деятельном слое Черного моря по измерениям на полигоне «Геленджик» в теплый период года и его параметризация с использованием данных атмосферного реанализа 162
Ильин В. И., Архипкин В. С. Важность ветрового воздействия на приливные явления в проливах Курильской гряды 164
Ильин В. И., Архипкин В. С., Медведев И. П. Собственные и индуцированные приливы в Японском море 166
Карпелянский А. О., Мизюк А. И. Характеристики мезомасштабных вихрей Северной Атлантики по результатам численного моделирования 167
Коник А. А., Рябченко В. А., Исаев А. В. Долгопериодная изменчивость гидрофизического режима Ладожского озера 169
Кочергин В. С., Кочергин С. В. Идентификация местоположения и возможного времени выброса источника загрязнения на основе метода сопряженных уравнений 171
Кубряков А. А., Мизюк А. И. Автоматическая идентификация субмезомасштабных вихрей в спутниковых оптических данных на основе нейросети YOLO5 с обучением по модели NEMO 173
Лишаев П. Н., Кубряков А. А., Кубрякова Е. А., Мизюк А. И. Моделирование биологических полей Черного моря на основе совместной трехмерной модели NEMO-BFM 174
Манилюк Ю. В., Лазоренко Д. И., Фомин В. В., Алексеев Д. В. Моделирование сейшевых колебаний в протяженной узкой бухте 176
Марчукова О. В., Тонг Т. Т. Влияние тихоокеанского феномена ЭНЮК на Северный Вьетнам 178
Мизюк А. И., Коротаев Г. К., Пузина О. С., Холод А. Л. Методика выполнения ретроспективного анализа гидрофизических полей Черного моря за период 2000–2021 годов 179
Мизюк А. И., Кубряков А. А. Региональная конфигурация модели NEMO для бассейна Карского моря 181

Михайличенко С. Ю., Куранов Д. Ю. Расчет волнения в акватории Голубого залива (полуостров Крым) на основе фазо-разрешающей модели 182
Никольский Н. В., Артамонов Ю. В., Скрипалева Е. А. Климатическая сезонная и межгодовая изменчивость фронта моря Скоша 183
Новицкая В. П., Лемешко Е. М. Особенности сезонной и межгодовой изменчивости солености в прибрежной и глубоководной зонах Черного моря по данным реанализа 185
Павлушин А. А. Исследование механизмов генерации глубинных течений в Черном море с помощью двухслойной модели 186
Павлушин А. А. Численное моделирование глубинной циркуляции в Черном море с помощью двухслойной вихреразрешающей модели 188
Пака В. Т., Корж А. О., Голенко М. Н, Журбас В. М., Зацепин А. Г. Хронология балтийского затока 2023 года по реанализу NEMO – виртуальный рейс 189
Папкова Ю. И. Моделирование акустических полей в прибрежной части Черного моря 190
Пиваев П. Д., Кудрявцев В. Н. Параметризация охлаждения поверхности океана под тропическими циклонами 192
Пилик Д. И., Медведев И. П., Цуканова Е. С. Цунами в северной части Японского моря 193
Пузина О. С., Мизюк А. И. Вертикальная структура компонент энергетического баланса для Черного моря 195
Репина И. А., Варенцов М. И., Артамонов А. Ю., Чечин Д. Г. Энерго- и газообмен моря и атмосферы в прибрежной зоне Белого моря в зимний период при наличии полыньи 196
Сизов А. А., Баянкина Т. М., Башарин Д. В., Посошков В. Л. Оценка роли стратосферного полярного вихря в междесятилетней изменчивости циркуляции атмосферы в Северной Атлантике и морях Северо-Европейского бассейна 198

Силеверстова О. С., Башмачников И. Л. Межгодовая и сезонная изменчивость термохалинных характеристик транзитной зоны Атлантического океана 199
Слепышев А. А., Разувай Т. А. Влияние нетрадиционного приближения на генерацию вертикальной тонкой структуры внутренними волнами 201
Сухонос П. А. Тенденции изменения температуры верхнего 400-метрового слоя Северной Атлантики в 1948–2018 годах 203
Сушкевич Т. А. Математика как производительная сила. Посвящается 300-летию Академии наук и президентам – математику М. В. Келдышу и адмиралу Ф. П. Литке 205
Травкин В. С., Тихонова Н. А., Захарчук Е. А. Морские волны тепла Балтийского моря 213
Фокина К. В., Бухарев А. А. Моделирование трехмерных потенциальных волн на конечной глубине 215
Холод А. Л., Ратнер Ю. Б. Система валидации результатов диагноза и прогноза состояния морской среды 216
Цыганова М. В., Лемешко Е. М., Фомин В. В., Рябцев Ю. Н. Распространение речного плюма в прибрежной зоне бесприливного моря 217
Чернышова Е. Д., Никольский Н. В., Шокурова И. Г. Сезонный размах поверхностной температуры воды в Северной Атлантике 218
Чешм Сиахи В., Кудрявцев В. Н., Юровская М. В. Исследование взаимодействия штормовых волн и течений в Северной Атлантике 219
Шокуров М. В., Краевская Н. Ю. Характеристики бризовой циркуляции в нелинейном режиме в зависимости от широты 221
Юровская М. В., Шокуров М. В., Барабанов В. С., Юровский Ю. Ю., Кудрявцев В. Н., Каменев О. Т. Анализ ветра и волнения во время штормов на Черном море в ноябре 2023 года 222
Яровая Д. А., Ефимов В. В. Численное моделирование зимнего выхолаживания Черного моря 224

СЕКЦИЯ 3
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИБРЕЖНОЙ И ШЕЛЬФОВОЙ ЗОН МОРЯ

Алескерова А. А., Кубряков А. А., Станичный С. В. Динамика взвешенного вещества и изменения береговой линии в районе Бакальской косы по спутниковым данным 225
Антоненков Д. А. Технические средства и методика экспедиционных исследований устьев рек Крыма 226
Артамонов А. Ю. Измерения потоков и концентрации парниковых газов в 131-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» 227
Богуславский А. С., Казаков С. И., Берзова И. Г., Хамицевич Н. В. Гидролого-литодинамическая история Лиманской бухты 229
Богуславский А. С., Казаков С. И., Лемешко Е. Е. Черноморская голоценовая катастрофа в дилювиальных мезоформах рельефа Южного берега Крыма 230
Большиянов Д. Ю., Аксенов А. О., Макаров А. С. Ладожское озеро как модель долгопериодных колебаний уровня Мирового океана 231
Бортин Н. Н., Горчаков А. М. Источники и динамика загрязнения вод залива Находка и его бухт 233
Бурдина Е. И., Баскакова Т. Е., Трушков А. В., Картамышева Т. Б., Шевцова Е. А. Характеристика гидрохимических параметров северо-восточной акватории Черного моря в летне-осенний период 2023 года 235
Буфетова М. В., Коршенко А. Н. Загрязнение вод Таганрогского и Темрюкского заливов Азовского моря ртутью в 1991–2023 годах 237
Валле А. А. О сезонной изменчивости гидролого-гидрохимических характеристик вод северо-западной части Черного моря 239
Васечкина Е. Ф., Мельников В. В., Белокопытов В. Н., Масевич А. В. Влияние потепления и деоксигенации на экологию холодноводных копепод глубоководных районов Черного моря 240

Вахонеев В. В. Специфика археологического изучения глубоководной части Черного моря 242
Волкова Н. В., Лубнин Д. С., Зимин М. В. Обнаружение и идентификация пленочных загрязнений методами машинного обучения 244
Горячкин Ю. Н., Удовик В. Ф. Оценка возможного воздействия реализации инвестиционных проектов на динамику береговой зоны Юго-Западного Крыма 246
Гребнева Е. А. Оценка климатического тренда pH в поверхностных водах открытой части Черного моря за период с 1977 по 2022 год 248
Григорьев М. Н. Состояние и преобразование подводной мерзлоты на прибрежном шельфе морей Лаптевых и Восточно-Сибирского 249
Гуров К. И., Котельянец Е. А., Журавлева А. А., Кременчуцкий Д. А. Тяжелые металлы в донных отложениях Керченского пролива: пространственное распределение, потоки, уровни нагрузки 250
Гурова Ю. С., Гуров К. И., Орехова Н. А. Окислительно-восстановительные условия в донных отложениях Севастопольской бухты 252
Демешкин А. С. Оценка тенденций изменения состояния загрязнения вод залива Гренфьорд 255
Демидов Н. Э., Угрюмов Ю. В. Сеть мониторинга многолетней мерзлоты на трассе Северного морского пути как часть государственной системы фонового мониторинга состояния многолетней мерзлоты 257
Ерёмина Е. С., Хмара Т. В., Совга Е. Е. Современные проблемы проведения океанологических исследований в заливе Сиваш (Азовское море) 259
Завалишин Н. Н. Минимум производства термодинамической энтропии и динамика в моделях открытых эксплуатируемых трофических цепей с эффектом всеядности 260
Зимин А. В., Варкентин А. И., Коник А. А., Свергун Е. И., Саушкина Д. Я., Тепнин О. Б., Атаджанова О. А., Романенков Д. А., Софьина Е. В. Результаты комплексного эксперимента по изучению влияния гидрофизических

процессов, обусловленных приливом, на распределение ранних стадии развития минтая в глубоководных каньонах Авачинского залива в апреле 2024 года 262
Ивахов В. М., Парамонова Н. Н., Медведев Е. В., Анищенко Т. С. Первые результаты измерений атмосферной концентрации CO_2 в Кацивели. Особенности сезонного хода 264
Иванова В. В., Карташев А. О., Слинченков В. И. Особенности распределения углеводородных газов в донных отложениях и воде прибрежно-шельфовой зоны о. Сахалин: результаты четырехлетнего цикла мониторинга 266
Кальпа В. А., Багаев А. В. Оценка фоновых уровней загрязненности прибрежной зоны Черного моря пластиковыми отходами 267
Красильников Д. С., Мизюк А. И., Ханайченко А. Н., Багаев А. В. Лагранжев подход при моделировании этапов жизненного цикла калкана на шельфе Черного моря 270
Кременчуцкий Д. А., Батраков Г. Ф., Гуров К. И., Журавлева А. А. Вклад растворенной и взвешенной форм в вертикальный транспорт бериллия-7 272
Кренёва К. В. Характеристика сообщества инфузорий Азовского моря в осенний период 2023 года 273
Крыленко В. В., Крыленко М. В. Развитие курорта Анапа и охрана Анапской пересыпи – межотраслевые противоречия 275
Лаврентьева А. И., Леонов И. И., Соколихина Н. Н. Повторяемость метеорологических факторов обледенения судов в Баренцевом море в условиях изменяющегося климата 277
Лысенко В. И., Шик Н. В. Особенности флюидной деятельности холодных сипов бухты Ласпи (Южный берег Крыма) 279
Ляшко Т. В., Литвинюк Д. А., Муханов В. С. Вертикальная структура таксоцена копепод в градиенте факторов (статистический подход) 281
Макаров К. Н., Макарова И. Л. Моделирование разливов буровых растворов в морской акватории 283

Марчук Е. А., Чунчузов И. П., Репина И. А., Иванов Б. В., Безгрешнов А. М. Динамика концентрации углекислого газа в Южном полушарии по данным 68-й Российской антарктической экспедиции 285
Миронюк С. Г. Распространение и характеристика мерзлых толщ береговой зоны эстуария Оби 287
Мищенкова А. С. Межгодовая изменчивость океанографических условий в зоне промысла у побережья Марокко в 2016–2021 годы 291
Мукосеев И. Н., Медведев Е. В. Измерения pCO_2 в прибрежных водах северной части Черного моря в период инвазии 293
Мыслина М. А., Медведев Е. В., Вареник А. В., Тарасевич Д. В. Характеристики биогеохимического барьера в зоне река Черная – Севастопольская бухта в 2015–2022 годы 295
Наривончик С. В. Геоморфологические особенности устьевых участков рек Юго-Западного Крыма 296
Науменко И. П., Васечкина Е. Ф. Фотосинтетические параметры макроводорослей, собранных у берегов Севастополя (Черное море) 298
Никишин В. В., Багаев А. В. Моделирование алгоритмов управления автоматизированного модульного надводного аппарата в симуляционной среде UNIGINE 300
Новицкий А. В. Опыт использования профилирующей системы «Аквалог» в прибрежной зоне Южного берега Крыма 302
Павлушин В. А., Кубряков А. А. Влияние интенсивности Бенгельского апвеллинга на поле хлорофилла в Южной Атлантике 303
Погожева М. П., Коршенко А. Н., Коршенко Е. А., Панасенкова И. И., Долгова А. О., Жугайло С. С. Пространственное распределение гидрохимических и биологических параметров в Керченском проливе в августе 2016 года 305
Погожева М. П., Спирина В. А. Мониторинговые исследования морского мусора на черноморских пляжах 307

Ракитин Т. Д. Космический экологический мониторинг фитопланктона как показателя состояния морской среды в северо-западной части Японского моря.....309
Руднева И. И., Шайда В. Г., Медянкина М. В., Шайда О. В. Экотоксикологическая оценка влияния буровых растворов на гидробионтов шельфа.....311
Руднева И. И., Гайский П. В., Шайда В. Г., Шайда О. В. Трансформация соленых озер Крыма в условиях климатических изменений и антропогенной деятельности.....312
Садыкова Г. Э., Иваненко Т. А. Применение технических решений при реконструкции объектов берегозащиты 313
Санин А. Ю. К вопросу о конфликтах рекреационного природопользования и других видов хозяйственной дея тельности человека в прибрежной зоне 315
Светашева Д. Р. Состояние и уровень загрязнения Каспийского моря в 2022 году 317
Свищева И. А. Исследование влияния стока на устьевые взморья и долины рек Юго-Западного Крыма по результатам математического моделирования 319
Слепчук К. А., Хмара Т. В. Годовой ход уровня трофности Голубого залива (Черное море).....320
Совга Е. Е., Хмара Т. В., Мезенцева И. В. Влияние апвеллингов, возникающих в прибрежной акватории Южного берега Крыма, на ее кислородный режим 321
Соломонова Е. С., Шоман Н. Ю., Акимов А. И. Дифференциальные реакции диатомовых и динофитовых микроводорослей на присутствие в среде гербицида глифосата 323
Сорокина В. В., Кулыгин В. В., Михалко А. С., Алешина Е. Г. Карбонатная система Азовского моря весной 2024 года 324
Тарасевич Д. В., Хоружий Д. С. Определение силикатов в морской воде после заморозки.....326
Терентьев А. С. Использование шкалы анормальности для оценки состояния зообентоса Керченского пролива ..328

Удовик В. Ф., Никишин В. В., Багаев А. В. Формирование массивов глубин для расчета деформаций рельефа дна в береговой зоне Лименской бухты (Крым, Кацивели).....330
Филиппова Т. А., Пархоменко А. В., Васечкина Е. Ф. Оценка биологической продуктивности донных фитоценозов бухты Круглой (Севастополь) 332
Чанцев В. Ю., Шашини Г. Р. Моделирование распространения и последствий аварийного разлива нефти в Ормузском проливе.....334
Шарипова Д. И., Егорова В. М., Адамовская П. О., Фролова Н. С., Еремина Т. Р., Романова Е. Н., Кравцова К. В., Романюкина С. А. Основные черты гидрохимической структуры вод пролива Бьеркезунд Выборгского залива 335
Шоман Н. Ю., Соломонова Е. С., Акимов А. И. Подходы к экспресс-оценке функционального состояния фикоэритринсодержащих цианобактерий рода *Synechococcus* 337

ПЕРЕЧЕНЬ ОРГАНИЗАЦИЙ 339

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ.....344

CONTENTS

PLENARY REPORTS

Matishov G. G, Grigorenko K. S. Geoecological consequences of rivers flood control in a lack of water climate.....36

SECTION 1
RESEARCH OF PROCESSES IN THE MARINE ENVIRONMENT BASED ON *IN SITU* AND REMOTE SENSING METHODS

Andrulionis N. Yu., Podymov O. I., Soloviev V. A. Errors in calculating density from *CTD* probe data in the suboxygen layer of the Black Sea.....38
Bezgin A. A., Lunev E. G., Smolyanitsky V. M. Autonomous buoy stations with data transmission via the Gonets and Arktika-M satellite communication systems.....39
Vasilenko N. V., Kubryakov A. A., Stanichny S. V., Aleskerova A. A., Medvedeva A. V. Propagation of the Kuban River plume according to optical satellite data 41
Vasilenko N. V., Kubryakov A. A., Stanichny S. V., Aleskerova A. A., Medvedeva A. V. Manifestation of submesoscale processes in the Azov Sea in surface layer temperature fields.....42
Vorontsov A.A., Batalkina S.A., Bulygin A.M., Nefedova G.I. Characteristics of the thermal regime of the Black and Azov seas in the modern period.....44
Gayko L. A. Temperature along the coast of the Peter the Great Gulf (the Sea of Japan) from the end of the 19th to the beginning of the 21th century: a case of the coastal station Vladivostok 45

Gaisky P. V., Kozlov I. E., Shaida O. V., Davidovich A. R. Development of a thermal profiling buoy for Arctic research ..47
Gaisky P. V., Shaida O. V., Davidovich A. R. Towed-probing modes for measuring temperature profiles using thermoprofilemeters at shallow depths.....48
Garmashov A. V., Maryushkin Yu. A., Toloknov Yu. N., Korovushkin A. I. Storm waves in the area of the South Coast of Crimea according to field measurements on a stationary oceanographic platform.....49
Gerasyuk V. S., Kulygin V. V., Podobedova A. V. Optical properties of dissolved organic matter along the water continuum.....51
Grekov A. N., Grekov N. A. Sound speed profile reconstruction from point and distributed meters data.....53
Grigoriev A. V., Morozova M. I. Statistical characteristics of variability of subsurface currents in the Kerch Strait according to instrumental observations in 2020-2021 54
Grigorenko K. S. Sea waters dynamic and coastal areas hydrology of the Azov Sea in the areas of Chumbur, Sazalnik and Kamyshevatskaya Spits 56
Ezhova E. A., Gavrikov A. V. Retrieval of the wind wave spectrum from the data of the ship's radar station 57
Zhuk V. R., Kubryakov A. A. Impact of the East Siberian current dynamics on Pacific waters propagation in the Chukchi Sea 59
Kozlov I. E. Kinematics of internal solitary waves and sea ice in the Arctic Ocean based on spaceborne radar data 60
Kozlov I. E., Korzhuev V. A., Kopyshov I. O., Pavlov M. I., Zubov A. G., Zimin A. V. Turbulent properties of the upper layer of the Arctic Seas from microstructure measurements in summer 2023 61
Kopyshov I. O., Kozlov I. E. Analysis of flow regimes in the Kara Gate Strait according to in situ and model observations in July 2023 63
Korzhuev V. A., Chukharev A. M., Pavlov M. I., Kazakov D. A. Parameterization of turbulence characteristics in the near-surface layer of the sea according to field measurements 65

Korinenko A. E., Malinovsky V. V. Field studies of the depth of bubble plumes generated by breaking waves 66
Kubryakov A. A., Stanichny S. V., Orlov A. N. Determination of the Black Sea surface temperature from Meteor-M measurements based on calibration with MODIS data 67
Kudinov O. B., Lishaev P. N., Latushkin A. A., Kryl M. V., Ryabokon D. A., Khurchak A. P. Hydrooptycal investigations in the summer of 2024 in the blue gulf (Katsiveli settlement) .. 69
Kuznetsov A. S. Features of long-period oscillations of the coastal current off the southern coast of Crimea 71
Kuzmin A. V., Kozlov I. E. Spatial and temporal variability of short period internal waves in the Kara and Laptev Seas from the satellite radar observations of July–August 2022 73
Kuzmichyova T. F. Results of analysis of images from AQUA/TERRA satellites, on driving and surge phenomena in the Aral Sea area 74
Kulikovsky K. V., Baikova T. V., Likhacheva M. V., Plankina M. B. Assessing the performance of a laser wave recorder under different background illumination conditions 75
Latushkin A. A., Artamonov Yu. V., Skripaleva E. A., Fedirko A. V. Synoptic variability of the turbidity field and hydrological parameters at the sea surface off the coasts of the Crimea according to natural measurements in the summer of 2023 76
Lemeshko E. E. Variability of currents in the Fram Strait from satellite data 78
Lukashova O. A., Belokopytov V. N. Manifestation of the cold intermediate layer formation processes on the Black Sea shelf of the southwestern Crimea 79
Mankovskaya E. V., Korchemkina E. N. The hue angle of the Black and Azov Sea waters from satellite and contact measurements 80
Mankovskaya E. V., Morozov A. N. Distribution of suspended matter in spring 2019 in the northeastern part of the Black Sea from hydro-optical measurements 81
Medvedeva A. V., Stanichny S. V., Vasilenko N. V. Upwelling in the Marmara Sea 82

Metik-Diyunova V. V., Khamitsevich N. V. Assessment of the influence of circulation mechanisms on the regularities of interannual and seasonal variability of air temperature anomalies in the area of the Southern Coast of Crimea 84
Novikov B. A. Studying drifting sea ice in the Arctic using a drone 86
Petrenko L. A., Kozlov I. E., Konik A. A. Peculiarities of eddy generation in the Barents Sea under conditions of Polar front weakening 87
Pilik D. I., Medvedev I. P., Tsukanova E. S. Long-term Sea level variations in the Black sea 88
Pogrebnoi A. E. Climatic variability of air temperature in the Fram Strait 90
Pogrebnoi A. E., Belokopytov V. N. Characteristics of iceberg D28 drift using satellite data Sentinel-1A/B 91
Polozok A. A., Fomina I. N. Characteristics of the conditions for the occurrence of storm situations in the area of the Mysovoye sea station 92
Rubakina V. A., Simonova Yu. V., Maryushkin Yu. A. Sea surface temperature monitoring in the area of the Southern Coast of Crimea in 2023 by satellite and contact data 94
Rubakina V. A., Stanichny S. V., Kubryakov A. A. Temperature diurnal cycle in the river plum zone and its features according to remote sensing data 96
Svergun E. I., Glukhov V. A., Glitko O. V. Manifestations of short-period internal waves in the coastal areas of the Avacha Bay according to various remote sensing sensors 98
Svergun E. I., Makhovikov A. D., Zimin A. V. Short-period internal waves of the Pacific area of Kamchatka and the Northern Kuril Islands according to long-term satellite radar observations 2015–2021. 100
Stanichny S. V., Vasilenko N. V., Medvedeva A. V., Kubryakov A. A. Red tides in Taganrog Gulf of the Sea of Azov 102

Stanichny S. V., Medvedeva A. V., Kubryakov A. A., Stanichnyaya R. R., Mikhailichenko T. V. Internal waves: Mechanisms of manifestation in remote sensing data, interaction with dynamic structures.....103
Stepanov D. V., Ostrovskii A. G. Vertical mixing in the northwestern Sea of Japan in April–October 2015.....104
Sterlyadkin V. V., Ruban O. A., Aliev G. M. Measurement of capillary waves on an oceanographic platform 105
Tatarenko Y. A, Glushakov G. D, Moroz A. A, Pautova E.M., Averkiev A. S., Shevchuk O. I. Research of thermohaline structure and water dynamics in Bjerkesund Strait and Bay of Vyborg 106
Fedirko A. V., Artamonov Yu. V., Skripaleva E. A. Thermohaline structure of waters in the northern part of the Black Sea in March 2024 according to measurements at the R/V Professor Vodyanitsky 108
Khamitsevich N.V., Mayboroda S. A., Kazakov S. I., Metik-Diyunova V. V., Boguslavsky A. S. The change in the aridity of the climate of the Southern Coast of Crimea 110
Chepyzhenko A. A. Total suspended and dissolved organic matters in the coastal waters of the Black and Azov Seas. Issues of calibration and data reliability.....112
Chukharev A. M., Pavlenko O. I., Zubov A. G., Pavlov M. I., Korzhuev V. A. Turbulence generation by local vortex structures 114
Shybanov E. B., Papkova A. S. A new method for reconstructing the remote sensing reflectance based on satellite data of the first level of processing 115
Sholar S. A. , Stelmakh L. V. , Suslin V. V. , Alatartseva O. S. Laboratory experiment to study the spectra of the light absorption coefficient of typical representatives of phytoplankton of the Black Sea.....117
Shukalo D. M., Shulga T. Ya. Comparative analysis of satellite data of Black Sea surface salinity with in situ measurements 119
Yurovsky Yu. Yu., Kudinov O. B. On the wave measurement accuracy using inertial motion units.....121

SECTION 2
THEORETICAL STUDIES AND NUMERICAL SIMULATION OF PROCESSES IN MARINE SYSTEMS, INTERDISCIPLINARY MODELS

Artamonova K. V., Lukyanova O. N., Gladyshev S. V. Variability in the characteristics of intermediate and deep waters in the northern North Atlantic 123
Atadzhanova O. A., Zimin A. V., Konik A. A. Long-term variability of characteristics of sub- and mesoscale eddies in the Kuril-Kamchatsk region of the Pacific Ocean..... 125
Atadzhanova O. A., Kozlov I. E., Konik A. A., Plotnikov E. V., Medvedeva A. V. Generation and evolution of eddies beyond the capes of Hopen Island in the Barents Sea according to satellite observations and tidal model data 127
Bagaev A. V., Belokon A. Yu., Manilyuk Yu. V., Yurovsky Yu. Yu., Kalpa V. A. On numerical and *in situ* experiments carried out in MHI to study seiches in the system of connected bays: the case of Sevastopol Bay 128
Bagatinskaya V. V., Bagatinsky V. A., Diansky N. A., Gusev A. V., Morozov E. G. Geostrophic and drift components of the Southern Ocean waters dynamics..... 130
Bagatinsky V. A., Bagatinskaya V. V., Morozov E. G., Diansky N. A. Variability of the dome of the Weddell Sea deep water temperature depending on cyclonic activity..... 131
Bazyura E. A., Gubarev A. V., Polonskiy A. B. The influence of climate modes of Atlantic-Eurasian region on the wind stress curl over the Black Sea..... 132
Basharin D. V., Shokurova I. G. Sustained winds over the Black Sea in summer and atmospheric blocking events 134
Belokon A. Yu., Lazorenko D. I., Fomin V. V. Mathematical modeling of long wave propagation in the Bosphorus Strait .. 135
Bukatov A. A., Solovei N. M., Pavlenko E. A. Climate variability of surface mixed layer in the Barents and Kara Seas..... 136
Bukharev A. A. Depth of the upper ocean layer and its change due to influence of breeze circulation in a coupled atmosphere-ocean model..... 138

Vorontsov A. A.,Belov S. V., Belova C. V., Melnikov D. A. Information and resource support for oceanographic research and marine activities 140
Glukhov L. A., Markova N. V., Dymova O. A. Analysis of the Black Sea circulation in 2022 based on numerical modeling 141
Danshina A. V. Spatial and temporal variations of Atlantic water layer parameters in the Nansen Basin..... 142
Demyshev S. G., Dymova O. A. An example of using a new discrete heat and salt transport equations to modeling the Black Sea circulation 143
Deshova D. V., Gordeeva S. M. The role of the atmosphere in the heat balance of the surface of the Pechora Sea..... 145
Dovgaya S. V., Manilyuk Yu. V., Fomin V. V., Lazorenko D. I. Numerical experiments on modeling long waves in the system of connected bays 147
Dorofeyev V. L., Sukhikh L. I. Assessment of particulated organic matter vertical fluxes in the Black Sea from the results of numerical modeling 149
Dulov V. A., Yurovskaya M. V., Fomin V. V., Shokurov M. V., Yurovsky Yu. Yu., Barabanov V. S., Garmashov A. V., Kamenev O. T. Extreme Black Sea storm in November, 2023..... 151
Dymova O. A., Evstigneeva N. A. Modeling of beryllium-7 transport in the Black Sea coastal zone 152
Evstigneeva N. A., Demyshev S. G. Assessment of the accuracy of reproducing temperature and salinity in the coastal zone of the Black Sea using difference schemes for the advection equation with invariants of degree higher than two in the model (based on the results of four-dimensional assimilation of observational data) 154
Efimov V. V., Yarovaya D. A. Deep penetrating cooling in the Black Sea as reaction to the cold air invasion in winter 156
Zhuk E. V., Markova N. V., Belokopytov V. N. Development and application of GIS to analyse Argo buoys' drift speed on the example of the Black Sea 157
Zhuk E. V., Plastun T. V., Ingerov A. V., Godin E. A., Vetsalo M. P., Galkovskaya L. K. Isaeva E. A., Kasyanenko T. V.

Oceanographic data bank of MHI: development of new and progress of previously created information products 158
Zatsepin A. G., Podymov O. I., Silvestrova K. P., Murzakova Yu. V. Relative heat stock of the Black Sea active layer according to observational data at the Gelendzhik test site and its assessment using databases of various atmospheric reanalysis 160
Zatsepin A. G., Podymov O. I., Silvestrova K. P., Murzakova Yu. V. Temperature profile in the Black Sea active layer according to measurements at the Gelendzhik test site the warm period of the year and its parametrization using atmospheric reanalysis data 163
Ilin V. I., Arkhipkin V. S. The importance of wind effects on tides in the Straits of the Kuril Ridge 164
Ilin V. I., Arkhipkin V. S., Medvedev I. P. Independent and cooscillations tide in the Sea of Japan 166
Karpelianskii A. O., Mizyuk A. I. Characteristics of mesoscale eddies of the North Atlantic according to the results of numerical modeling 167
Konik A. A., Ryabchenko V. A., Isaev A. V. Long-period variability of the hydrophysical regime of Lake Ladoga 169
Kochergin V. S., Kochergin S. V. Identification of the location and possible release time of the pollution source based on the method of adjoint equations 171
Kubryakov A. A., Mizyuk A. I. Automatic identification of submesoscale eddies in satellite optical data based on the YOLO5 neural network with training using the NEMO model 173
Lishaev P. N., Kubryakov A. A., Kubryakova E. A., Mizyuk A. I. Modeling of biological fields of the Black Sea based on the three-dimensional model NEMO-BFM 174
Manilyuk Yu. V., Lazorenko D. I., Fomin V. V., Alekseev D. V. Modeling of seiche oscillations in Sevastopol Bay 176
Marchukova O. V., Tong T. T. Impact of the Pacific ENSO phenomenon on northern Vietnam 178

Mizyuk A. I., Korotaev G. K., Puzina O. S., Kholod A. L. Procedure for performing a retrospective analysis of the hydrophysical fields of the Black Sea for 2000–2021 179
Mizyuk A. I., Kubryakov A. A. Regional configuration of the NEMO circulation model for the basin of the Kara Sea 181
Mikhailichenko S. Yu., Kuranov D. Yu. Calculation of waves in the waters of Goluboy Bay (Crimean Peninsula) based on a phase-resolving model 182
Nikolsky N. V., Artamonov Yu. V., Skripaleva E. A. Climatic seasonal and interannual variability of the Scotia Sea front 183
Novitskaya V. P., Lemeshko E. M. Features of seasonal and interannual variability of salinity in the coastal and deep-water zones of the Black Sea according to reanalysis data 185
Pavlushin A. A. Research of the mechanisms of generation of deep currents in the Black Sea using a two-layer model..... 186
Pavlushin A. A. Numerical simulation of deep circulation in the Black Sea using a two-layer eddy-resolving model 188
Paka V. T., Korzh A. O., Golenko M. N., Zhurbas V. M., Zatsepin A. G. Chronology of the Baltic inflow 2023 according to NEMO reanalysis – virtual flight 189
Papkova Yu. I. Modeling of acoustic fields in the coastal zone of the Black Sea 190
Pivaev P. D., Kudryavtsev V. N. Parameterization of sea surface cooling under tropical cyclones 192
Pilik D. I., Medvedev I. P., Tsukanova E. S. Tsunami in the northern part of the Sea of Japan 193
Puzina O. S., Mizyuk A. I. Vertical structure of the energy balance component for the Black Sea 195
Repina I. A., Varentsov M. I., Artamonov A. Yu., Chechin D. G. Energy and gas exchange of the sea and atmosphere in the coastal zone of the White Sea in winter in the presence of a polynya 196
Sizov A. A., Bayankina T. M., Basharin D. V., Pososhkov V. L. Assessment of the role of the stratospheric polar vortex in the interdecadal variability of atmospheric circulation in the North Atlantic and the seas of the north European basin 198

Sileverstova O. S., Bashmachnikov I. L. Interannual and seasonal variability of thermohaline characteristics of the Atlantic Ocean transit zone 199
Slepyshev A. A., Razuvay T. A. Influence of a non-traditional approximation on the generation of vertical fine structure by internal waves 201
Sukhonos P. A. Temperature trends in the upper 400 m North Atlantic: 1948–2018 203
Sushkevich T. A. Mathematics as a productive force. Dedicated to the 300th anniversary of the Academy of Sciences and the Presidents – Mathematician M. V. Keldysh and Admiral F. P. Litke 205
Travkin V. S., Tikhonova N. A., Zakharchuk E. A. Marine heatwaves of the Baltic Sea 213
Fokina K. V., Bukharev A. A. Simulation of 3D potential waves at a finite depth 215
Kholod A. L., Ratner Yu. B. System for validation of marine environmental diagnosis and prognosis results 216
Tsyganova M. V., Lemeshko E. M., Fomin V. V., Ryabtsev Yu. N. The propagation of a river plume in coastal zone of the untidal sea 217
Chernyshova E. D., Nikolsky N. V., Shokurova I. G. Seasonal range of surface water temperature in the North Atlantic 218
Cheshm Siyahi V., Kudryavtsev V. N., Yurovskaya M. V. Study of the interaction of storm waves and currents in the North Atlantic 219
Shokurov M. V., Kraevskaya N. Yu. Characteristics of nonlinear sea breeze circulation depending on latitude 221
Yurovskaya M. V., Shokurov M. V., Barabanov V. S., Yurovsky Yu. Yu, Kudryavtsev V. N., Kamenev O. T. Wind and Wave Hindcast During the Black Sea Storms in November, 2023 222
Yarovaya D. A., Efimov V. V. Numerical modeling of the Black Sea surface layer cooling in winter 224

SECTION 3
ECOLOGICAL SAFETY OF COASTAL AND SHELF ZONES OF SEA

Aleskerova A. A., Kubryakov A. A., Stanichnyi S. V. Suspended matter dynamics and coastline changes in the Bakal Spit area based on satellite data 225
Antonenkov D. A. Technical means and methods of expeditionary research of the estuaries of the rivers of the Crimea ... 226
Artamonov A. Yu. Measurements of fluxes and concentrations of greenhouse gases in the 131st cruise of the R/V Professor Vodyanitsky 227
Boguslavsky A. S., Kazakov S. I., Berzova I. G., Khamitsevich N. V. Hydrological-lithodynamic history of Limensky Bay 229
Boguslavsky A. S., Kazakov S. I., Lemeshko E. E. Black Sea Holocene catastrophe in diluvial mesoforms of the relief of the Southern Coast of Crimea 230
Bolshiyanov D. Yu., Aksenov A. O., Makarov A. S. Ladoga Lake as a model of long-term level fluctuations of the Ocean .. 231
Bortin N. N., Gorchakov A. M. Sources and dynamics of water pollution in Nakhodka Bay and its bays 233
Burdina E. I., Baskakova T. E., Trushkov A. V., Kartamysheva T. B., Shevtsova E. A. Characteristics of hydrochemical parameters of the northeastern Black Sea in summer-autumn period 2023 235
Bufetova M. V., Korshenko A. N Mercury pollution of the waters of the Taganrog and Temryuk gulfs of the Sea of Azov in 1991–2023 237
Valle A. A. About the seasonal variability of hydrological and hydrochemical characteristics of the waters of the northwestern part of the Black Sea 239
Vasechkina E. F., Melnikov V. V., Belokopytov V. N., Masevich A. V. The effect of warming and deoxygenation on the ecology of cold-water copepods in the deep-sea areas of the Black Sea. 240
Vakhoneev V. V. The specifics of the archaeological study of the deep-sea part of the Black Sea 242

Volkova N. V., Lubnin D. S., Zimin M. V. Oil pollution detection and identification by means of machine learning 244
Goryachkin Y. N., Udovik V. F. Assessment of the possible impact of the implementation of investment projects on the development of the coast zone of the south-west Crimea 246
Grebneva E. A. Assessment of the climatic trend of pH changes in the surface waters of the open part of the Black Sea for the period from 1977 to 2022 248
Grigoriev M. N. State and transformation of underwater permafrost on the coastal shelf of the Laptev and East Siberian Seas 249
Gurov K. I., Kotelyanets E. A., Zhuravleva A. A., Kremenchutskii D. A. Heavy metals in bottom sediments of the Kerch Strait: spatial distribution, fluxes, load indexes 250
Gurova Y. S., Gurov K. I., Orekhova N. A Redox conditions in the bottom sediments of Sevastopol Bay 252
Demeshkin A. S. Assessment of trends in changes in the state of water pollution in Grenfiord Bay 255
Demidov N. E., Ugrumov Y. V. Permafrost monitoring network on Northern Sea Route as part of State permafrost monitoring network in Russia 257
Eremina E. S., Khmara T. V., Sovga E. E. Modern problems of conducting oceanological research in the Gulf of Sivash (Sea of Azov) 259
Zavalishin N. N. Minimal thermodynamic entropy production and the model dynamics of open exploited trophic chains with omnivory effect 260
Zimin A. V., Varkentin A. I., Konik A. A., Svergun E. I., Saushkina D. Ya., Tepnin O. B., Atadzhanova O. A., Romanenkov D. A., Sofina E. V. Results of a comprehensive experiment to study the influence of hydrophysical processes determined by the tide on the distribution of early stages of pollack development in the deep-water canyons of the Avacha Bay in April 2024 262
Ivakhov V. M., Paramonova N. N., Medvedev E. V., Anishchenko T. S. First results of CO_2 atmospheric concentration measurements in Katsiveli. Peculiarities of seasonal variations 264

Ivanova V. V., Kartashev A. O., Slinchenkov V. I. Features of the distribution of hydrocarbon gases in bottom sediments and water of the coastal shelf zone of Sakhalin Island.....266
Kalpa V. A., Bagaev A. V. Assessment of background levels of pollution of the Black Sea coastal zone with plastic waste...267
Krasilnikov D. S., Mizyuk A. I., Khanaychenko A. N., Bagaev A. V. The Lagrangian approach to modeling the stages of the kalkan life cycle on the Black Sea shelf.....270
Kremenchutskii D. A., Batrakov G. F., Gurov K. I., Zhuravleva A. A. Contribution of dissolved and suspended forms to the vertical transport of beryllium-7.....272
Kreneva K. V. Characteristics of the ciliate community in the Azov Sea in the autumn of 2023 273
Krylenko V. V., Krylenko M. V. Development of the Anapa resort and protection of the Anapa bay-bar – inter-industry contradictions 275
Lavrenteva A. I., Leonov I. I., Sokolikhina N. N. Recurrence of meteorological factors of ship icing in the Barents Sea under changing climate conditions.....277
Lysenko V. I., Shik N. V. Features of fluid activity of cold seeps in Laspi Bay (Southern Coast of Crimea).....279
Liashko T. V., Litvinyuk D. A., Mukhanov V. S. Vertical structure of the taxocene of Copepodes in the gradient of factors (statistical approach).....281
Makarov K. N., Makarova I. L. Modeling of drilling mud spills in the marine area.....283
Marchuk E. A., Chunchuzov I. P., Repina I. A., Ivanov B. V., Bezgreshnov A. M. Dynamics of carbon dioxide concentration in the southern hemisphere according to the 68th RAE data 285
Mironyuk S. G. Distribution and characteristics of frozen earth cover of the coastal zone of the Ob estuary.....287
Mishchenkova A. S. Interannual variability of oceanographic conditions in the fishing zone off the coast of Morocco in 2016–2021.....291
Mukoseev I. N. Medvedev E. V. pCO2 measurements in coastal waters of the northern Black Sea during the invasion period.....293

Myslina M. A., Medvedev E. V., Varenik A. V., Tarasevich D. V. Characteristics of the biogeochemical barrier in the zone of the Chernaya River –- Sevastopol Bay in 2015–2022 295
Narivonchik S. V. Geomorphological features of estuaries of rivers in southwestern Crimea 296
Naumenko I. P., Vasechkina E. F. Photosynthetic parameters of macroalgae collected near the Sevastopol coast (Black Sea) 298
Nikishin V. V., Bagaev A. V. Simulation of control algorithms of an automated modular surface vehicle in the "UNIGINE" simulation environment 300
Novitskii A. V. Experience in using the Aqualog profiling system in the coastal zone of the south Crimea 302
Pavlushin V. A., Kubryakov A. A. The effect of Bengel upwelling intensity on the chlorophyll field in the South Atlantic 303
Pogojeva M. P., Korshenko A. N., Korshenko E. A., Panasenkova I. I., Dolgova A. O., Zhugailo S. S. Spatial distribution of hydrochemical and biological parameters in the Kerch Strait in August 2016 305
Pogojeva M. P., Spirina V. A. Beach litter monitoring activities on the Black Sea 307
Rakitin T. D. Space ecology monitoring for phytoplankton of the indicator of marine state condition in the north-western Sea of Japan 309
Rudneva I. I., Shaida V. G., Mediynkina M. V., Shaida O. V. Ecotoxicological assessment of the drilling fluids effects on aquatic organisms of shelf zone 311
Rudneva I. I., Gaisky P. V., Shaida V. G., Shaida O. V. Transformation of Crimean salt lakes in the climate changes and anthropogenic activity 312
Sadykova G. E., Ivanenko T. A. Application of technical solutions in the reconstruction of coast protection objects 313
Sanin A. Yu. On the issue of conflicts between recreational environmental management and other types of human activity in the coastal zone 315
Svetasheva D. R. State and pollution of the Caspian Sea in 2022 317

Svishcheva I. A. An exploration of the runoff influence on coastal sealands and river valleys of the south-western Crimea based on the results of mathematical modeling 319
Slepchuk K. A., Khmara T. V. Annual variation in the trophic level of Goluboi Bay (Black Sea) 320
Sovga E. E., Khmara T. V., Mezentseva I. V. Influence of upwellings arising in the coastal water area of the South Coast of Crimea on its oxygen regime 321
Solomonova E. S., Shoman N. Y., Akimov A. I. Differential responses of diatom and dinophyte microalgae to the presence of glyphosate herbicide in the medium 323
Sorokina V. V., Kulygin V. V., Mikhalko A. S., Alyoshina E. G. Carbonate system of the Sea of Azov in spring 2024 324
Tarasevich D. V., Khoruzhii D. S. Determination of silicates in sea water after frozen 326
Terentev A. S. Using the abnormality scale to assess the state of the Kerch Strait zoobenthos 328
Udovik V. F., Nikishin V. V., Bagaev A. V. Formation of depth arrays for calculation of bottom relief deformations in the coastal zone of Limenskaya Bay (Crimea, Katsiveli) 330
Filippova T. A., Parkhomenko A. V., Vasechkina E. F. Assessment of biological productivity of bottom phytocenoses of Krugloya Bay (Sevastopol) 332
Chantsev V. Yu., Shashini G. R. Modeling of distribution and fate of emergency oil spill in Hormuz Strait 334
Sharipova D. I., Egorova V. M., Adamovskaya P. O., Frolova N. S., Eremina T. R., Romanova E. N., Kravtsova K. V., Romanyukina S. A. Main features of the hydrochemical structure of the waters Bjerkesund Strait in the Bay of Vyborg 335
Shoman N. Yu., Solomonova E. S., Akimov A. I. Approaches to rapid assessment of the functional state of phycoerythrin-containing cyanobacteria of the genus *Synechococcus* 337

LIST OF ORGANIZATIONS 339

AUTHOR INDEX 344

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ЗАРЕГУЛИРОВАНИЯ РЕК В УСЛОВИЯХ МАЛОВОДНОГО КЛИМАТА

Академик Г. Г. Матишов [1, 2] ✉, **К. С. Григоренко** [1]

[1] *ЮНЦ РАН, Ростов-на-Дону, Россия*
[2] *ММБИ, Мурманск, Россия*
✉ *matishov_ssc-ras@ssc-ras.ru*

Ключевые слова: *Cyprinus carpio*, ихтиофауна, устье Дона, термохалинный фронт, маловодье, обмеление.

За семидесятилетний период зарегулирования речной долины в условиях маловодного цикла в водосборном бассейне произошли необратимые геоморфологические и биоценотические преобразования. В результате устойчивой лавинной седиментации обмелела дельта Дона и взморье Таганрогского залива до глубин 5 м. Скорость накопления илов достигла 1–3 см в год. В последнее десятилетие при сильных сгонных восточных ветрах, особенно зимой, морское дно у г. Таганрога, с. Порт-Катона и с. Займо-Обрыва осушается на расстояние 5–10 км и более. Когда уровень воды падает на 1,0–1,5 м, в гидрохимическом балансе резко возрастает роль грунтовых (подземных) вод. Возникают ранее не существовавшие термогалинные барьеры, новые пути миграций промысловых рыб, в частности нетипичная для исследуемой акватории (гирло Свиное) в зимний период массовая миграция карася и сазана. В феврале – марте 2024 г. наблюдалось крайне необычное скопление (заток) указанной ихтиофауны в результате формирования режима резкой фронтальной зоны по краю мелей и осушек в авандельте Дона. Появление значительного количества рыб обусловило образование обширного птичь-

его базара. В местах скопления рыбы общая численность рыбоядных птиц: бакланов, чаек, крачков, пеликанов, уток – превышала 1 тыс. экз.

Явно нехарактерные массовые скопления, активность и раннее созревание можно связать с действием комплекса факторов, которые были спровоцированы тем, что, по официальным данным, с 16 декабря 2023 г. произошел большой сброс воды из Цимлянского водохранилища (до 450 $м^3/с$), а суммарный сток в Дон после Цимлянского гидроузла составил более 1100 $м^3/с$. В связи с неблагоприятным прогнозом половодья в 2024 г. с 19 марта попуски Цимлянского гидроузла понижены до 350 $м^3/с$. Приток воды в водохранилище при этом составлял 820 $м^3/с$. Сток Дона в ст. Раздорской, после слияния с Северским Донцом, 22 марта оценивался в 780 $м^3/с$. Таким образом, в конце зимы 2024 г. возникло небывалое ранее зимнее половодье, которое привело к возникновению достаточно необычного геоэкологического явления.

СЕКЦИЯ 1
ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ В МОРСКОЙ СРЕДЕ НА ОСНОВЕ КОНТАКТНЫХ И ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ

ОШИБКИ ПРИ РАСЧЕТЕ ПЛОТНОСТИ ПО ДАННЫМ CTD-ЗОНДА В СУБКИСЛОРОДНОМ СЛОЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

Н. Ю. Андрулионис [1] ✉, **О. И. Подымов** [1], **В. А. Соловьев** [2, 1]

[1] *ИО РАН, Москва, Россия*
[2] *АКИН, Москва, Россия*
✉ *natalya@ocean.ru*

Ключевые слова: Черное море, субкислородный слой, плотность морской воды, соленость морской воды, гидрохимические аномалии, определение солености, основной ионный состав, CTD-зондирование.

Работа посвящена исследованию плотности вод субкислородного слоя Черного моря в диапазоне условной плотности σt 15,9−16,2 кг/м^3 и оценке возможных ошибок при расчете плотности по данным CTD-зонда. Натурные и лабораторные исследования проводились в мае 2021 г. и октябре 2022 г. Значения плотности вод были получены двумя способами – расчетом на основе практической солености (по данным CTD-зонда) и измерением ее с помощью высокоточного лабораторного плотномера. В ходе работы были определены концентрации компонентов основного ионного состава и соленость исследуемых вод. Значения солености были получены по данным CTD-зонда (практическая соленость)

и прямым расчетом на основе суммы компонентов основного ионного состава.

Показано, что при определении плотности вод субкислородного слоя Черного моря двумя способами абсолютные отклонения между значениями составляют 0,05–0,2 кг/м^3, коррелируют с аномалиями ионно-солевого состава и повышенным содержанием взвеси, а градиент плотности при измерении ее плотномером приблизительно в два раза больше, чем по данным CTD-зонда.

МАЛОГАБАРИТНЫЕ АВТОНОМНЫЕ БУЙКОВЫЕ СТАНЦИИ С ПЕРЕДАЧЕЙ ДАННЫХ ЧЕРЕЗ СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ «ГОНЕЦ» И «АРКТИКА-М»

А. А. Безгин [1, 2] ✉, **Е. Г. Лунев** [1, 2], **В. М. Смоляницкий** [3]

[1] *СевГУ, Севастополь, Россия*
[2] *Марлин-Юг, Севастополь, Россия*
[3] *ААНИИ, Санкт-Петербург, Россия*
✉ *bezgin@marlin-yug.com*

Ключевые слова: МАБС, дрейфующий буй, барометрический дрифтер, спутниковая система связи, «Гонец», «Арктика-М», автономная метеостанция.

В рамках ведомственного проекта Росгидромета «Развитие системы государственного мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды в Арктической зоне Российской Федерации» Государственной программы «Охрана окружающей среды» на акватории Арктической зоны РФ (АЗРФ) с 2022 г. реализуется сеть морских автономных буйковых станций (МАБС) – поверхностных ледостойких дрейфующих буев отечественного производства.

С 2023 г. Росгидрометом в качестве технически реализуемых решений для акватории АЗРФ рассматриваются спутниковые си-

стемы связи (ССС) на базе российских метеорологических искусственных спутников Земли (ИСЗ) «Арктика-М» (оператор ФГБУ «НИЦ Планета») и ИСЗ серий «Гонец» (оператор АО «ССС Гонец», производитель спутниковых модемов связи ЗАО ГК «Навигатор»). ССС «Гонец» и ССС «Арктика-М» являются взаимодополняющими друг друга по критериям развития наземной инфраструктуры, размера сообщений и срочности их доставки для высокоширотных областей АЗРФ.

На первом этапе на базе серийно выпускаемой автономной дрейфующей метеостанции (АМС) типа icemeteo/20PC производства ООО «Марлин-Юг» был разработан и собран прототип АМС с передачей данных через ССС «Гонец». АМС измеряет скорость и направление ветра, атмосферное давление, температуру воздуха и собственные координаты. АМС выполнена на основе оригинального контроллера, стандартного модема ССС «Гонец» АТ-МН-2.1 и стационарной антенны, которая крепится на мачту метеостанции. Для увеличения срока службы метеостанция оборудована сменным аккумуляторным блоком питания. Дискретность передачи данных составляет 1 ч. Тестирование метеостанции в арктических условиях выполняется с ноября 2023 г. по настоящее время на научно-исследовательском стационаре (НИС) ААНИИ «Ледовая база «мыс Баранова» (арх. Северная Земля). Метеостанция изначально была установлена на метеоплощадку для сопоставления результатов измерений со стационарной АМС, далее перенесена в район взлетно-посадочной полосы и затем установлена на ледник Мушкетова.

На втором этапе на основе серийно выпускаемой МАБС типа iceST-B/40 были разработаны и изготовлены два прототипа барометрических буев с модемом ССС «Гонец» ИМ-10 (ЗАО ГК «Навигатор») и ССС «Арктика-М» ПРД402А (ООО «Марлин-Юг»). Для МАБС с ССС «Арктика-М» разработана малогабаритная слабонаправленная печатная антенна, размеры которой позволяют разместить ее внутри герметичного корпуса буя. Буи производят измерение собственных координат, атмосферного давления и температуры. Дискретность передачи данных через ССС «Гонец» составляет 1 ч, ССС «Арктика-М» – 10 мин. Расчетное время работы прототипов составляет 2 мес.

МАБС оборудованы несъемными щелочными элементами питания, что позволяет перевозить их к месту установки авиационным транспортом. В апреле 2024 г. прототипы МАБС были отправлены на НИС «Ледовая база «мыс Баранова» с целью оценки их работоспособности.

Предварительные результаты лабораторных (г. Севастополь) и натурных (арх. Северная Земля) испытаний показали принципиальную возможность использования отечественных спутниковых систем связи для целей оперативной передачи данных с дрейфующих МАБС и АМС.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПЛЮМА РЕКИ КУБАНИ ПО ОПТИЧЕСКИМ СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

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

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *nadinkot.nk@gmail.com*

Ключевые слова: Азовское море, плюм, спутниковые снимки, MSI Sentinel-2, OLI Landsat 8, река Кубань.

Пресноводный сток р. Кубани, несущий в своих водах большое количество биогенных элементов и взвешенного вещества, является важной составляющей водного баланса акватории. На основе спутниковых данных исследована пространственная и межгодовая изменчивость распространения плюмов Кубани в зависимости от ветровых условий.

В данной работе использовались спутниковые данные высокого разрешения MSI Sentinel-2, TIRS, OLI Landsat. Дополнительно проявление поступающих вод Кубани и их влияние на шероховатость поверхности моря рассматривалось на радиолокационных спутниковых изображениях C-SAR Sentinel-1. Для исследования влияния ветровых условий на распространение плюмов в акватории использовались данные реанализа ERA5 с пространственным разрешением 0,25°

и дискретностью 1 ч, а также данные реанализа MERRA-2 с пространственно-временным разрешением 0,5° × 0,66°, дискретность 6 ч.

На основе анализа многолетнего архива оптических спутниковых данных была дана классификация плюмов Кубани по типу распространения в акватории Азовского моря. Было выделено четыре основных типа распространения: северный, восточный, западный, вдольбереговой. За период 2019–2023 гг. в большинстве случаев фиксировались плюмы западного направления, кроме 2021 г., когда чаще плюмы распространялись на восток, что связано с усилением в этот год юго-западного ветра. Всего за рассмотренный период западный тип распространения наблюдался в 35 % случаев, восточный – в 25 %, северный – 21 %, вдольбереговой – 19 %.

Исследование было выполнено в рамках гранта РНФ 23-27-00421 «Развитие методов спутникового мониторинга аномальных процессов в морских экосистемах на основе многоспектрального подхода».

ПРОЯВЛЕНИЕ СУБМЕЗОМАСШТАБНЫХ ПРОЦЕССОВ В АЗОВСКОМ МОРЕ В ПОЛЯХ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ

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

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *nadinkot.nk@gmail.com*

Ключевые слова: Азовское море, температура, плюм, спутниковые снимки, Landsat, апвеллинг, субмезомасштабные процессы.

Азовское море является мелководным морем внутреннего типа, для которого характерна быстрая изменчивость динамических процессов под влиянием различных гидрометеорологиче-

ских условий. Изменение температуры поверхности моря является важным трассером субмезомасштабных процессов в акватории.

Спутниковые измерения позволяют эффективно и систематически наблюдать ряд важных процессов в экосистеме и структуре Азовского моря, исследовать ее пространственно-временную изменчивость. В данной работе использовались данные TIRS Landsat, MODIS-Aqua, -Terra. Ветровые условия рассматривались по данным реанализа NCEP с 6-часовой дискретностью.

Локальные изменения в температуре поверхностного слоя в Азовском море могут быть связаны с проникновением и распространением в акватории водных масс с иными термохалинными характеристиками. В первую очередь это относится к стоку реки Кубани, который формирует в приустьевой области плюм в виде двух основных струй. Чаще всего воды плюма имеют температуру выше или близкую к окружающим морским водам.

В поле температуры поверхностного слоя могут проявляться затоки черноморских вод в южной части Азовского моря, которые возникают при интенсивных ветрах южных румбов. Преимущественно случаи затоков по спутниковым данным фиксируются в осенне-зимний период.

Другой процесс, связанный с усилением ветрового воздействия и охлаждением поверхностного слоя моря, – прибрежный апвеллинг, который формируется в период формирования сезонного термоклина. В Азовском море апвеллинги регулярно наблюдаются вблизи восточного и юго-восточного берега под влиянием северо-восточного ветра. Как правило, они возникают в июне и первой половине июля. При этом по спутниковым данным разница в температуре с окружающими водами составляет 2–4 °С.

Исследование субмезомасштабных процессов в Азовском море выполнялось в рамках госзадания FNNN-2024-0012.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ЧЕРНОГО И АЗОВСКОГО МОРЕЙ В СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД

А. А. Воронцов ✉, С. А. Баталкина, А. М. Булыгин, Г. И. Нефедова

ВНИИГМИ-МЦД, Обнинск, Россия
✉ *vorv10921@gmail.com*

Ключевые слова: Черное море, Азовское море, моря России, прибрежная зона, температура воды, климат.

Термический режим прибрежных вод Черного и Азовского морей в течение последних десятилетий в полной мере соответствует происходящим современным климатическим изменениям. Потепление климата – это основная тенденция изменений на протяжении последних десятилетий.

Надо отметить, что гидрометеорологические условия Черного и Азовского морей были исследованы достаточно подробно в прежние годы. Однако современное глобальное потепление оказывает существенное влияние на полученные ранее оценки и время от времени необходимо их корректировать.

Температура воды в прибрежной зоне Азово-Черноморского бассейна демонстрирует уверенный рост, о чем свидетельствуют данные наблюдений на береговых гидрометеорологических станциях.

Увеличение средних оценок температуры воды на черноморских прибрежных станциях в последние 30 лет составляет 0,29–1,59 °С зимой и 0,10–0,45 ºС летом.

Тенденция к потеплению видна и на побережье Азовского моря: аномалии температуры воды на прибрежных станциях положительны и колеблются в пределах от 0,10 до 0,45 ºС.

Тренды температуры воды за современный климатический период положительны на всех станциях Азово-Черноморского бассейна.

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ВДОЛЬ ПОБЕРЕЖЬЯ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО, ЯПОНСКОЕ МОРЕ, ЗА ПЕРИОД С КОНЦА XIX ПО НАЧАЛО XXI ВЕКА НА ПРИМЕРЕ ГИДРОМЕТЕОСТАНЦИИ ВЛАДИВОСТОК

Л. А. Гайко [1, 2]

[1] *ТОИ ДВО РАН, Владивосток, Россия*
[2] *Дальрыбвтуз, Владивосток, Россия*

✉ *gayko@yandex.ru*

Ключевые слова: гидрометеорологическая станция, климатическая норма, межгодовая изменчивость, температура воды, температура воздуха, температурный тренд.

Гидрометеорологическая станция (ГМС) Владивосток располагается на берегу зал. Петра Великого (Японское море). Регулярные метеорологические наблюдения на ней ведутся с 1881 г., гидрологические – с 1901 г. На примере ГМС Владивосток можно проследить за изменчивостью температуры более чем за вековой период и выяснить отклик района на отмечаемое многими учеными мира глобальное потепление.

На основании архива данных о температуре воздуха с 1881 г. и температуре воды с 1901 по 2022 г. исследовались закономерности их пространственно-временного распределения в прибрежной зоне зал. Петра Великого. Изучение проводилось двумя методами: 1) выявлением наличия линейного температурного тренда с помощью регрессионного анализа; 2) проведением сравнительной оценки климатических норм, рассчитанных по 30-летним периодам, рекомендованным Всемирной метеорологической организацией (ВМО) (1901–1930 (I), 1931–1960 (II), 1961–1990 (III) и 1991–2020 гг. (IV)).

Для выявления наличия линейного тренда были построены графики хода среднегодовых значений температуры воды и воздуха и проведено сглаживание ряда данных полиномом пятой

степени. Анализ сглаженной кривой хода температуры воды позволил выделить пять временных периодов: с 1901 по 1910 и с 2012 по 2022 г. отмечена тенденция к понижению температуры воды, но тренд не выявлен; с 1910 по 1960 и с 1960 по 1988 г. выявлены положительные тренды на 5%-ном уровне; а с 2012 по 2022 г. – на 1%-ном. Итак, в начале как прошлого, так и нынешнего веков температура воды несколько понизилась, но с 1910 по 1988 г. происходило ее повышение, а во втором десятилетии нынешнего века произошёл ее резкий подъем.

На сглаженной кривой температуры воздуха выделено четыре временных периода, характеризующихся различной скоростью роста температуры. Так, ее рост с конца позапрошлого по начало прошлого столетия закончился резким спадом в 1910 г., но вновь продолжился. Затем с 1964 по 1997 г. тренд уже был значим на 1%-ном уровне, но с 1997 до 2022 г. рост замедлился и тренд не выявлен. В ходе температуры как воды, так и воздуха за весь период наблюдений выявлен значимый линейный тренд, т. е. с начала прошлого века по настоящее время в районе исследования произошло значительное увеличение температурного фона.

Далее исследовалась межгодовая изменчивость температуры воды и воздуха по климатическим нормам, т. е. средним значениям температуры за 30-летний период, рассчитанным для четырех периодов. Для температуры воды климатические нормы составили: I период – 8,2 °С, II период – 8,4 °С, III период – 8,4 °С, IV период – 9,4 °С.; для температуры воздуха соответственно: 5,0; 5,1; 5,7 и 6,7 °С. Очевидно, что величина нормы от 30-летия к 30-летию увеличивалась, особенно в IV период.

Таким образом, можно отметить, что температура и воды, и воздуха на ГМС Владивосток за последние 140 лет повысилась, причем для температуры воздуха характерна более стабильная тенденция к росту, чем для температуры воды.

РАЗРАБОТКА ТЕРМОПРОФИЛИРУЮЩЕГО БУЯ ДЛЯ АРКТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

П. В. Гайский ✉, И. Е. Козлов, О. В. Шайда, А. Р. Давидович

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *gaysky@inbox.ru*

Ключевые слова: термопрофилемер, профиль температуры, дрейфующий буй, внутренние волны, термоклин.

Термопрофилирующие буи являются важным средством мониторинга вертикальной структуры верхнего слоя океана. Основным контролируемым параметром является мгновенный профиль температуры.

В рамках разработок измерительных систем на базе морских распределенных датчиков температуры для арктических исследований был создан экспериментальный образец поверхностного дрейфующего буя, включающий 45-метровый термопрофилемер из 15 участков с пространственным осредненным разрешением по 3 м. В состав буя входят модули: навигации (GPS), радиоканала связи с бортовым компьютером, модуль автономной памяти для записи измерений. Контроль заглубления термопрофилемера обеспечивается датчиком гидростатического давления на нижнем конце измерителя.

В заложенные функции буя входят ретрансляция по радиоканалу данных измеренного вертикального профиля температуры (погрешность измерений на участках – 0,1 °С) с частотой 0,5 Гц и привязкой к данным GPS, а также одновременная запись первичной информации на встроенную в модуль памяти буя microSD карту.

Первичные долговременные натурные испытания должны проводиться в рамках арктической экспедиции 2024 г. с телеметрической ретрансляцией данных на бортовой компьютер. Основными задачами измерителя являются мониторинг незашумленного судном вертикального профиля температуры и обнаружение проявлений внутренних волн.

БУКСИРУЕМО-ЗОНДИРУЮЩИЕ РЕЖИМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОФИЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ С ПОМОЩЬЮ ТЕРМОПРОФИЛЕМЕРОВ НА МАЛЫХ ГЛУБИНАХ

П. В. Гайский ✉, О. В. Шайда, А. Р. Давидович

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *gaysky@inbox.ru*

Ключевые слова: термопрофилемер, профиль температуры, буксируемо-зондирующий режим, внутренние волны, термоклин.

Мониторинг температурных процессов в прибрежной мелководной акватории является актуальной задачей при осуществлении полноценного анализа гидрофизических процессов. Динамика изменчивости тепловых градиентов за счет резко меняющихся течений в условиях изрезанности рельефа дна и береговой полосы, ветрового воздействия и разгрузки пресных вод требует специфических подходов к проведению контактных измерений. Большая оперативность в проведении съемки температурных полей по сравнению с гидрологическими зондами может быть обеспечена с помощью распределенных датчиков температуры, измеряющих мгновенные пространственные профили. Однако в зависимости от особенностей локальных сред и задач мониторинга должны использоваться и разрабатываться определенные методы их применения. Конструктивно должны быть удовлетворены пространственно-временные параметры измерений.

Приводится опыт организации таких измерений с помощью разработанных морских распределенных термопрофилемеров различного пространственного базиса для применений в буксируемо-зондирующих режимах в прибрежной акватории Крыма и Севастополя.

Оцениваются алгоритмически-программные методы обработки измерительных данных в условиях оперативного мониторинга при использовании маломерных плавсредств.

ШТОРМОВОЕ ВОЛНЕНИЕ В РАЙОНЕ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА ПО НАТУРНЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ НА СТАЦИОНАРНОЙ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЕ

А. В. Гармашов ✉, Ю. А. Марюшкин, Ю. Н. Толокнов, А. И. Коровушкин

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *ant.gar@mail.ru*

Ключевые слова: Черное море, волны, высота волны, мониторинг.

С 2011 г. на стационарной океанографической платформе (СОП), расположенной в прибрежной зоне (600 м от берега) Южного берега Крыма (пгт. Кацивели), проводился гидрометеорологический мониторинг (высоты волн, скорость и направление ветра, температура воздуха и моря, атмосферное давление, относительная влажность) с помощью разработанного в МГИ комплекса сбора гидрометеорологических данных (КСГД). Для измерения высот волн использовался витой резистивный волнограф с дискретностью опроса 4 Гц и возможностью регистрации высот волн до 10 м. Регистрация возвышения морской поверхности проводилась в течение периода 2011–2023 гг., который с перерывами охватывает 13 лет. За весь период наблюдений было накоплено и обработано более 56 000 волнограмм с продолжительностью от 20 до 60 мин.

Волновые данные прошли контроль качества с отбраковкой ненадежных фрагментов. В данной работе высота значительных волн (H_s) определялась как четырехкратная величина среднеквадратического отклонения. Максимальная высота (H_{max}) волны в волнограмме определялась как наибольшее расстояние между подошвой и гребнем.

Для получения волновых характеристик, имеющих малую вероятность появления (1 раз в 5, 10, 20, 30, 40 лет), строилась аналитическая функция распределения экстремальных значений исследуемых параметров. Функция распределения была получена методом годовых максимумов с использованием обобщенного распределения экстремальных значений GEV (Generalized Extreme Value). Считается, что экстраполяция методом годовых максимумов обоснована для временных интервалов, не превышающих длину исходного ряда в 3–4 раза.

Цель настоящей работы состояла в анализе данных многолетних измерений ветрового волнения в северной части Черного моря (Южный берег Крыма, ЮБК), проводимых на стационарной океанографической платформе в районе п. Кацивели, для получения статистических характеристик штормового ветрового волнения, описывающих волновой режим в прибрежной части ЮБК в 2011–2023 гг.

Проведены расчеты и оценены как режимные, так и максимальные характеристики параметров волнения, получено, что:

– среднемесячная высота значительных волн в летние месяцы составляет примерно 0,40 м, в зимние месяцы – 0,77 м;

– максимальные высоты значительных волн при штормах достигали значений 2,2 м летом и 2,7 м – зимой, при этом наибольшие одиночные волны достигали 4,6 м летом, 6,4 м зимой.

– наибольшую повторяемость в летние месяцы имело слабое волнение (0,1 м < H_s < 0,5 м), в зимние месяцы легкое волнение (0,5 м < H_s < 1,25 м);

– высота значительных волн в районе ЮБК, возможная 1 раз в 40 лет, составляет 4,3 м, а максимальная высота волны может достигать 9,5 м.

Исследование выполнено в рамках тем государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ № FNNN-2024-0014, № FNNN-2022-0002, Соглашение № 169-15-2023-002 от 01.03.2023.

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСТВОРЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ВДОЛЬ ВОДНОГО КОНТИНУУМА

В. С. Герасюк ✉, В. В. Кулыгин, А. В. Подобедова

ЮНЦ РАН, Ростов-на-Дону, Россия
gerasyuk.v@mail.ru✉

Ключевые слова: окрашенное растворенное органическое вещество, спектры поглощения, оптические свойства.

Оценки вклада окрашенной части растворенного органического вещества (ОРОВ) в общий растворенный органический углерод (РОУ) достигают 70 % с самыми высокими значениями в прибрежных районах и эстуариях. Высокая степень поглощения солнечного света ОРОВ способствует возникновению различных фотохимических реакций, которые могут влиять на окислительно-восстановительные свойства морской воды, изменять биодоступность органических соединений для микроорганизмов. Кроме того, высокая концентрация ОРОВ может серьезно ухудшить качество определения концентрации хлорофилла *a* по спутниковым измерениям, что затрудняет получение более точных региональных и глобальных оценок первичной продуктивности.

Наземные источники органического вещества обычно доминируют в потоках углерода через речные и эстуарные экосистемы, но дальнейшая судьба, трансформация и состав органического вещества остаются плохо изученными.

Настоящее исследование направлено на изучение оптических характеристик ОРОВ в пресно-морском градиенте вдоль обширного пространственного водного континуума Цимлянское водохранилище – река Дон – Таганрогский залив – Азовское море – Керченский пролив – Черное море. Рассматривались результаты экспедиций на НИС «Денеб» в мае (Цимлянское водохранилище, р. Дон) и августе 2023 г. (Таганрогский залив – Черное море), а также определения в прибрежной зоне Таганрогского залива (май – июнь 2023 г.). В процессе работы были проанализированы 34 пробы воды с широким диапазоном солености от 0,23 до 18,1 ЕПС.

Для качественного и количественного анализа ОРОВ в работе использован ряд оптических характеристик: коэффициент поглощения в ультрафиолетовом спектре на длине волны 254 нм (a254); спектральные углы наклона между 290 и 350 нм ($S_{290–350}$), 275 и 295 нм ($S_{275–295}$), 350 и 400 нм ($S_{350–400}$), рассчитанные по логарифмически преобразованным спектрам поглощения; отношение спектральных углов наклона $S_R = S_{275–295}/S_{350–400}$; отношение коэффициентов поглощения ОРОВ на 250 и 365 нм (a_{250}:a_{365}) и коэффициент молярной или специфической абсорбции ($SUVA_{254}$).

Спектры поглощения ОРОВ в диапазоне 200–400 нм показали четкое разделение между речными, эстуарными и морскими водами. Зависимость a_{254} от солености описывается тесной линейной связью ($r = -0{,}82$). Растворенный органический углерод демонстрирует полиномиальную зависимость от солености ($r = 0{,}88$), «горб» с увеличением РОУ приходится на область Таганрогского залива, где регистрируются высокие значения концентрации хлорофилла *a*.

Дополнительные параметры ($S_{290–350}$, $S_{275–295}$, $S_{350–400}$, a_{250}:a_{365}, S_R) дают представление о различных характеристиках РОВ, таких как молекулярная масса, состав, возраст и содержание ароматических соединений. В целом четыре параметра ($SUVA_{254}$, $S_{275–295}$, $S_{350–400}$, $S_{290–350}$) продемонстрировали убывающий характер вдоль пути потока, тогда как два параметра (S_R, a_{250}:a_{365}) – возрастающий.

Полученные результаты демонстрируют перспективность использования спектральных характеристик поглощения ультрафиолетового и видимого диапазонов для экспресс-мониторинга количества ОРОВ и его качественного состава.

Работа выполнена в рамках НИР ГЗ ЮНЦ РАН № госрегистрации 123071900007-8 «Разработка системы климатического и экологического мониторинга Азовского моря и обеспечение ее функционирования».

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ СКОРОСТИ ЗВУКА ПО ДАННЫМ, ПОЛУЧЕННЫМ ТОЧЕЧНЫМИ И РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ИЗМЕРИТЕЛЯМИ

А. Н. Греков ✉, Н. А. Греков

ИПТС, Севастополь, Россия
✉ *i@angrekov.ru*

Ключевые слова: морская среда, измерительная система, автомодельность океана, метод.

Проблема восстановления и оценки вертикального распределения скорости звука в деятельном слое океана возникает при невозможности его непосредственного измерения во всем диапазоне глубин с высоким разрешением точечными приборами.

Предлагаемая измерительная система с оптимальным расположением акустических носителей состоит из акустического поверхностного излучателя и искусственного отражателя (рассеивателя), прикрепленного к кабель-тросу, в котором размещены датчики скорости звука и давления. В морскую среду акустическим источником излучают колебания, которые рассеиваются от отражателя и принимаются приемником на поверхности. Одновременно измеряется глубина нахождения отражателя. В самом начале измеряется тонкослойная эталонная вертикальная структура поля скорости звука точечным прибором. Опишем распределение скорости звука с помощью безразмерных переменных с учетом граничных условий, получаемых по значениям средней скорости звука в слое, по точечным значениям скорости звука на границах слоя и датчика давления на глубине. Определим автомодельный профиль скорости звука для каждого интервала времени. Достоинство предлагаемого метода заключается в том, что нет необходимости нахождения большого количества относительно мелких естественных акустических рассеивателей (в море – крупного зоопланктона, мелких рыб) и регулярного зондирования точечным прибором с использованием кабель-тросовой лебедки, что значительно сокращает время измерения.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПОДПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕЧЕНИЙ В КЕРЧЕНСКОМ ПРОЛИВЕ ПО ДАННЫМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В 2020–2021 ГОДАХ

А. В. Григорьев ✉, М. И. Морозова

ГОИН, Москва, Россия
✉ *ag-privat@mail.ru*

Ключевые слова: Керченский пролив, Азовское море, Черное море, водообмен, течения, статистические характеристики.

Зафиксированное значимое осолонение вод Азовского моря, начавшееся как минимум с 2007 г., вызвало интерес специалистов к возможным его причинам (грант РФФИ № 18-05-80025). При этом из возможных очевидных, влияющих на процесс осолонения Азова факторов могли быть изменение объема стока рек Дона и Кубани, увеличение испарения с поверхности моря вследствие наблюдаемого общего увеличения температуры поверхности вод и водообмен между Азовским и Черным морями через Керченский пролив (черноморские воды заметно более соленые в сравнении с азовскими).

По данным наблюдений, сток рек в Азов в последние два десятилетия стабилизировался. Испарение в количественном смысле не является значимым фактором осолонения. Поэтому, возможно, важнейшим фактором, определяющим увеличение солености вод Азова, может быть водообмен между морями через Керченский пролив.

По многолетним архивным данным, потоки вод через пролив имеют реверсивный характер, весьма зависящий от направления ветров, с преобладающим направлением потока из Азова в Черное море, вызванным превышением уровня Азова перед Черным морем благодаря наличию стока рек. По данным наблюдений, на

ближайших к проливу морских гидрометеостанциях (ГМС) в период 2014–2020 гг. имеет место превышение уровня на черноморских ГМС над уровнем на азовских ГМС примерно на 5 см, что должно вызвать общий поток из Черного в Азовское море через Керченский пролив и, возможно, являться причиной осолонения Азова. Для сохранения водного баланса, течения в проливе должны иметь сложный трехмерный характер.

Контактные наблюдения над течениями в проливе довольно редки и имеют временные периоды, характерные для экспедиционных наблюдений, – порядка недель. Плюсами таких наблюдений являются возможность воссоздания картин течений и соответствующих им иных гидрологических характеристик на разрезах. Весьма важными параметрами при этом являются значения солености и температуры, позволяющие диагностировать воды азовского и черноморского происхождения.

Долговременные (2020–2021 гг.) наблюдения на автономных буйковых станциях (АБС), установленных в двух точках пролива со стороны Крыма по отношению к судоходному фарватеру, позволили получить статистически обеспеченные оценки изменчивости подповерхностных течений. Вне зависимости от в целом хорошо выраженных С-СВ составляющих скоростей ветра на прибрежных ГМС района пролива со стороны как Азовского, так и Черного морей, результаты «северного» буя имеют примерно равные составляющие как СВ и ЮЗ направлений течений, так и значимых нормальным к ним В и З направлений. Розы направления течений, по данным «южного» буя, соответствуют ярко выраженному северному направлению подповерхностных течений, то есть подтверждают их направленность из Черного в Азовское море. Что, по мнению авторов, может являться подтверждением гипотезы о значимом в статистическом смысле притоке черноморских вод в Азов как минимум в поверхностном слое и может быть значимой причиной осолонения его вод.

ДИНАМИКА МОРСКИХ ВОД И ГИДРОЛОГИЯ ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНОВ АЗОВСКОГО МОРЯ В РАЙОНАХ ЧУМБУРСКОЙ, САЗАЛЬНИКСКОЙ И КАМЫШЕВАТСКОЙ КОС

К. С. Григоренко

ЮНЦ РАН, Ростов-на-Дону, Россия
✉ *Klim_grig@mail.ru*

Ключевые слова: сейши, сгонно-нагонные явления, осолонение, спектральный анализ.

В работе представлены результаты океанологических исследований на косах Сазальникская, Чумбурская и Камышеватская Азовского моря. Съемки проведены в мае и августе 2023 г., а также в июне 2024 г. Измерения выполнены с доплеровским регистратором течений Aanderaa RCM 9 LW. Дискретность измерений настроена на 30 мин.

Разложение рядов компонент скорости течений на Чумбурской косе показало близкое соответствие северной и восточной составляющих. В обоих случаях существует широкий подъем спектральной плотности сигнала от 15,8 до 8 ч. Северная компонента при этом имеет подъем на околополусуточных 11,9 ч. Узкий и высокий максимум колебаний обнаружен на частоте 6 ч. Спектр солености в значительной мере отличается. Имеется мощный суточный максимум (23,7 ч) и несколько пиков на 8–10, 5,3 и 3,9 ч.

Анализ периодических изменений параметров течений на спектры позволило выделить ряд закономерностей. Спектр восточной составляющей течений имеет пики на близких к суточной и полусуточной частотам, характерным для сейш Таганрогского залива. Максимум спектральной плотности, содержащий частоту 12,5 ч, широкий. Нижний предел приходится на инерционную частоту широты наблюдений, верхний – составляет 12,5 ч. Следующий заметный максимум приходится на 6,25 ч. Распределение частот колебаний северной составляющей скоростей течений на Сазальникской косе Азовского моря отличается. Первый широкий максимум расположен на частоте, близкой к 38 ч, – частоте одноузловой

сейши Азовского моря. Высокую мощность имеет 10- и 5-часовой сигнал. Разложение по частотам изменений солености не имеет выраженной цикличности за период измерений. При этом невысокие повышения спектральной плотности приходятся на 38 ч – одноузловую сейшу Азовского моря, 21 и 12 ч.

Для Азовского моря в районе косы Камышеватская характерна дрейфово-градиентная схема течений. При слабых ветрах бризовой природы формируется слабый перенос суточного периода, на фоне которого развиваются сейши Ясенского залива с периодом 4 ч. Усиление ветров до 4–6 м/с способствует насыщению энергией амфидромической системы одноузловой сейши Азовского моря с периодом 38–39 ч. Результирующее движение вод при этом направлено на юго-восток. Для вод моря характерна высокая соленость – более 15 ЕПС, что близко к солености Черного моря (17–18 ЕПС).

Воды озера Долгого имеют необычный химический состав и втрое большую минерализацию относительно окружающих вод Таганрогского залива. Анализы позволяют предположить заполнение чаши озера при нагонах с последующим ростом минерализации за счет испарения.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЧАСТОТНОГО СПЕКТРА ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ ИЗ ДАННЫХ СУДОВОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ

Е. А. Ежова [1, 2] ✉, **А. В. Гавриков** [1]

[1] *ИО РАН, Москва, Россия*
[2] *МФТИ, Долгопрудный, Россия*
✉ *ezhova.ean@ocean.ru*

Ключевые слова: ветровое волнение, спектр волнения, радиолокация, навигационный радар.

Восстановление спектральных характеристик ветрового волнения по данным судовой радиолокационной станции (РЛС)

является важной актуальной задачей для создания сети их оперативного мониторинга. Подобная сеть позволит увеличить покрытие и степень достоверности данных попутных наблюдений за состоянием морской поверхности. Частотный спектр заключает в себе наиболее полную информацию о параметрах волнения.

В работе анализируются данные шести морских экспедиций, в ходе которых велось измерение характеристик волнения с помощью волномерных буев и штатной судовой РЛС. Эти измерения проводились как в дрейфе, так и при скорости судна, достигающей 8 м/с. Такого рода попутные радиолокационные измерения могут проводиться в автоматическом режиме. В ходе анализа данных был разработан алгоритм восстановления частотного спектра по радиолокационным изображениям морской поверхности. Валидация полученных спектров была проведена на данных волномерного буя.

Для данных попутных наблюдений полученные в движущейся относительно поверхности воды системе отсчета частотные спектры были приведены к стационарному измерению. Проведено сравнение периодов спектрального пика с данными визуальных наблюдений.

Разработанный алгоритм восстановления частотного спектра, соответствующего измерению в дрейфе, показал высокие показатели качества оценки периода пика, значительной высоты волнения (среднее квадратическое отклонение около 2 с и полуметра соответственно) и может быть интегрирован в систему оперативного мониторинга состояния морской поверхности по данным попутных судовых радиолокационных измерений.

ВЛИЯНИЕ ДИНАМИКИ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО ТЕЧЕНИЯ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ТИХООКЕАНСКИХ ВОД В ЧУКОТСКОМ МОРЕ

В. Р. Жук ✉, А. А. Кубряков

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *zhuk.vlad1slav@yandex.ru*

Ключевые слова: Северный ледовитый океан, крупномасштабная динамика, Берингов пролив, Чукотское море, водообмен, тихоокеанские воды, сезонная и межгодовая изменчивость.

Динамика Восточно-Сибирского течения (ВСТ) и ее связь с межгодовой изменчивостью распространения тихоокеанских водных масс в Чукотском море с 1993 по 2020 г. исследуются на основе спутниковых измерений SMAP, данных реанализа GLORYS12v1 и заякоренных буев с ADCP-измерителями.

Анализ данных о солености и температуре позволил определить два типа распространения беринговоморских летних вод (БЛВ): «западный» и «восточный». Первый характеризуется проникновением тихоокеанских вод в северо-западную часть моря, а также распространением БЛВ на 180° з. д. и 72,5°с. ш. При «восточном» типе соленые воды прижимаются к северо-восточной области моря. Занимаемая ими площадь уменьшается, а северная граница ареалов распространения БЛВ смещается до 174–176° з. д. Районы с низкой соленостью ~29 ЕПС наблюдаются в западной части моря. Установлено, что на формирование типов влияет не только поток тихоокеанских вод через Берингов пролив, но и ВСТ. Эти два фактора взаимосвязаны и приводят к коррелированным изменениям солености вод Чукотского моря. В то же время ВСТ при существенном усилении может вызывать блокировку северного потока в Беринговом проливе и сокращение ареалов распространения соленых тихоокеанских вод в Чукотском море. Анализ полученных результатов показал, что интенсификация ВСТ произошла в 1994, 2002, 2012 и 2016 гг., когда его транспорт увеличился примерно на 0,2 Св, при этом поток через Берингов пролив снизился на сопоставимую величину.

Работа выполнена в рамках государственного задания № FNNN-2024-0017 (анализ контактных данных) и № FNNN-2024-0012 (анализ спутниковых измерений и данных реанализа).

КИНЕМАТИКА ВНУТРЕННИХ ВОЛН И МОРСКОГО ЛЬДА В АРКТИКЕ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ РАДИОЛОКАЦИИ

И. Е. Козлов

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *ik@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: короткопериодные внутренние волны, морской лед, дрейф морского льда, спутниковая радиолокация, прикромочная ледовая зона, Гренландское море, Арктика.

В настоящей работе на основе анализа последовательных спутниковых радиолокационных изображений (РЛИ) Sentinel-1 A/B и ALOS-2 PALSAR-2, полученных в августе 2018 г. в северной части Гренландского моря, исследуется динамика короткопериодных внутренних волн (КВВ) и их влияние на дрейф морского льда. В анализируемых РЛИ наблюдались выраженные поверхностные проявления последовательных пакетов КВВ юго-восточного направления, имевших когерентную структуру и один и тот же район генерации вблизи разреженной прикромочной ледовой зоны.

По данным последовательных спутниковых РЛИ были определены фазовая скорость отдельных волн внутри пакетов и групповая скорость пакетов КВВ, а также скорость и направление дрейфа льда в непосредственной близости от пакетов КВВ. Значения фазовой скорости КВВ находятся в диапазоне от 0,65 до 1,04 м/с, уменьшаясь от начала пакета в сторону его тыла, что является характерной особенностью нелинейных волн. При этом диапазон изменчивости значений фазовой скорости вдоль гребня отдельно взятой волны может достигать 0,2–0,3 м/с.

Диапазон наблюдаемых значений скорости дрейфа льда в районе исследований составил от 0,1 до 0,65 м/с, при этом площадь отдельных льдин варьировалась от 0,01 до 20 км^2. Важной особенностью наблюдений являлось характерное изменение скорости и направления дрейфа льда в зонах распространения КВВ. Если на фоновых участках акватории (вне областей влияния КВВ) лед дрейфовал со средней скоростью около 0,2–0,3 м/с в восточном и северо-восточном направлении под влиянием южного ветра, то внутри участков распространения КВВ в ряде случаев наблюдался сонаправленный дрейф льда на юго-восток с характерным усилением скорости дрейфа до 0,5–0,65 м/с. Для более детального анализа полученных результатов были использованы поля приводного ветра из реанализа ERA-5, а также информация о приливных течениях из модели Arc2kmTM. Полученные результаты будут представлены в ходе доклада.

Настоящая работа выполнена в рамках государственного задания по теме № FNNN-2024-0017 «Комплексные исследования гидрофизических процессов в полярных районах Мирового океана на основе анализа мультисенсорных дистанционных и контактных измерений».

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ВЕРХНЕГО СЛОЯ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ ПО ДАННЫМ МИКРОСТРУКТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ЛЕТОМ 2023 ГОДА

И. Е. Козлов [1] ✉, В. А. Коржуев [1], И. О. Копышов [1], М. И. Павлов [1], А. Г. Зубов [1], А. В. Зимин [2]

[1] *МГИ, Севастополь, Россия*
[2] *ИО РАН, Москва, Россия*
✉ *ik@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: турбулентность, микроструктурные измерения, субмезомасштабная динамика океана, Арктика.

В настоящей работе представлены предварительные результаты анализа натурных измерений в Карском и Баренцевом

морях, выполненных в ходе рейса НИС «Дальние Зеленцы» в рамках программы «Плавучий университет-2023» с 15 июля по 3 августа 2023 г. Одной из научных задач экспедиции было исследование характеристик турбулентности верхнего слоя арктических морей на основе измерений микроструктурного зонда Sea & Sun Technology MSS60 (Германия).

Одной из основных задач микроструктурных измерений было определение влияния субмезомасштабных динамических процессов верхнего слоя моря (внутренних волн, фронтальных разделов и вихревых структур) на характеристики турбулентности. В ходе экспедиции микроструктурные измерения проводились в верхнем 200-метровом слое моря как на отдельных станциях, так и в ходе учащенных серий. Измерения были выполнены таким образом, чтобы можно было оценить характеристики турбулентности как в динамически активных районах с выраженным наличием интенсивных внутренних волн и вихрей, границ водных масс и фронтальных разделов, так и в относительно спокойных районах.

В общей сложности в ходе экспедиции было получено 239 микроструктурных профилей. Глубина зондирования в разных районах существенно различалась. Так, на первом полигоне в проливе Карские Ворота, известном генерацией интенсивных КВВ, и в его окрестностях глубина зондирования в среднем не превышала 50 м. Это было обусловлено необходимостью выполнять вертикальные профили с максимальной частотой, порядка 2–3 мин между зондированиями, чтобы разрешить пакеты КВВ с характерными периодами в диапазоне 5–20 мин. В отдельных точках разрезов выполнялось два – три последовательных измерения, во время продолжительных 6-часовых дрейфов – непрерывные серии. На втором полигоне на северо-западе Карского моря глубина зондирования достигала 100 м и состояла в основном из 2–3 последовательных измерений на каждой станции. На данном полигоне микроструктурные измерения проводились на периферии и внутри вихрей, наблюдавшихся в остаточных формах льда. Заключительным этапом работ было выполнение стандартного разреза от м. Желания до арх. Земля Франца-Иосифа. В ходе этого разреза методика измерений была той же, но до глубин 150–200 м. Это позволило охватить измерениями

также слой атлантической водной массы, располагавшейся на глубинах от 60 до 200 м.

В настоящей работе будут представлены результаты предварительного анализа микроструктурных измерений, выделены районы и процессы, определяющие повышенные относительно фона значения скорости диссипации кинетической энергии турбулентности ε. Фоновые значения ε в различных районах находились в диапазоне $10^{-8}…10^{-10}$ Вт/кг. Всплески значений ε наблюдались в слое сезонного пикноклина, на границах холодного промежуточного слоя и относительно теплой атлантической воды, где в отдельных эпизодах они достигали значений в диапазоне $10^{-4}…10^{-6}$ Вт/кг.

Настоящее исследование выполнено при поддержке гранта РНФ № 21-17-00278, а также в рамках государственного задания FNNN-2024-0017. Данные натурных измерений получены в рамках программы «Плавучий университет» при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации при координации Московского физико-технического института.

АНАЛИЗ РЕЖИМОВ ПОТОКА В ПРОЛИВЕ КАРСКИЕ ВОРОТА ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ И МОДЕЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В ИЮЛЕ 2023 ГОДА

И. О. Копышов [1, 2] ✉, **И. Е. Козлов** [1]

[1] *МГИ, Севастополь, Россия*
[2] *МФТИ, Долгопрудный, Россия*
✉ *kopyshov.io@phystech.edu*

Ключевые слова: короткопериодные внутренние волны, механизмы генерации, баротропный прилив, число Фруда, пролив Карские Ворота.

В проливе Карские Ворота регулярно наблюдаются короткопериодные внутренние волны, и последние результаты показывают их аномально высокие значения амплитуды. В отдельных

частях пролива показана возможность генерации солитонов прямым преобразованием баротропного прилива посредством подветренного механизма генерации. В этом случае определяющим критерием является число Фруда как отношение скорости потока к линейной фазовой скорости длинных внутренних волн первой моды c_0. Последнее находится как собственное решение краевой задачи Штурма – Лиувилля. В настоящей работе приведен результат анализа режимов течения в проливе Карские Ворота в зависимости от значений числа Фруда во время проведения работ на полигоне в рамках 1-го этапа экспедиции Плавучего Университета 2023 г. 17–20 июля.

В качестве скорости потока использовались модельные данные региональной приливной модели Arc2kmTM, а также значения среднего дрейфа плавучих трассеров, регистрация которых проводилась с квадрокоптера во время проведения работ на станциях. Оценка значений c_0 проводилась по результатам контактных измерений. Показано, что в первый дрейф судно на протяжении 8 ч проводило измерения сначала в сверхкритическом режиме, затем в транскритическом и завершило работы уже в докритическом режиме. При этом уединенные колебания регистрировались на протяжении всего периода измерений. Второй и третий дрейфы также проводились во всех трех режимах потока.

Также в работе предлагается использовать еще один режим потока «гиперкритический» ($Fr > 4$), при котором скорость изменения потока настолько велика, что время нахождения потока в промежуточном «транскритическом» режиме меньше, чем необходимо для формирования уединенной структуры. Показано наличие районов с гиперкритическим режимом у северного побережья о. Вайгач и у южных берегов о. Южный и о. Логинов арх. Новая Земля.

Настоящая работа выполнена в рамках государственного задания по теме № FNNN-2024-0017. Экспедиционные данные были получены в рамках программы «Плавучие университеты» (соглашение № 075-01593-23-06).

ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТУРБУЛЕНТНОСТИ В ПРИПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ МОРЯ ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

В. А. Коржуев ✉, А. М. Чухарев, М. И. Павлов, Д. А. Казаков

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *genzak30@gmail.com*

Ключевые слова: вертикальный турбулентный обмен, диссипация энергии, натурные измерения, моделирование.

Установление физических закономерностей вертикального и горизонтального обмена в однородных и стратифицированных слоях моря, создание и развитие численных и полуэмпирических моделей для вычисления и прогноза течений и гидрофизических полей являются актуальной проблемой в теории климата и описании процессов динамики растворенных веществ, в частности биогенных элементов, кислорода, сероводорода и проч. Процессы обмена в морской среде существенным образом зависят от турбулентного перемешивания, что обусловливает их параметризацию – важную задачу в изучении Мирового океана.

В работе производится подбор расчетных параметров для вычисления коэффициента вертикальной турбулентной вязкости по многомасштабной модели турбулентности методом сопоставления модельных и натурных данных, собранных в ходе измерения турбулентных характеристик позиционным турбулиметром «Сигма-1» в различных метеорологических условиях. Данные были собраны в ходе экспедиции на стационарную океанографическую платформу (СОП) в пгт Кацивели силами экспедиции отдела турбулентности МГИ РАН. Анализ большого массива данных позволил уточнить эмпирическую формулу для вычисления коэффициента вертикальной турбулентной вязкости. Коэффициент корреляции модельных и натурных данных прямо зависит от скорости ветра: он возрастает от 0,45 при скорости менее 2 м/с до 0,7 при скорости 5 м/с, т. е. достоверность параметризации становится выше.

НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЛУБИНЫ ПРОНИКНОВЕНИЯ ПУЗЫРЬКОВ ВОЗДУХА, ФОРМИРУЕМЫХ ОБРУШЕНИЯМИ

А. Е. Кориненко ✉, В. В. Малиновский

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *korinenko.alex@ mhi-ras.ru*

Ключевые слова: обрушения ветровых волн, морские натурные исследования, морская поверхность, барашковая пена, глубина проникновения пузырьков, возраст волн.

Обрушения ветровых волн играют важную роль в процессах, связанных с переносом массы, количества движения, тепла между океаном и атмосферой, диссипацией волновой энергии, генерацией турбулентности в приповерхностном слое моря. Обрушения вовлекают в толщу воды большой объем воздуха, образуя облака пузырьков различных размеров (от микрометров до сантиметров). При погружении пузырька в воду происходит обмен газами между ним и окружающей водой. Скорость газообмена посредством пузырей зависит от множества факторов: температуры воды, наличия поверхностно активных веществ, турбулентности, времени жизни индивидуальных пузырьков, глубины их вовлечение и т. д.

В данной работе, основанной на анализе рассеянного в толще воды акустического сигнала, акцент сделан на исследовании глубины проникновения пузырьков, генерируемых обрушениями ветровых волн.

Целью работы является выявление связей между параметрами атмосферы и морской поверхности с глубиной проникновения пузырьковой фракции.

Натурные исследования проводились в районе стационарной океанографической платформы, расположенной в 500 м от берега в районе пгт Кацивели. Определение глубины проникновения пузырьков h осуществлялось по данным акустического канала доплеровского измерителя течений (ADCP WHM1200). На океанографической платформе регистрировалась метеорологическая

информация, с помощью струнного волнографа проводились измерения возвышений поверхностного волнения. Определение доли морской поверхности Q, покрытой обрушениями, осуществлялось по видеозаписям морской поверхности. Наблюдаемая скорость ветра U варьировалась от 6 до 24 м/с, а состояние морской поверхности изменялось от развивающегося до развитого.

Экспериментально установлена зависимость средней глубины проникновения пузырей от U. С усилением скорости ветра от 6 до 24 м/с значение *h* увеличивается с 0,6 до 10 м. Показано, что глубина проникновения пузырьков зависит не только от U, но и от степени развития ветровых волн. Приведены зависимости *h* от скорости ветра и возраста волн, которые согласуются с результатами других авторов.

Проведено сопоставление глубины проникновения пузырей с параметрами обрушений ветровых волн. Установлена степенная зависимость *h* от Q.

Настоящее исследование выполнено в рамках государственного задания FNNN-2024-0001

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ СПУТНИКА «МЕТЕОР-М» НА ОСНОВЕ КАЛИБРОВКИ С ДАННЫМИ MODIS

А. А. Кубряков [1] ✉, **С. В. Станичный** [1], **А. Н. Орлов** [2]

[1] *МГИ, Севастополь, Россия*
[2] *Российские космические системы, Москва, Россия*
✉ *arskubr@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: температура поверхности моря, Черное море, МСУ-МР, «Метеор-2», MODIS, инфракрасные измерения.

Развитие отечественных спутниковых продуктов мониторинга водной среды необходимо для обеспечения целей безопасности судоходства и добычи на шельфе, исследования климати-

ческих изменений. Одним из успешных примеров таких продуктов являются данные о температуре поверхности дальневосточных морей, полученные на основе измерений прибором МСУ-МР (многоканальное сканирующее устройство малого разрешения) в работах Алексанина и соавторов. В настоящей работе предложен алгоритм восстановления температуры поверхности Черного моря по данным прибора МСУ-МР, установленного на спутнике «Метеор-2». Алгоритм основан на сопоставлении яркостных измерений МСУ-МР в двух каналах (10,5–11,5 мкм и 11,5–12,5 мкм) с калиброванными данными MODIS о температуре поверхности океана (дневные измерения). Данные о яркости МСУ-МР были получены на основе интерполяции численных значений с использованием LUT-таблицы, предоставленных НЦ ОМЗ. Для анализа использовался 4-летний ряд ежедневных измерений МСУ-МР за 2019–2023 гг. и квазисинхронные данные MODIS, полученные на портале Oceancolor. Всего использовалось более 12 млн квазисинхронных измерений. В результате предложен следующий алгоритм:

$$\mathrm{SST}_{\mathrm{meteor}} = a + b \cdot T_5 + c \cdot T_6,$$

где T_5, T_6 – яркость в 5-м и 6-м канале по данным прибора МСУ-МР; $a = 1{,}94$, $b = 0{,}88$; с = −0,17 – константы.

Величина среднеквадратичного отклонения между восстановленной температурой и температурой MODIS составила 0,92 °С, а коэффициент корреляции 0,94.

Важным источником ошибок являются полосы в данных «Метеора» в 6-м канале, которые приводят к ухудшению реального разрешения прибора МСУ-МР и росту ошибки по сравнению с данными MODIS. Еще одним естественным источником ошибок является разница во времени измерений MODIS и «Метеора» (примерно 12:00 и 14:00), которая из-за суточного хода температуры приводит к дополнительным различиям, особенно в районе ветровой тени на юго-востоке Черного моря.

На основе полученного алгоритма по данным МСУ-МР был восстановлен многолетний массив температуры Черного моря за 2019–2023 г. Карты разницы среднего распределения температуры поверхности моря за этот период демонстрирует, что разница средних значений не превышает 0,6°. Максимальное завышение наблюдается в юго-восточной части моря, что связано

с эффектом дневного прогрева, который особенно силен в юго-восточной части моря с низкими скоростями ветра.

Работа выполнена в рамках госзадания FNNN-2024-0012. Выражаем благодарность сотрудникам НЦ ОМЗ АО «Российские космические системы» за подготовку многолетнего массива данных «Метеор-2» для анализа.

ГИДРООПТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2024 ГОДА В ГОЛУБОМ ЗАЛИВЕ (ПГТ КАЦИВЕЛИ)

О. Б. Кудинов ✉, П. Н. Лишаев, А. А. Латушкин, М. В. Крыль, Д. А. Рябоконь, А. П. Хурчак

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *Kudinov_ob@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: гидрооптика, фитопланктон, растворенное органическое вещество.

В летний период 2024 г. в акватории Голубого залива были выполнены комплексные гидролого-гидрооптических исследования. Период проведения исследований состоял из трех этапов, различающихся по метеорологическим условиям. Первый этап характеризовался продолжительным периодом ясной погоды с высоким уровнем инсоляции. Второй этап был отмечен штормовыми условиями, которые привели к интенсивному вертикальному перемешиванию. Третий этап характеризовался длительным периодом ясной погоды. Исследования выполнялись вдоль разреза, который состоял из восьми станций и проходил через акваторию Голубого залива в южном направлении. Прибрежная станция располагалась вблизи аквапарка «Голубой залив», мористая станция – примерно на расстоянии двух морских миль от берега. С использованием зондирующей аппаратуры были получены профили температуры, солености, мутности, концентрации хлорофилла *a* и интенсивности флюоресценции (ИФ) растворен-

ного органического вещества (РОВ). Вертикальное распределение концентрации хлорофилла *a* характеризовалось одним максимумом на глубине 20–30 м.

Во время проведения работ наблюдался регулярный сброс сточных вод в прибрежную зону моря. Эти воды, содержащие различные загрязняющие вещества, оказывали существенное влияние на гидрооптические характеристики морской среды. В частности, приводили к повышению мутности, изменению цвета воды, увеличению интенсивности флюоресценции растворенных органических веществ. Как следствие, такие изменения гидрооптических характеристик могут влиять как на первичную продукцию, так и на морскую экосистему в целом.

Следует отметить, что сточные воды оказывают как положительное, так и отрицательное влияние на фитопланктон и концентрацию хлорофилла в морской среде. Положительный эффект: сточные воды могут содержать питательные вещества, такие как нитраты, фосфаты и кремний, которые являются необходимыми для роста фитопланктона. Умеренное обогащение питательными веществами может привести к увеличению биомассы фитопланктона и концентрации хлорофилла. Отрицательные эффекты связаны с возможным содержанием токсичных веществ, таких как тяжелые металлы, хлорорганические соединения и фармацевтические препараты, которые могут оказывать ингибирующее воздействие на фитопланктон. В целом, влияние сточных вод на фитопланктон и концентрацию хлорофилла является сложным и зависит от ряда факторов, включая тип и концентрацию загрязняющих веществ, гидрологические условия и исходное состояние экосистемы.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ FNNN-2024-0012. Данные получены в ЧГПП ФГБУН ФИЦ МГИ.

ОСОБЕННОСТИ ДОЛГОПЕРИОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ ПРИБРЕЖНОГО ТЕЧЕНИЯ У ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

А. С. Кузнецов

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *kuznetsov_as@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: контактный мониторинг, прибрежное течение, крупномасштабная изменчивость, Южный берег Крыма, Черное море.

Знания особенностей циркуляции вод Черного моря у побережья в зонах сопряжения с сушей, включая ближнюю акваторию материковой отмели, заливы и бухты у Южного берега Крыма, необходимы для решения прикладных задач рационального использования морских ресурсов и обеспечения устойчивого экономического развития этого приморского региона Крыма. Существенное влияние на изменчивость режима вдольберегового течения и его долгопериодные колебания в регионе оказывают гидрометеорологические, термобарические и циркуляционные процессы в атмосфере, включая региональные термические и орографические компоненты поля приземного ветра в зоне подстилающей атмосферы поверхности моря и суши. Исследования особенностей долгопериодных колебаний прибрежных течений у м. Кикинеиз Южного берега Крыма выполнены по данным контактного мониторинга течений на Черноморском гидрофизическом подспутниковом полигоне Морского гидрофизического института РАН со стационарной океанографической платформы кластером отечественных векторно-осредняющих измерителей течений. Благодаря верифицированной информационной технологии за период мониторинга 2001–2023 гг. сформирована региональная база данных изменчивости циркуляции прибрежных вод. На основе статистической обработки и спектрального анализа материалов базы данных получены предварительные результаты исследований долгопериодных колебаний стационар-

ного прибрежного течения, включая каскад сезонных и межгодовых колебаний. Сезонные колебания прибрежного течения у м. Кикинеиз Южного берега Крыма, наряду с основным годовым периодом, а также второй и третьей годовыми гармониками, статистически достоверно содержит осцилляции вблизи пятой годовой гармоники (~ 73 сут), а также колебания с периодом около 28 сут. Как известно, колебания уровня Черного моря на годовом периоде и вблизи второй годовой гармоники объясняются сезонными изменениями тангенциального напряжения трения ветра в регионе. Колебания вблизи третьей и пятой годовых гармоник, по-видимому, обусловлены внутренней крупномасштабной изменчивостью циркуляции вод у побережья, что необходимо исследовать дополнительно. Выявленные квазистационарные колебания прибрежного течения с периодом около 28 сут, по-видимому, обусловлены среднеширотной, характерной для Черноморского региона изменчивостью солнечной активности с периодом ~ 27 сут, что требует проведения дополнительных исследований накопленной совокупности натурных данных, как известно, зависящих от определенных хронологических интервалов долгопериодных циклов солнечной активности. Для исследований характеристик долгопериодных межгодовых колебаний течений за 22-летний период мониторинга были сформированы среднегодовые реализации изменчивости прибрежного течения в слое 5–20 м. По результатам спектрального анализа статистически достоверно выделены межгодовые колебания течения с периодами 2,7; 3,6 и 5,3 года. Представленные результаты способствуют развитию дальнейших натурных исследований крупномасштабной циркуляции вод Черного моря как природного фактора, непосредственного влияющего на динамику морских эколого-экономических процессов в прибрежной зоне у Южного берега Крыма.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ по теме № FNNN-2024-0016 «Прибрежные исследования».

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В АКВАТОРИЯХ МОРЕЙ КАРСКОГО И ЛАПТЕВЫХ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЛЕТОМ 2022 ГОДА

А. В. Кузьмин, И. Е. Козлов ✉

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *ik@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: короткопериодные внутренние волны, спутниковые радиолокационные изображения, Карское море, море Лаптевых, пролив Вилькицкого, пролив Карские Ворота, архипелаг Новая Земля, мыс Желания, Новосибирские острова.

В работе представлены результаты анализа пространственного распределения пакетов короткопериодных внутренних волн (КВВ) в акваториях Карского и Лаптевых морей за июль – август 2022 г. по данным радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) Sentinel-1 A\B. Рассмотрено 327 радиолокационных изображения (РЛИ), анализ которых позволил идентифицировать 2083 поверхностных проявления (ПП) КВВ. Исследуемый район Арктического бассейна характеризуется неравномерным покрытием спутниковой съемки в совокупности с неблагоприятными фоновыми условиями (сильные ветры и морской лед).

В Карском море пакеты КВВ регулярно регистрировались вдоль островов арх. Новая Земля, от м. Желания до м. Меньшикова, включая области в прол. Карские Ворота и вблизи зал. Благополучия, Русанова, Ога, Медвежьего и Незнаемого. Проявления КВВ на поверхности моря Лаптевых встречались менее часто, проявления КВВ зарегистрированы в прол. Вилькицкого, к северу от о. Большевик, а также северо-западнее Новосибирских о-вов.

Сопоставление результатов работы с предшествующими исследованиями показывает, что районы генерации КВВ значительно расширяются.

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА СГОННО-НАГОННЫХ ЯВЛЕНИЙ В РАЙОНЕ АРАЛЬСКОГО МОРЯ ПО СНИМКАМ, ПОЛУЧЕННЫМ СО СПУТНИКОВ AQUA/TERRA

Т. Ф. Кузьмичёва

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *TFK12.93@yandex.ru*

Ключевые слова: Аральское море, направление ветра, спутники Aqua/Terra, спутниковые снимки.

Аральское море в силу особенностей рельефа дна и береговой линии и из-за постоянного высыхания к началу 21-го столетия стало качественно другим. Оно превратилось в совокупность пяти практически изолированных водоемов, лежащих в непосредственной близости друг от друга, свойства которых существенно отличаются друг от друга.

Одной из особенностей Аральского моря является то, что воды рек Амударьи и Сырдарьи, впадающих в Аральское море, являются самыми мутными в Средней Азии и одними из самых мутных в мире. Взвесь, приносимая водами этих рек, оседает на дне моря и легко поднимается вверх при взмучивании, окрашивая поверхностные воды моря различными оттенками.

С запуском на орбиту спутников Terra (2000 г.) и Aqua (2002 г.), которые пролетают над Аральским морем каждый день в одно и то же время, изменения этих оттенков легко рассмотреть на RGB-изображениях, полученных по спутниковым измерениям в соответствующих спектральных каналах. Если учесть, что в районе Аральского моря около 300 безоблачных, либо с небольшой облачностью дней, то эти снимки могут давать интересную информацию для анализа.

В настоящей работе показано, что между направлением ветров, дующих в районе Аральского моря, и характером изображения поверхности всех частей моря существует сильная корреляция.

ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЛАЗЕРНОГО ВОЛНОГРАФА В УСЛОВИЯХ РАЗЛИЧНОЙ ФОНОВОЙ ЗАСВЕТКИ

К. В. Куликовский ✉, Т. В. Байкова, М. В. Лихачева, Г. М. Алиев, М. Б. Планкина

МИРЭА, Москва, Россия
✉ *constantinkk@mail.ru*

Ключевые слова: волнографические измерения, оптические методы, морская поверхность, лазерный волнограф.

В докладе приводятся результаты комплексных измерений параметров взволнованной морской поверхности лазерными волнографами на разных длинах волн, измерений параметров ветра с помощью ультразвукового анемометра и уровня солнечной засветки исследуемого участка морской поверхности. Благодаря регистрации скорости и направления ветра с постоянной времени в 1 с удалось получить дополнительную информацию о развитии ветрового волнения, а также об изменчивости структуры частотных спектров и дисперсии уклонов.

Проведена оценка работоспособности лазерного волнографа с применением поляризационно-интерференционной фильтрации сигнала в условиях естественной солнечной засветки и ее влияния на погрешности измерений. По результатам экспериментальных работ показано, что при использовании лазерного источника излучения с длиной волны 520 нм и интерференционного фильтра с шириной полосы пропускания порядка 10 нм на видеокадрах удается четко регистрировать границу раздела воздух – вода и получать качественные волнографические измерения в любое время суток.

Показаны результаты обработки данных натурных измерений, проведенных в период с 2023 по 2024 г. на стационарной океанографической платформе МГИ РАН в Черном море. Приводятся примеры частотных и пространственных спектров волнения, полученные при частотах видеорегистрации от 30 до

90 Гц. Отмечаются особенности одномерных частотных спектров в области частот от 3 до 10 Гц.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (РНФ) №23-17-00189.

СИНОПТИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОЛЯ МУТНОСТИ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ У БЕРЕГОВ КРЫМА ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ЛЕТОМ 2023 ГОДА

А. А. Латушкин ✉, Ю. В. Артамонов, Е. А. Скрипалева, А. В. Федирко

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *sevsalat@gmail.com*

Ключевые слова: Черное море, мутность морской воды, температура, соленость, циркуляция вод.

Представлены результаты анализа пространственного распределения мутности воды на поверхности моря и его связи с распределениями термохалинных параметров у берегов Крыма летом 2023 г. по данным гидролого-гидрооптических измерений, выполненных в ходе 127-го рейса НИС «Профессор Водяницкий». Измерения были проведены дважды по одному и тому же маршруту, при этом повторные станции выполнялись в тех же координатах с последовательным продвижением с запада на восток. Первый этап измерений проводился 14–20 июня, второй – 22–28 июня. Мутность, температура и соленость морской воды измерялись с помощью гидролого-химического зондирующего комплекса IDRONAUT OCEAN SEVEN 320 PlusM, скорость и направления течений – акустическим допплеровским профилографом ADCP WORKHORSE-300 kHz.

Координаты станций в двух съемках практически совпадали, что позволило корректно сопоставить распределения мутности

и гидрологических параметров в периоды обоих этапов и выявить их различия, обусловленные синоптической изменчивостью. Во время 1-го этапа мутность воды на полигоне изменялась в пределах от 0,6 до 0,83 ЕМФ. Наиболее мутные воды располагались в западной части полигона у Южного берега Крыма, юго-восточнее м. Аю-Даг и в Феодосийском заливе. Самые прозрачные воды наблюдались на траверзе м. Меганом. В период 2-го этапа, неделей позже, на большей части полигона значения мутности заметно возросли и составили 0,6–1,15 ЕМФ. Высокие значения мутности отмечались восточнее м. Аю-Даг и у южной границы полигона на траверзе Феодосийского залива. Наиболее прозрачные воды располагались у западной границы полигона, где в период 1-го этапа мутность вод была максимальной. Отличия распределений значений мутности в периоды двух этапов были обусловлены в основном изменчивостью циркуляции вод. В период 1-го этапа основной поток Основного Черноморского течения (ОЧТ) прослеживался только в западной части полигона, восточнее м. Ай-Тодор поток ОЧТ располагался южнее, вне пределов полигона. В период 2-го этапа поток ОЧТ прослеживался на основной части акватории, за исключением Феодосийского залива. В центральной части полигона одна часть потока ОЧТ формировала Крымский антициклон, а другая часть продолжала следовать в западном направлении. Изменение циркуляции вод на полигоне отразилось в распределении температуры на поверхности моря (ТПМ). В период 2-го этапа отмечалось заметное увеличение значений ТПМ (до 22,6–25,3 °С) по сравнению с 1-м этапом (20,6–23,4 °С). Повышение ТПМ было связано не только с продолжающимся сезонным прогревом, но и с поступлением на акваторию полигона более теплых вод, переносимых потоком ОЧТ с юго-востока. Эти воды характеризуются также более низкими значениями солености и повышенной мутностью, что связано с влиянием азово-керченского распреснения, при котором азово-морские воды проникают через Керченский пролив и перемещаются вдоль северной периферии ОЧТ на запад. В период 2-го этапа переносимые потоком ОЧТ распресненные воды (ниже 17,9 ЕПС) распространялись вдоль периферии Крымского анти-

циклона на северо-восток, затем следовали вдоль берега на восток и далее на юго-восток, что привело к повышению значений мутности вод в юго-восточной и центральной части полигона.

Работа выполнена в рамках тем государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ FNNN-2024-0014 и FNNN-2024-0012. Данные получены в ЦКП «НИС Профессор Водяницкий» ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН».

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕЧЕНИЙ В ПРОЛИВЕ ФРАМА ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

Е. Е. Лемешко

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *e.lemeshko@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: Северный Ледовитый океан, альтиметрия, стерический уровень, арктическая осцилляция, пролив Фрама.

Уменьшение ледовитости Северного Ледовитого океана (СЛО) наблюдалось на протяжении последних десятилетий XXI в., что связано с усилением влияния атлантических вод на термохалинный режим в СЛО, ростом приземной температуры воздуха и изменением теплообмена с атмосферой. Важную роль в этих процессах играет водообмен Субполярной Атлантики с СЛО через пролив Фрама, через который происходит экспорт льда и распресненных вод из СЛО и поступление теплых атлантических вод в Арктику. Ставилась цель оценить влияние арктических и внеарктических типов атмосферной циркуляции на изменчивость геострофических течений в проливе на основе анализа связей климатических индексов изменчивости атмосферы и океана (AO, AD, NAO, EAP и AMO, AOO), спутниковых данных об уровне океана и поверхностной скорости геострофических течений.

В результате выделено ключевое влияние арктического диполя на изменчивость поступления атлантических вод в СЛО через пролив Фрама, получены оценки пространственно-временных характеристик изменчивости скоростей в проливе.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме FNNN-2024-0016.

ПРОЯВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ХОЛОДНОГО ПРОМЕЖУТОЧНОГО СЛОЯ В ЧЕРНОМ МОРЕ НА ШЕЛЬФЕ ЮГО-ЗАПАДНОГО КРЫМА

О. А. Лукашова ✉, В. Н. Белокопытов

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *luk_ok@mail.ru*

Ключевые слова: Черное море, холодный промежуточный слой, шельф Юго-Западного Крыма.

Одним из источников формирования вод холодного промежуточного слоя (ХПС) Черного моря является северо-западный шельф, откуда холодные воды сползают по материковому склону в глубоководную часть моря. Считается, что этот процесс происходит в основном в районе между 30,5° и 32° в. д. Анализ термохалинной структуры вод показал, что данный процесс из-за особенностей рельефа дна происходит и восточнее 32° в. д., на юго-западном шельфе Крыма. На вертикальном разрезе климатических полей температуры воды по 32° 45′ в. д. на протяжении всего года заметно наличие холодного языка (7–7,5 °С), который распространяется с севера на юг. Этот холодный поверхностный слой залегает в основном на глубине 50–100 м. Летом и осенью (июль – декабрь) толщина этого слоя уменьшается до 30 м, глубина залегания – до 60–90 м. Зимой (январь – март), когда поверхностный слой охлаждается до глубины залегания ХПС, температура морской воды практически одинакова (7–7,5 °С) до горизонта 100–110 м.

Распространение ХПС с севера на юг более заметно зимой (январь – март) и летом (июль – сентябрь) – южнее 44,5° с. ш. Весной (апрель – июнь) и осенью (октябрь – декабрь) ХПС выражен менее ярко и распространяется на юг всего лишь до 44,9° с. ш.

УГОЛ ЦВЕТНОСТИ ВОД ЧЕРНОГО И АЗОВСКОГО МОРЕЙ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ И КОНТАКТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Е. В. Маньковская ✉, Е. Н. Корчемкина

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *emankovskaya@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: Черное море, Азовское море, коэффициент яркости моря, угол цветности, показатель поглощения растворенным органическим веществом, показатель рассеяния назад взвешенным веществом.

Угол цветности – параметр, в математической форме отражающий цвет воды в колориметрической системе. В работе показана возможность его расчета по данным спутниковых оптических сканеров цвета моря. Сопоставление с расчетами по натурным спектрам коэффициента яркости показывает очень хорошее соответствие величин угла цветности. Для восстановления спектрального распределения коэффициента яркости толщи вод по дискретным измерениям в каналах спутниковых сканеров цвета использованы ортогональные функции, полученные по данным контактных измерений коэффициента яркости в последние годы (2019, 2021, 2023) в водах Черного и Азовского морей.

Кроме того, в работе рассмотрены различные варианты оценки показателей поглощения растворенным органическим веществом и показателей рассеяния назад взвешенными частицами по спутниковым данным, в том числе по углу цветности вод моря.

Работа выполнена в рамках государственного задания по темам FNNN-2024-0012 и № FNNN-2024-0016.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА ВЕСНОЙ 2019 ГОДА В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ГИДРООПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Е. В. Маньковская ✉, А. Н. Морозов

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *emankovskaya@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: Черное море, скорость течения, температура, частота плавучести, концентрация взвешенного вещества, субкислородная зона.

В докладе представлены данные CTD-, LADCP- и гидрооптических измерений, собранные в 106-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий», проходившем в северо-восточной части Черного моря (31°–40° в. д., 42,5°–45° с. ш.) с 20 апреля по 10 мая 2019 г. Обсуждаются изопикнически осредненные профили температуры, частоты плавучести и концентрации общего взвешенного вещества (ОВВ). Приводятся и анализируются горизонтальные распределения концентрации взвешенного вещества на 5-метровой глубине, в основном пикноклине и в субкислородной зоне.

На глубине 5 м повышение концентрации ОВВ наблюдается в теплых и распресненных водах. Наибольшее значение коэффициента детерминации 0,78 обеспечивается линейной зависимостью концентрации от времени (долготы) и солености. Это подтверждает, что основными источниками общего взвешенного вещества в верхнем слое моря является сток рек и биогеохимические процессы.

В основном пикноклине установлено, что максимум концентрации ОВВ наблюдается слева от Основного Черноморского течения ближе к центру моря и ограничивается областью с размерами около 100 км. Масштабы слоя максимума концентрации по вертикали составили 30 м, по плотности от 14,5 до 15,5 кг/м^3.

В субкислородной зоне локальный минимум концентрации ОВВ наблюдается при плотности 15,9 кг/м^3, локальный максимум – при плотности 16,1 кг/м^3, что приблизительно

соответствует нижней границе кислородного слоя и верхней границе сероводородной зоны соответственно. Аномально большие значения концентрации наблюдаются вблизи бровки свала глубин. В среднем слой располагается в диапазоне плотностей от 15,7 до 16,3 кг/м^3, по глубине слой составляет 50 м.

Работа выполнена в рамках государственного задания по темам FNNN-2024-0012 и № FNNN-2024-0016.

АПВЕЛЛИНГ В МРАМОРНОМ МОРЕ

А. В. Медведева ✉, С. В. Станичный, Н. В. Василенко

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *Suomi-NPP@mail.ru*

Ключевые слова: Мраморное море, апвеллинг, дистанционное зондирование.

Мраморное море имеет промежуточное положение между Черным и Эгейским морями, с которыми взаимодействует через проливы Босфор и Дарданеллы. Значительная разница в солености вод Черного и Эгейского морей обусловливают существование в Мраморном море устойчивой двухслойной термохалинной структуры вод, при которой верхний слой (черноморского происхождения) подвержен сезонным изменениям, а придонный (сформированный водами Эгейского моря) характеризируется квазипостоянными параметрами. Таким образом, воды поверхностного слоя моря могут иметь соленость от 21 до 26 ‰ и, в зависимости от сезона, температуру от 7–8 до 27–28 °С, тогда как у вод придонного слоя круглогодично соленость около 38,6 ‰ и температура около 14,4 °С. Соответственно, в зимний сезон в Мраморном море наблюдается инвертированная термическая структура вод, при которой воды ниже термоклина теплее, чем воды выше.

Исследование основано на использовании оптических данных TIRS Landsat-8, -9 (пространственное разрешение – 100 м) и данных среднего разрешения MODIS-Aqua, MODIS-Terra и VIIRS-

Suomi-NPP. Для получения характеристик ветра использовались данные ECMWF и NOMADS.

Апвеллинги в Мраморном море на оптических спутниковых изображениях (в роли трассера – температура) регистрируются и в теплое время года (примерно с мая по сентябрь), и в зимние месяцы (с декабря по январь).

В теплое время года развитие апвеллингов может наблюдаться как в западной, так и восточной части моря. Апвеллинг вдоль западного побережья регистрируется в отдельные годы, развивается при воздействии устойчивого юго-западного ветра со скоростями от 5–6 м/с, существует непродолжительное время (1–3 дня) и обычно имеет одно ядро, температура которого ниже окружающих вод на 2–3 °С.

Апвеллинг в восточной части моря (может быть в районе Измитского, Гемликского заливов, в прибрежной зоне полуострова Бозбурун) является откликом на воздействие северо-восточного ветра и обычно имеет несколько ядер. При скоростях ветра до 7–8 м/с апвеллинги нередко трудно идентифицировать из-за Босфорской струи, также проявляющейся в температуре в виде более холодных вод. Температурный контраст ядер апвеллинга с окружающими водами при указанных условиях колеблется в пределах 2–3 °С. При возрастании скорости ветра примерно до 10–12 м/с температурный контраст может увеличиваться до 4–5 °С. Продолжительность существования апвеллингов в восточной части варьируется от 1 до 6–7 сут.

В зимнее время на спутниковых изображениях апвеллинги регистрируются эпизодически в отдельные годы из-за незначительного числа дней с отсутствующим облачным покровом. Эти случаи обнаружены в восточной части моря (те же районы, что и в летнее время) при воздействии северо-восточного ветра, наиболее выраженные – в Гемликском заливе. Определение продолжительности существования зимних апвеллингов затруднительно, предположительно – не более нескольких дней. Из-за инвертированной термической структуры моря в зимнее время апвеллинги проявляются в виде более теплых вод, температура их ядер может превышать температуру окружающих вод на 2–4 °С.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ 23-27-00421 «Развитие методов спутникового мониторинга аномальных процессов в морских экосистемах на основе многоспектрального подхода». Данные получены в рамках государственного задания FNNN-2024-0012.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ МЕХАНИЗМОВ НА ЗАКОНОМЕРНОСТИ МЕЖГОДОВОЙ И СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ АНОМАЛИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В РАЙОНЕ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

В. В. Метик-Диюнова ✉, **Н. В. Хамицевич**

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *vitaliya.diyunova@bshpg-ras.ru*

Ключевые слова: атмосферная циркуляция, аномалии температуры воздуха, циркуляционные эпохи, потепление климата.

Для оценки влияния циркуляции атмосферы на изменчивость температуры воздуха, в частности межгодового и сезонного хода аномалий приземной температуры воздуха (АПТВ), использовалась классификация элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ), предложенная Б. Л. Дзердзеевским. С 1899 г. в Северном полушарии сменились три циркуляционные эпохи: две меридиональные (с 1899 по 1915 г. и с 1957 г. по настоящее время) и одна зональная (1916–1956 гг.).

Анализ динамики многолетнего хода и сезонных аномалий приземной температуры воздуха (АПТВ) проведен по данным береговых контактных наблюдений, полученных на Черноморском гидрофизическом подспутниковом полигоне, для периода 1950–2023 гг. Межгодовая изменчивость АПТВ характеризуется наличием ярко выраженного квазипериодического высокочастотного сигнала с периодичностью 2–5 лет, при этом коэффициент линейного тренда составляет 0,05 °С/год.

Линейные тренды средних месячных температур всех сезонов свидетельствуют об общей для территории исследования тенденции к потеплению. В среднем сезонная температура воздуха возрастает со скоростью 0,5 °С/10 лет. Наибольшие темпы роста АПТВ наблюдаются в весенний (0,05 °С/год) и летний (0,07 °С/год) периоды. Рост осенних и зимних аномалий составляет 0,04 °С/год.

Для оценки масштаба температурной аномалии использованы значения среднемесячных АПТВ, превышающие 5 и 95 процентили эмпирического распределения, которые считаются экстремальными. Наибольшая отрицательная аномалия среднегодовой температуры (−3,1 °С) наблюдалась в 1956 г. Это был последний год зональной циркуляционной эпохи. В первом периоде меридиональной циркуляционной эпохи (1957–1969 гг.), сменившей зональную циркуляционную эпоху в 1957 г., одновременно увеличивалась продолжительность меридиональных северных и южных процессов, при этом среднегодовые АПТВ находятся в диапазоне от −2,5 до −0,2 °С. Второй период меридиональной южной циркуляционной эпохи (1970–1980 гг.) характеризовался большей продолжительностью зональных процессов, среднегодовые АПТВ находятся в диапазоне от −2,7 до −1,0 °С. Для третьего периода меридиональной циркуляционной эпохи (1981–1997 гг.) характерен быстрый рост продолжительности меридиональных южных процессов. Среднегодовые АПТВ находятся в диапазоне от −2,7 до −0,6 °С.

Последняя смена периодов меридиональной циркуляционной эпохи (с 1998 г. по настоящее время) характеризуется значительным увеличением продолжительности долготной северной группы атмосферных процессов. В результате в районах блокирования в летние месяцы преобладают положительные аномалии температур, а в зимние месяцы возрастает повторяемость отрицательных аномалий температур. Наименьшее значение отрицательной АПТВ (−1,3 °С) наблюдалось в 2003 г., наибольшая положительная аномалия (+2,7 °С) – в 2020 г. Значение среднегодовой АПТВ повышается за счет увеличения максимума температур в летние месяцы и уменьшения минимума в зимние, что говорит об усилении свойства континентальности климата.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме FNNN-2024-0016.

ИЗУЧЕНИЕ ДРЕЙФУЮЩЕГО МОРСКОГО ЛЬДА В АРКТИКЕ С ПОМОЩЬЮ ДРОНА

Б. А. Новиков

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *alsha996@yandex.ru*

Ключевые слова: лед, дрейфующий лед, морской вихрь, Карское море, Арктика, БПЛА, дрон.

В ходе экспедиции «Плавучий Университет 2023» в Карское море были выполнены наблюдения за дрейфующим морским льдом с помощью оптической и термической камеры дрона. Полигон исследования был организован северо-восточнее Новой Земли внутри мезомасштабного вихря, который двигался с севера на юг и обошел остров с востока. Вместе с водными массами, морской вихрь перенес тающий лед, благодаря чему удалось выделить его на спутниковом снимке. Далее для досконального изучения морского льда был отснят фото- и видеоматериал высокого качества в разных частях вихря. Удалось получить уникальные съемки, на основе которых был разработан собственный метод оценки пространственных характеристик отдельных дрейфующих льдин и ледяного покрова в целом.

В результате получены скорости дрейфа льда, достигающие 0,08–0,1 м/с, а также направление движения всех льдин на видео, изменяющиеся в зависимости от места съемки в вихре. С помощью термической камеры показано, что водные массы внутри мезомасштабного вихря отличаются по температуре от внешних. Термическая камера позволила выделить хвосты дрейфующего льда, состоящие из пресной холодной воды. Показано, что в некоторых частях вихря направление перемещения льдин, меньших по площади, отличается от направления перемещения больших по площади льдин.

ОСОБЕННОСТИ ВИХРЕОБРАЗОВАНИЯ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ В УСЛОВИЯХ ОСЛАБЛЕНИЯ ПОЛЯРНОГО ФРОНТА

Л. А. Петренко [1] ✉, **И. Е. Козлов** [1], **А. А. Коник** [2]

[1] *МГИ, Севастополь, Россия*
[2] *ИО РАН, Москва, Россия*
✉ *larcpetr@gmail.ru*

Ключевые слова: вихреобразование, ветер, Полярный фронт, Баренцево море.

Представлены результаты исследований поверхностных проявлений вихревых структур в северной части Баренцева моря в июле 2022 г. по данным спутниковых радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) Sentinel-1 с целью выявления основного механизма генерации вихрей в условиях ослабления Полярного фронта. В рассматриваемый период граница распространения дрейфующих льдов к началу июля находилась гораздо севернее границы моря, а Полярный фронт четко прослеживался только до 40° в. д. Циркуляция вод в Баренцевом море находилась под влиянием достаточно сильных ветров западного сектора.

На основе анализа 89 спутниковых РЛИ было выявлено 598 вихревых образований на свободной ото льда воде, из которых 72 % (432 вихря) имели циклонический тип вращения, 28 % (166 вихрей) – антициклонический. Выявленные вихревые образования в основном были связаны с зонами поднятия дна: Медвежинско-Надеждинской возвышенности и Шпицбергенской банке на западе, возвышенности Персея в центральной части моря, к областям прибрежного шельфа островов Белый и Виктория на севере, в также в районе малых глубин к югу от арх. Земля Франца-Иосифа (ЗФИ). Исключение составила обширная банка у о. Северный арх. Новая Земля, где был зафиксирован минимум вихрей из-за действия сильных северо-западных ветров в этом районе, затрудняющих идентификацию поверхностных структур.

Наибольшая повторяемость вихрей наблюдалась в районе о. Надежды к югу от арх. Шпицберген у границы Медвежинского течения; у Центральной возвышенности, что связано с положением Полярной фронтальной зоны, у о. Белый на севере моря, в районе малых островов к югу от ЗФИ и в проливе между арх. ЗФИ и арх. Новая Земля из-за особенностей взаимодействия донной топографии и системы течений.

Большинство идентифицированных вихрей имело диаметры до 10 км. На вихри с диаметром более 20 км пришлось менее 5 %. При этом максимальная зафиксированная величина диаметра составила 40 км.

Вихри больших и средних диаметров были приурочены преимущественно к глубоким местам, в то время как вихри с диаметрами до 10 км чаще фиксировались над подводными возвышенностями и в шельфовых зонах. Вихри с наибольшими величинами диаметров локализовались преимущественно в западной и северо-западной частях Баренцева моря.

Выявлено, что генерация вихревых структур в северной части Баренцева моря в июле 2022 г. была обусловлена неустойчивостью течений, вызванной особенностями рельефа дна.

Работа выполнена в рамках госзадания ФГБУН ФИЦ МГИ по теме FNNN-2024-0017.

МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ ЧЕРНОГО МОРЯ

Д. И. Пилик [1, 2] ✉, **И. П. Медведев** [1], **В. С. Архипкин** [2]

[1] *ИО РАН, Москва, Россия*
[2] *МГУ, Москва, Россия*
✉ *dariapilik12@mail.ru*

Ключевые слова: уровень моря, колебания уровня, Черное море.

В период глобальной перестройки климата планеты возникает необходимость постоянного мониторинга различных характеристик. Одним из наиболее показательных индикаторов

климатических изменений выступает уровень Мирового океана. По последним оценкам, средний уровень Мирового океана повышается со скоростью 0,36 см/год. Однако важно рассматривать не только колебания уровня всего океана, но и отдельных морей. Данная работа посвящена изучению многолетних колебаний уровня Черного моря.

Черное море представляет особый интерес, в связи с чем данной тематике посвящено достаточно много работ. Большая часть из них, в особенности работы последнего десятилетия, базируются на данных спутниковой альтиметрии. В данном исследовании, помимо данных спутниковой альтиметрии, значительное внимание уделено данным с уровнемерных постов, расположенных вдоль побережья, в чем и состоит новизна работы.

Для анализа и оценки многолетних изменений уровня Черного моря использовались среднемесячные ряды данных по уровню, взятые с портала ЕСИМО. Для получения однородных по времени оценок изменения уровня моря использовались синхронные ряды наблюдений с 1993 по 2013 г. на 14 станциях (Анапа, Белгород-Днестровский, Геленджик, Евпатория, Ильичевск, Новороссийск, Очаков, Приморское, Севастополь, Сочи, Туапсе, Феодосия, Черноморское, Ялта). С применением регрессионного анализа для каждой станции были оценены тренды изменения уровня с использованием данных мареографов и спутниковой альтиметрии. По данным мареографов, максимальный тренд составил 1,35 см/год и наблюдался на станции Черноморское, минимальный тренд – −0,25 см/год зафиксирован в Анапе. По данным альтиметрии, наибольшая скорость повышения уровня составила 1,1 см/год (Черноморское), наименьшая – 0,36 см/год. Отрицательные тренды не зафиксированы.

Был проведен корреляционный анализ между данными разных типов. Высокие коэффициенты корреляции между данными прибрежных станций и данными спутниковой альтиметрии наблюдались на станциях Белгород-Днестровский (0,89), Евпатория (0,88), Ильичевск (0,86). Относительно низкие коэффициенты были зафиксированы на станции Батуми (−0.29), Черноморское (0,43). Низкие или отрицательные значения коэффициентов связаны с вкладом вертикальных движений земной коры.

На основе разницы сигналов альтиметра (чистый вклад колебаний уровня моря) и мареографа (колебания уровня и вертикальные движения земной коры) была произведена оценка вертикальных движений земной коры. Для северо-западного побережья характерно поднятие суши с максимальным трендом 0,34 см/год (Ильичевск), для восточного, наоборот, опускание с трендом 0,66 см/год (Анапа).

Были оценены тренды многолетних колебаний уровня моря на станциях с вековыми рядами наблюдений – в Севастополе (1910–2021 гг.) и Туапсе (1917–2021 гг.). За рассматриваемый промежуток времени на станции Севастополь наблюдается незначительное повышение уровня со скоростью $0{,}150 \pm 0{,}001$ см/год. Но начиная с 2009 г. наблюдается понижение уровня со скоростью $0{,}70 \pm 0{,}02$ см/год. В Туапсе общий тренд составил $0{,}23 \pm 0{,}001$ см/год, но, как и в Севастополе, с начала 2000-х наблюдается отрицательный тренд $-1{,}190 \pm 0{,}021$ см/год.

КЛИМАТИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ПРОЛИВЕ ФРАМА

А. Е. Погребной

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *pogrebok57@mail.ru*

Ключевые слова: климатическая изменчивость, глобальное потепление, межсезонный контраст температур, Арктика, пролив Фрама.

Целью исследования был анализ пространственно-временных особенностей метеорологических полей в Гренландском и Норвежском морях между Гренландией, Исландией, Скандинавским полуостровом и о. Шпицберген (66°–82° с. ш., 20° з. д. –30° в. д.). Использовались глобальные массивы реанализа ERA5 за 1950–2022 гг. Декомпозиция временных рядов выполнялась с помо-

щью байесовского оценщика резких изменений сезонной и трендовой составляющей BEAST (10 000 вероятностных оценок в каждом узле пространственной сетки).

Оказалось, что количество резких изменений климатических тенденций температуры воздуха $\partial T_A/\partial t$ в центральных областях проливов выше, чем возле суши. Выявлены временные периоды и зоны интенсивного похолодания (до 12 °C/30 лет в 1962–1966 гг.) и потепления (до 7 °C/30 лет в 1975–1987 гг.). Начиная с середины 1990-х гг. локальные значения $\partial T_A/\partial t$ по времени почти не меняются и характеризуются потеплением со скоростью до 3 °C/30 лет в центральной части исследуемой области. За период 1950–2022 гг. локальные климатические значения температуры воздуха (−16…7 °C) выросли, что привело к смещению изолиний T_A к северу на 150–300 км. Межсезонный контраст температур δT_A меняется от 8 °C в центральных и южных частях данного района до 30 °C над ледовым щитом на севере. При этом потепление сопровождается уменьшением δT_A.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ДРЕЙФА АЙСБЕРГА D28 ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ SENTINEL-1A/B

А. Е. Погребной ✉, В. Н. Белокопытов

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *pogrebok57@mail.ru*

Ключевые слова: Антарктика, айсберг D28, спутниковая радиолокация, посадки айсберга на мель, Антарктическое склоновое течение.

Анализировался дрейф айсберга D28 от его образования в море Содружества в сентябре 2019 г. до момента достижения им западной части моря Уэдделла в марте 2023 г. Характеристики состояния и движения айсберга рассчитывались по данным спутниковых радиолокаторов. Для идентификации айсберга D28 применялся метод Maximally Stable Extremal Regions (MSER), кото-

рый используется для распознавания образов при обработке потока изображений в изменяющихся условиях. По данным спутников Sentinel 1A/B, за период с 2019-09-25 по 2023-03-23 (1275 сут) составлены временные ряды местоположений и ориентации айсберга, массы, площади, момента инерции, скорости и кинетической энергии поступательного и вращательного движений. Изменения характеристик движения D28 носили хорошо выраженный региональный характер. Выделены три различных участка дрейфа, которые достаточно хорошо согласуются с представленной в (Thompson A. F., Stewart A. L., Spence P., Heywood K. J. The Antarctic Slope Current in a changing climate // Reviews of Geophysics. 2018. Vol. 56, issue 4. P. 741–770. https://doi.org/10.1029/2018RG000624.) океанографической классификацией фронтальной и динамической структуры Антарктического склонового течения.

Также были определены временные моменты и географические координаты посадки айсберга D28 на мель, что позволяет произвести коррекцию батиметрической топографии Южного океана.

ХАРАКТЕРИСТИКА УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ШТОРМОВЫХ СИТУАЦИЙ В РАЙОНЕ МОРСКОЙ СТАНЦИИ МЫСОВОЕ

А. А. Полозок [1, 2] ✉, **И. Н. Фомина** [2]

[1] *МГИ, Севастополь, Россия*
[2] *ГОИН, Москва, Россия*
✉ *polozok.umi@gmail.com*

Ключевые слова: нагоны, сгоны, штормовые ситуации, уровень моря, измерения уровня моря, Мысовое.

Опасные штормовые ситуации в районе морской гидрометеорологической станции Мысовое (МГС) – явление не редкое (ежегодно случается минимум один опасный сгон или нагон). Для ис-

следования условий возникновения опасных штормовых ситуаций в районе МГС Мысовое проанализированы срочные (четыре измерения в сутки) данные уровня моря за период 1991–2013 гг.

Для выявления опасных сгонов и нагонов проводилось сравнение фактических значений уровня с установленными критическими отметками. За указанный интервал времени было выявлено 22 опасных нагона и 2 опасных сгона.

Анализ условий возникновения штормовых сгонов и нагонов позволил сделать определенные выводы. Штормовые нагоны возникают преимущественно при ветрах В, ВСВ, СВ направлений. Скорость ветра во время штормовых ситуаций от 7 до 25 м/с. Штормовые сгоны провоцируют ветры З, ЗСЗ направлений. Скорость ветра находится в пределах 11–15 м/с.

Штормовые нагоны фиксировались в январе (5 ситуаций), феврале (1), марте (2), апреле (1), мае (3), августе (2), октябре (1), ноябре (2), декабре (5). В июне, июле и сентября в 1991–2013 гг. опасных нагонов не было. Экстремальные сгоны происходили в феврале (1) и ноябре (1).

В 93 % случаев штормовым нагонам предшествуют ветры В, ВСВ, СВ направлений (В – 52 %, ВСВ –24 %, СВ – 17 %). Ветры СЗ, Ю, ЮЗ направлений наблюдались в 7 % случаев, при этом они обычно приходили на смену интенсивным В и ВСВ ветрам, действовали перед нагоном не более 3 ч и имели среднюю скорость ветра до 8 м/с.ьВ 50 % случаев перед штормовыми сгонами наблюдался ветер З направления. В 25 % случаев дул ветер ЮЮЗ или ЮЗ направления.

Проведенный анализ штормовых ситуаций позволит более эффективно планировать берегозащитные мероприятия и строительные работы. Сделанные выводы могут учитываться при настройке моделей для прогнозирования штормовых сгонов и нагонов в районе морской станции Мысовое.

МОНИТОРИНГ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ МОРЯ В АКВАТОРИИ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА В 2023 ГОДУ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ И КОНТАКТНЫХ ДАННЫХ

В. А. Рубакина ✉, Ю. В. Симонова, Ю. А. Марюшкин

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *valenru93@mail.ru*

Ключевые слова: температура поверхности моря, Черное море, Южный берег Крыма, термокоса, апвеллинг, спутниковые данные, береговые наблюдения, сканер SEVIRI.

В целях постоянного мониторинга термических процессов в прибрежной акватории Крыма в настоящей работе было продолжено исследование изменчивости температуры поверхности моря (ТПМ) в районе Южного берега Крыма (ЮБК), являющегося активной рекреационной зоной. Были впервые привлечены данные термокосы, установленной на океанографической платформе на базе ЧГПП МГИ в Кацивели. Это устройство информационно-регистрирующего комплекса (ИРК) «KrioLab» имеет 30 датчиков температуры, расположенных через 1 м. Дискретность измерений равна 10 мин. В 2023 г. была проведена квазинепрерывная регистрация термических процессов в прибрежной зоне ЮБК с конца июня по ноябрь. Результаты этих измерений достаточно хорошо согласуются с данными ежедневных береговых наблюдений за ТПМ на ЧГПП МГИ.

Результаты контактных наблюдений были сопоставлены с данными регулярного спутникового мониторинга сканера SEVIRI (спутника Meteosat) с временным разрешением 1 ч и пространственным разрешением 5 км за рассматриваемый период 2023 г. Также к анализу ситуаций привлечены спутниковые карты Морского портала МГИ (dvs.net).

По береговым измерениям в 2023 г. в летний период выделены два события полного апвеллинга в июле, которые также проявились по измерениям термокосы и сканера SEVIRI.

30.06.2023 ветер с западными составляющими (270–280°) и средней скоростью около 4,0 м/с вызвал апвеллинг продолжительностью около трех суток (01–03 июля 2023). Минимум, по данным береговых наблюдений, составил 13,1 °С, который пришелся на 08:00 01.07.2023. По данным термокосы, минимум ТПМ на верхнем горизонте (слой 1 м) равнялся 12,3 °С в 06:00 01.07.2023. В конце июля ветер юго-западного направления (230°) и средней скоростью 5,0 м/с привел к апвеллингу продолжительностью двое суток (28–29 июля 2023). Минимум, по данным береговых наблюдений, составил 14,4 °С в 17:00 28.07.2023 г. По измерениям термокосы, минимальное значение наблюдалось в 21.00 28.07.2023 и составило 11,5 °С в верхнем слое. Данный апвеллинг хорошо просматривается также по данным сканера SEVIRI.

С середины августа до начала октября 2023 г. (18.08.2023–05.10.2023) наблюдался существенный прогрев вод с превышением значений ТПМ в среднем на 1,9 °С в сравнении с многолетним средним значением (за климатический период). Максимум ТПМ был зафиксирован в 17:00 23.08.2023 и составил 27,3 °С. Карты ТПМ, построенные по спутниковым данным, также подтверждают наличие рассматриваемого прогрева.

По данным береговых наблюдений, в августе – сентябре 2023 г. ветры восточного направления составили около 51 % со средними скоростями около 3 м/с. Сгонные ветры (с западными составляющими) для этого периода практически отсутствуют – около 3 % от всех ветров. Такая ветровая обстановка способствовала длительному устойчивому нагону прогретых водных масс к прибрежной зоне. По данным береговых наблюдений, среднемесячная ТПМ в августе составила 26,1 °С, что на 1,1 °С выше среднемноголетнего за август (за климатический период), а в сентябре – 23,9 °С, что на 2,2 °С выше среднемноголетнего. Эти данные также достаточно хорошо совпадают со спутниковыми измерениями SEVIRI.

Работа выполнена в рамках государственных заданий ФГБУН ФИЦ МГИ по темам: № FNNN-2024-0016 и FNNN-2024-0012.

СУТОЧНЫЙ ХОД ТЕМПЕРАТУРЫ В ЗОНЕ РЕЧНОГО ПЛЮМА И ЕГО ОСОБЕННОСТИ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

В. А. Рубакина ✉, С. В. Станичный, А. А. Кубряков

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *valenru93@mail.ru*

Ключевые слова: температура поверхностного слоя, Черное море, речной плюм, SEVIRI, яркость восходящего излучения, MODIS-Aqua, дневной прогрев.

Настоящая работа посвящена исследованию суточного хода температуры поверхностного слоя вод Черного моря в зоне стока реки (в плюме) Дуная. Для этого рассматривался временной ход температуры поверхностного слоя моря (ТПМ) в двух точках – в зоне плюма и вне его. Выбраны следующие точки: точка 1 в плюме (44,7° с. ш., 29,87° в. д) и точка 2 вне плюма (44,7° с. ш., 31,38° в. д). Рассмотрен временной ход ТПМ в них для одного и того же интервала времени. При выборе точек для исследования использовались карты распределения восходящего из воды излучения. Для анализа выбраны 2011 и 2016 гг. В работе использовались данные сканера SEVIRI о ТПМ, а также данные MODIS-Aqua о яркости восходящего излучения для района Черного моря.

Были получены следующие результаты. В холодный период года и в период интенсивного остывания ТПМ в точке 1 существенно ниже, чем в точке 2. В период интенсивного прогрева и в теплый период года ТПМ в зоне плюма в среднем выше, чем в близлежащих точках вне его. Отмечено, что для отдельных событий дневного прогрева скорость изменения ТПМ за сутки выше в точке в плюме, чем в точке вне его – в течение одних суток максимальное значение ТПМ достигается раньше, а затем падение ТПМ до минимальных значений также наступает раньше, чем для точки вне плюма. Выделено достаточно много таких случаев. Подробно рассмотрены наиболее яркие примеры этих событий прогрева за 6 и 8 июня, 8, 10 и 11 июля, 6, 9, 16, 19 и 20 августа 2011 г., а также 9, 15, 16 августа 2016 г.

Такую особенность суточного хода температуры в районе речного стока можно определить следующим образом. Изменчивость температуры в ходе суточного цикла определяется перераспределением потока солнечного излучения и глубиной прогрева. На температуру также влияет поглощение света водной средой и перераспределение энергии за счет турбулентного перемешивания. Наличие стратификации может существенно ограничить толщину слоя вод, в котором происходит перемешивание и перераспределение тепла. Речные плюмы характеризуются значительным перепадом плотности в поверхностном слое и интенсивным поглощением тепла. Соответственно, когда скорость ветра и потоки тепла приблизительно одинаковы, именно в зонах речного стока имеет место максимальная – в сравнении с другими районами моря – суточная изменчивость температуры.

В работе также рассмотрены отдельные события прогрева в зоне речного стока, для которых наблюдаются повышенные значения коэффициента яркости. Получена хорошо выраженная зависимость значений ТПМ и амплитуды суточного хода от коэффициента яркости восходящего излучения, характеризующего мутность вод.

Следует отметить, когда толщина плюма меньше толщины пикноклина, наблюдается опережение в прогреве и повышенные значения ТПМ. В условиях, когда толщина плюма совпадает с толщиной пикноклина, значения ТПМ примерно одинаковы для сравниваемых районов, опережения в прогреве не наблюдается.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ по теме: FNNN-2024-0012.

ПРОЯВЛЕНИЯ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНАХ АВАЧИНСКОГО ЗАЛИВА ПО ДАННЫМ РАЗЛИЧНЫХ СЕНСОРОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Е. И. Свергун ✉, В. А. Глухов, О. В. Глитко

ИО РАН, Москва, Россия
✉ *Egor-svergun@yandex.ru*

Ключевые слова: короткопериодные внутренние волны, Sentinel-2, лидарное зондирование, фазовая скорость, внутренние приливные волны, Авачинский залив, Бечевинская бухта.

Авачинский залив Тихого океана является районом частой регистрации короткопериодных внутренних волн (КВВ), что связано с наличием крутого материкового склона, узкого шельфа и влиянием приливов. КВВ регистрировались в Авачинском заливе дистанционными и контактными методами, а в некоторых случаях – при синхронном применении этих методов. Установлено, что КВВ с амплитудами около 4 м находят свое отражение на морской поверхности в виде ярко выраженных проявлений с длиной волны около 400 м. Однако судовые наблюдения весьма ограничены по пространству и погодным условиям. При изучении процессов распространения КВВ необходимо получать наиболее полный набор характеристик, таких как амплитуда, длина волны, фазовая скорость и направление распространения. Интерес представляет комплексирование данных – квазисинхронная спутниковая и аэрофотосъемка позволяет оценить скорости и направления распространения КВВ. Недостатком данных дистанционного зондирования является отсутствие информации о вертикальной структуре и амплитудах КВВ. Лидарное зондирование позволяет оценивать изменчивость вертикальной структуры приповерхностного слоя, что дает возможность получить наиболее полную информацию о характеристиках КВВ.

Работа основана на данных натурных измерений в прибрежных районах Авачинского залива, выполненных в сентябре 2018 г. с борта самолета-лаборатории. 12 сентября 2018 г. были

получены последовательные фотоснимки с использованием камеры Xiaomi Yi с разрешением 16 Мп, а также записи вдоль галсов радиометрического лидара АПЛ-3 с частотой зондирования 30 Гц и энергией зондирующего излучения 40 мДж. Дополнительно использовался спутниковый снимок Sentinel-2 от 12 сентября 2018 г. в 00:26 UTC с разрешением 10 м в каналах видимого диапазона. Для анализа связи проявлений КВВ с очагами генерации внутреннего прилива рассчитывалась массовая приливная сила плавучести по данным приливного атласа TPXO9, реанализа GLORYS и батиметрии ETOPO.

Анализ снимка Sentinel-2 позволил выявить в прибрежной зоне Авачинского залива 15 проявлений КВВ с длиной волны от 40 до 130 м и длиной лидирующего гребня от 1 до 8 км. Большинство проявлений распространялись вдоль берега на северо-запад. По данным аэрофотосъемки в районе входа в Бечевинскую бухту было зарегистрировано проявление КВВ над глубиной около 12 м, направленное в бухту. Длина волны составила 50 м, а длина лидирующего гребня – около 1 км. На изображении Sentinel-2 было зарегистрировано сходное по форме проявление с аналогичными характеристиками. Временной лаг между изображениями с фотокамеры и спутника позволил оценить скорость распространения КВВ, которая составила 0,24 м/с. Обработка данных лидарного зондирования позволила выявить квазипериодическую изменчивость формы спада эхо-сигнала на глубинах от 5 до 8 м с расстоянием между пиками около 50 м. Вероятным механизмом образования данной волны может служить распад внутренних приливных волн на бровке шельфа с последующим распространением в область малых глубин. Это косвенно подтверждается наличием поблизости очага генерации внутреннего прилива, выявленного по результатам расчета массовой приливной силы плавучести.

Работа была выполнена в рамках государственного задания ИО РАН по теме № FMWE-2024–0028.

КОРОТКОПЕРИОДНЫЕ ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ ТИХООКЕАНСКОЙ АКВАТОРИИ КАМЧАТКИ И СЕВЕРНЫХ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ ПО ДАННЫМ МНОГОЛЕТНИХ СПУТНИКОВЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ 2015–2021 ГОДОВ

Е. И. Свергун [1] ✉, **А. Д. Маховиков** [1, 2], **А. В. Зимин** [1, 2]

[1] *ИО РАН, Москва, Россия*
[2] *СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия*
✉ *Egor-svergun@yandex.ru*

Ключевые слова: короткопериодные внутренние волны, радиолокационные изображения, очаги генерации внутренних приливных волн, Тихий океан, шельф.

Тихоокеанская акватория близ полуострова Камчатка и северных Курильских островов является районом диссипации энергии внутреннего прилива. Индикатором процессов трансформации и распада внутренних приливных волн (ВПВ) являются короткопериодные внутренние волны (КВВ), которые широко распространены в исследуемом районе. Прошлые исследования показали, что проявления КВВ здесь регистрируются во все сезоны года, а районы их частой встречаемости представляются стабильными. Однако для подтверждения этого требуется обобщение данных на многолетнем временном интервале. Кроме того, материковый склон полуострова Камчатка и северных Курильских островов является районом нереста восточнокамчатской популяции минтая. При этом численность данного вида на ранних стадиях развития значительно меняется от года к году, вероятно под действием абиотических факторов среды. Одним из таких факторов может выступать изменчивость интенсивности внутреннего волнения. Таким образом, представляет интерес изучение межгодовой изменчивости характеристик проявлений КВВ на данной акватории.

Для анализа характеристик проявлений КВВ были использованы радиолокационные изображения Sentinel-1A/B в режиме съемки IW с разрешением 20 м. С января 2015 по декабрь 2021 г. было доступно 2529 изображений. Проявления КВВ на них регистрировались в виде чередующихся дугообразных полос усиления и ослабления сигнала. Регистрировались географические координаты проявлений, количество волн в пакете, длина волны, длина лидирующего гребня в пакете и направление распространения. Для анализа причин изменчивости количества проявлений КВВ привлекались данные о приводном ветре реанализа ERA5, с использованием температуры и солености реанализа GLORYS, скорости приливных течений атласа PTXO9 и батиметрии ETOPO рассчитывалась массовая приливная сила плавучести.

С января 2015 по декабрь 2021 г. было зарегистрировано 2966 проявлений КВВ. Из них в зимний период 64 (2 %), в весенний – 142 (6 %), в летний – 1583 (53 %), в осенний – 1157 (39 %). Максимальное число проявлений (от 80 до 180) регистрировалось в июле в 2020 г., в августе – в 2016 – 2019 гг., в сентябре – в 2015 и 2021 гг. Минимальное количество проявлений отмечалось в зимние и весенние месяцы. Увеличение количества проявлений КВВ в летние и осенние месяцы сопровождается снижением скорости приводного ветра, обострением пикноклина и увеличением интенсивности генерации и распада внутреннего прилива по результатам расчета массовой приливной силы плавучести. Подобная связь характерна для всего исследуемого периода. То есть на основе многолетних спутниковых данных были подтверждены закономерности изменчивости и механизмы генерации КВВ в данном регионе. Кроме того, была сформирована база характеристик проявлений КВВ для сопоставления с данными об урожайности поколений восточнокамчатского минтая.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-17-00174.

КРАСНЫЕ ПРИЛИВЫ В ТАГАНРОГСКОМ ЗАЛИВЕ АЗОВСКОГО МОРЯ

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

МГИ, Севастополь, Россия ✉
sstanichny@mail.ru

Ключевые слова: Азовское море, красные приливы, дистанционное зондирование.

Бурное развитие фикоэритрин- (ФЭ) содержащих водорослей обычно называют «красным приливом» из-за особенностей спектра поглощения ФЭ и наличия полос поглощения в зеленой и красной областях спектра. Воды с большим содержанием такого пигмента водорослей, как правило, выглядят бурыми или красными. Ряд водорослей может выделять токсины и оказывать негативное влияние на экосистему. Использование данных дистанционного зондирования позволяет определять зоны развития (цветения) таких водорослей по спектральным особенностям восходящего излучения. В настоящей работе на основе данных сканеров MSI и OLCI проведено исследование проявления ФЭ-содержащих водорослей в Таганрогском заливе Азовского моря за 2017–2024 гг. Для выделения зон цветения использовались каналы в зеленой, красной области спектра и канал вне зоны поглощения пигментов (11 и 5 соответственно для OLCI и MSI). Отметим, что данные OLCI имеют лучшее временное разрешение (информацию можно получать практически ежедневно), а данные MSI имеют более высокое пространственное разрешение, что позволяет более точно изучать распределение в зонах конвергенции. Дополнительно использовались данные о температуре сканера TIRS.

Показано, что красные приливы наблюдаются ежегодно с середины июня по середину августа при температуре вод от 24 °C. Акваторией первого проявления прилива, как правило, является северо-восточная часть Таганрогского залива вне собственно Донского плюма. Далее цветение наблюдается по всей акватории залива с максимальными значениями в конвергентных зонах при

слабых ветрах. Водоросли сосредоточены в поверхностном слое и имеют положительную плавучесть. Области цветения имеют более высокую температуру за счет поглощения солнечного излучения.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ 23-27-00421 «Развитие методов спутникового мониторинга аномальных процессов в морских экосистемах на основе многоспектрального подхода». Данные получены в рамках государственного задания FNNN-2024-0012.

ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ: МЕХАНИЗМЫ ПРОЯВЛЕНИЯ В ДАННЫХ ДЗЗ, ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ДИНАМИЧЕСКИМИ СТРУКТУРАМИ

С. В. Станичный ✉, А. В. Медведева, А. А. Кубряков, Р. Р. Станичная, Т. В. Михайличенко

МГИ, Севастополь, Россия ✉
sstanichny@mail.ru

Ключевые слова: внутренние волны, многоспектральные подходы, дистанционное зондирование.

Внутренние волны (ВВ) в стратифицированном океане довольно часто встречающееся явление.

Спутниковые данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) позволяют наблюдать проявления ВВ по изменению характеристик поверхностного слоя за счет формирования конвергентно-дивергентных зон при прохождении пакета ВВ.

Рассмотрены механизмы, определяющие проявление внутренних волн в данных сенсоров оптического диапазона. Кроме типичных механизмов – «динамического» и «сликового», – характерных для радарных данных, в оптическом диапазоне выделен механизм, связанный с модуляцией толщины рассеивающего слоя при прохождении пакета ВВ. Последний наиболее часто проявляется в зонах плюма и районах цветения рассеивающих водорослей, таких как кокколитофориды. Предложены методы

разделения отраженной и рассеянной компонент восходящего излучения. Рассмотрены примеры регистрации ВВ для различных акваторий, в том числе за счет модуляции плавающих субстанций (естественные и искусственные пленки, ледяной покров, плавающие водоросли). Выделены также проявления за счет модуляции ВВ доли поверхности, покрытой пеной. Последовательные снимки одного пакета позволяют оценить скорость распространения ВВ. Скорости распространения также могут быть оценены по одному снимку для периодически генерируемых волн приливами при знании положения источника генерации волн и характеристик прилива. Распространяющаяся ВВ взаимодействует с динамическими структурами. По трансформации фронта ВВ возможно оценить собственные скорости или перепады скорости в вихревых структурах, фронтальных зонах. Показаны случаи трансформации ВВ на границе плюма. Отмечается существование периодических источников генерации ВВ в «бесприливном» Черном море.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ 23-27-00421 «Развитие методов спутникового мониторинга аномальных процессов в морских экосистемах на основе многоспектрального подхода». Данные получены в рамках государственного задания FNNN-2024-0012.

ВЕРТИКАЛЬНОЕ ПЕРЕМЕШИВАНИЕ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ В ПЕРИОД АПРЕЛЬ – ОКТЯБРЬ 2015 ГОДА

Д. В. Степанов [1] ✉, **А. Г. Островский** [2]

[1] *ТОИ ДВО РАН, Владивосток, Россия*
[2] *ИО РАН, Москва, Россия*
✉ *step-nov@poi.dvo.ru*

Ключевые слова: тонкоструктурные профили, Японское море, вертикальное перемешивание, тонкоструктурная параметризация, мезомасштабные вихри, тропические циклоны.

На основе тонкоструктурных профилей температуры, солености и скорости течений, полученных с заякоренной

станции, изучены особенности вертикального перемешивания, а также вертикального обмена массой, теплом и растворенным кислородом в северо-западной части Японского моря за период с апреля по октябрь 2015 г.

В предположении о ведущей роли слабого нелинейного взаимодействия внутренних квазиинерционных волн и подхода тонкоструктурной параметризации получены количественные оценки интенсивности диссипации кинетической энергии турбулентности и эффективного обмена теплом, солью и массой. Показано влияние мезомасштабных вихрей и распространения двух тропических циклонов на интенсификацию вертикального обмена. Вклад процессов двойной диффузии в вертикальное перемешивание обсуждается.

ИЗМЕРЕНИЕ КАПИЛЛЯРНЫХ ВОЛН НА ОКЕАНОГРАФИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЕ

В. В. Стерлядкин ✉, О. А. Рубан, Г. М. Алиев

МИРЭА, Москва, Россия
✉ *sterlyadkin@mail.ru*

Ключевые слова: лазерный волнограф, капиллярные волны, натурные измерения капиллярных волн, спектры волнения.

Описан прогресс при измерениях параметров морского волнения в части гравитационно капиллярных и капиллярных волн. Измерения основаны на использовании лазерного волнографа, разработанного в РТУ МИРЭА, который проводит сканирование поверхности по заданной траектории и регистрирует профили волнения на видеокамеру. Важным результатом является появление возможности проведения оптических измерений в дневных условиях при яркой фоновой засветке морской поверхности, поскольку именно днем происходят наиболее значительные изменения скорости ветра и структуры волнения. Дополнительный прогресс связан с повышением частоты работы видеокамеры

и обновления профилей. Это позволяет при спектральных измерениях продвинуться в высокочастотную область до 30…45 Гц, что соответствует чисто капиллярной фракции.

В докладе приводятся результаты измерений, проведенных в июне 2024 г. при различных скоростях ветра. Поскольку сканирование лазерного луча проводилось вдоль сторон прямоугольного треугольника, то представилась возможность трехточечного расчета двумерных уклонов на различных масштабах. Представлены зависимости четырех моментов двумерных уклонов от масштабов, на которых уклоны измерялись, от скорости ветра, возраста волнения.

Обсуждаются трудности и ограничения используемого метода, возможности его дальнейшего развития.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 23-17-00189.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕРМОХАЛИННОЙ СТРУКТУРЫ И ДИНАМИКИ ВОД В ПРОЛИВЕ БЬЕРКЕЗУНД И ВЫБОРГСКОМ ЗАЛИВЕ

Ю. А. Татаренко ✉, Г. Д. Глушаков, А. А. Мороз, Е. М. Паутова, А. С. Аверкиев, О. И. Шевчук

РГГМУ, Санкт-Петербург, Россия
✉ *y.tatarenko@rshu.ru*

Ключевые слова: Балтийское море, Финский залив, гидрологические измерения, термохалинная структура вод.

В районе пролива Бьеркезунд, в котором расположены охраняемые острова, осуществляется деятельность нефтеналивного порта, а также активно осваивается марикультурное хозяйство, что оказывает влияние на прибрежные территории, биологические ресурсы и структуру вод пролива Бьеркезунд в северо-восточной части Финского залива. По этой причине для устойчивого использования природных ресурсов данного района необходимо осуществлять постоянный мониторинг ряда гидрологических и гидрохимических характеристик вод.

Представлены результаты исследования внутрисезонной изменчивости термохалинной структуры вод в июне 2024 г. по материалам, полученным во время прохождения стажировки Плавучего университета на базе РГГМУ. В ходе прибрежной экспедиции были выполнены разрезы, согласно маршруту, реализуемому с 1999 г., также впервые произведены измерения в Выборгском заливе.

Гидрологические работы были выполнены при помощи CTD-системы SBE 19plus V2 SeaCAT Profiler CTD с флюориметром Wet Labs ECO-AFL/FL. В период с 20.06.2024 по 25.06.2024 было выполнено 34 станции, 14 из которых в Выборгском заливе совместно с сотрудниками Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Санкт-Петербургский филиал (СПбФ ИО РАН), и их приборами, одним из которых был гидрологический зонд SBE 25plus Sealogger CTD с датчиком прозрачности Wet Labs Transmissiometer C-Star. Метеорологические наблюдения проведены с помощью цифровой беспроводной метеостанции TFA 35.1050 master touch в стандартные сроки с фиксацией стандартных метеорологических параметров. Гидрохимические исследования включали определение содержания фосфатов, концентрации растворенного кислорода, содержания нитритов, нитратов. Гидрохимический анализ характеристик проведен традиционными методами – фотометрическим методом Морфи – Райли, объемный анализ по методу Винклера. Графическая визуализация данных выполнялась в программном пакете Ocean Data View (ODV) [https://odv.awi.de/].

Исследования в июне 2024 г. подтвердили, что главной особенностью бассейна является трехслойная термохалинная структура. На основе полученных и уже имеющихся результатов экологического мониторинга, осуществляемого РГГМУ в летний период с 1999 г., была создана база данных.

На основе анализа гидрометеорологических и гидрофизических данных 2024 г. можно предположить о присутствии двух водных масс, одной в Выборгском заливе, второй в проливе Бьеркезунд.

В июне 2024 г. максимальная температура на поверхности достигала 19,2 °С, максимальная соленость в придонном слое составила 6 ЕПС, что выше показаний за 2018–2023 гг.

Эти данные легли в основу воспроизведения характерных особенностей динамики вод и термохалинной структуры пролива Бьеркезунд с помощью численного моделирования (программный комплекс CARDINAL, автор К. А. Клеванный). Сформированная база данных натурных наблюдений за период мониторинга и результаты численного моделирования позволили оценить термохалинную структуру и динамику вод пролива не только на качественном, но на количественном уровне.

ТЕРМОХАЛИННАЯ СТРУКТУРА ВОД СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ В МАРТЕ 2024 ГОДА ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ НА НИС «ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ»

А. В. Федирко ✉, Ю. В. Артамонов, Е. А. Скрипалева

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *vault102@gmail.com*

Ключевые слова: Черное море, гидрологические измерения, термохалинная структура вод, верхний квазиоднородный слой, холодный промежуточный слой.

Представлены результаты анализа термохалинной структуры вод у берегов Крыма в марте 2024 г. по данным гидрологических измерений, выполненных в ходе 130-го рейса НИС «Профессор Водяницкий». Измерения проводились дважды по одному и тому же маршруту с продвижением судна с запада на восток, при этом повторная съемка была выполнена только до долготы м. Меганом. Первая съемка выполнялась с 7 по 21 марта, вторая – с 22 по 29 марта. Измерения проводились зондирующим CTD-комплексом IDRONAUT OCEAN SEVEN 320 PlusM. Использовались также значения скорости ветра на каждой станции, полученные с помощью судовой метеостанции AIRMAR-220WX, которые относились к началу срока выполнения гидрологических зондирований.

Распределения температуры (ТПМ) и солености (СПМ) на поверхности моря показали, что по данным первой съемки значения ТПМ изменялись в пределах от 9,2 до 11,3 °С. Максимальные значения наблюдались в западной части полигона и на мористых станциях на траверзе м. Меганом, минимальные – на прибрежных станциях в центральной части полигона и в Феодосийском заливе. Воды повышенной температуры характеризовались повышенной соленостью (18,60–18,75 ‰), воды минимальной температуры – минимальной соленостью (17,75–18,05 ‰). Величина коэффициента корреляции R с 95%-ным уровнем достоверности между рядами значений ТПМ и СПМ на всех станциях составила 0,91. В период второй съемки тенденция сохранялась, при этом значение R уменьшилось до 0,63. На полигоне в целом отмечалось слабое повышение ТПМ до 10,2–11,6 °С, а минимальные значения солености повысились до 18,37–18,43 ‰. Выявленная закономерность в распределениях ТПМ и СПМ прослеживалась в пределах верхнего квазиоднородного слоя (ВКС), глубина залегания нижней границы которого в полях температуры и солености совпадала и составляла 3–30 м.

В пределах ВКС в период первой съемки в распределении температуры в зависимости от номера станции выявлен значимый отрицательный тренд, характеризующий тенденцию к понижению температуры на полигоне в восточном направлении. Подобная тенденция была выявлена по экспедиционным данным и в конце марта 2023 г. По спутниковым данным Copernicus климатические значения ТПМ на восточном шельфе полигона в период проведения экспедиционных измерений (март) понижаются почти на 1 °С по сравнению с остальной частью акватории. Отметим, что в период первой съемки значимой связи между изменением скорости локального приводного ветра и температурой воды на станциях не выявлено. Во время второй съемки заметное повышение температуры юго-западнее м. Меганом наблюдалось в период заметного понижения скорости ветра.

На всей акватории хорошо прослеживался холодный промежуточный слой (ХПС). Максимальное заглубление ядра ХПС (до 130–150 м), по данным обеих съемок, наблюдалось на мористой станции Ялтинского разреза и западнее м. Меганом, минималь-

ная глубина (90–100 м) – в западной части съемки. Максимальные значения температуры в ядре ХПС (8,83–8,85 °С) в период обеих съемок наблюдались на станциях в восточной части полигона, минимальные (8,76–8,79 °С) – в западной части полигона у Южного берега Крыма.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ по теме FNNN-2024-0014 «Взаимодействие океана и атмосферы». Данные получены в ЦКП «НИС Профессор Водяницкий» ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН».

ИЗМЕНЕНИЕ ЗАСУШЛИВОСТИ КЛИМАТА ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

Н. В. Хамицевич ✉, С. А. Майборода, С. И. Казаков, В. В. Метик-Диюнова, А. С. Богуславский

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *nadin.khamitsevich@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: коэффициент увлажнения, индекс сухости, осадки, температура воздуха, Южный берег Крыма, солнечная активность.

Рассмотрено изменение характеристик засушливости климата Южного берега Крыма по данным наблюдений температуры и осадков метеопоста МГИ в пос. Кацивели.

Среднее многолетнее количество осадков в Кацивели с 1984 по 2023 г. составляет 510 мм при средней интенсивности 6,2 мм. Годовой минимум 280,2 мм зарегистрирован в 1993 г., максимум 817,6 мм – в 1997 г. Среднегодовое количество дней с атмосферными осадками составило 83 при максимальном 110 в 1995 г. и минимальном 49 в 1984 г. В период 1984–1997 г. отмечается небольшой рост количества осадков, в дальнейшем изменчивость характеризуется отрицательным трендом. Во все месяцы, кроме января, июня, июля наблюдается снижение атмосферных осадков. Наиболее засушливые годы наблюдались в Кацивели в 1984,

1991, 1993, 1994, 2000, 2008, 2012, 2019, 2020 гг. при наблюдаемой тенденции к росту среднегодовой температуры.

Среднее многолетнее значение коэффициента увлажнения в Кацивели за исследуемый период составляет 0,6. В соответствии с классификацией Н. Н. Иванова, это соответствует сухой степи с колебаниями от 1,08 в 1997 г. (лесостепь) до 0,33 в 2020 г. (полупустыни). Среднее многолетнее значение индекса аридности Стенца в Кацивели составил 1,8 (недостаточно влажный) с максимумом 3,0 (сухой) 2020 г. и минимумом 0,9 (влажный) 1997 г.

Для определения условий атмосферных засух использовался индекс сухости Д. А. Педя. Среднее многолетнее значение индекса сухости в Кацивели составляет −0,003 (нормальное увлажнение). Максимальное значение 4,02 (сильная засуха) отмечено в марте 2020 г., а минимальное −5,96 (сильное переувлажнение) – в августе 1997 г. Наблюдается рост индекса сухости при увеличении годовой испаряемости и снижении коэффициента увлажнения. Также зафиксирован рост индекса аридности Стенца.

Важным показателем засушливости климата является количество дней в году с максимальной температурой воздуха, большей или равной 30 ºС, и относительной влажностью воздуха, меньшей или равной 30 %. Были рассмотрены два климатических периода. В период 1964–1993 гг. отмечено всего 32 дня, а в период 1994–2023 гг. – уже 625 дней с такими значениями температуры. В межгодовом масштабе времени снижению атмосферных осадков, увеличению температуры воздуха T_a и росту количества дней с $T_a \geq 30$ °С соответствует снижение солнечной активности.

Работа выполнена в рамках научной темы № FNNN-2024-0016 государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ 2024 г.

ОБЩЕЕ ВЗВЕШЕННОЕ И РАСТВОРЕННОЕ ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО В ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ ЧЕРНОГО И АЗОВСКОГО МОРЕЙ: ВОПРОСЫ КАЛИБРОВКИ И ДОСТОВЕРНОСТИ ДАННЫХ

А. А. Чепыженко

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *annachep87@yandex.ru*

Ключевые слова: общее взвешенное вещество, растворенное органическое вещество, прибрежная зона моря, Черное море, Азовское море.

Мониторинг биофизических процессов в прибрежной зоне моря, обусловленных природными и антропогенными факторами в условиях высокой динамической активности прибрежных вод, представляет собой важную задачу, требующую изучения. Наиболее информативная оценка состояния водной среды может быть получена на основе содержания в ней суммарного взвешенного вещества (минерального и органического происхождения) и растворенного органического вещества. Методы, положенные в основу разработки измерительных приборов для определения их концентраций, основаны на проявлениях изменчивости этих веществ в спектральных и флюоресцентных полях оптических характеристик.

Измерение прозрачности водной среды является одним из эффективных методов оценки взвешенного в воде вещества, учитывающих суммарный вклад поглощающих и рассеивающих свойств общего взвешенного вещества. Корреляционная связь между оптическими единицами спектрального ослабления света ($м^{-1}$) и общепринятыми единицами мутности (ЕМФ) и весовыми ($мг/дм^3$) единицами, позволяет обеспечить высокую чувствительность в области природных концентраций общего взвешенного вещества (до 20 $мг/дм^3$), что актуально для устьевых зон моря. Растворенное органическое вещество в природных водных средах влияет на распределение органических и неорганических веществ в океане, участвует в процессах перехода растворенных

компонентов во взвесь, формируя условия для коагуляции и седиментации. Инструментальные методы измерения концентрации РОВ в природных водах основаны на оптических методах – спектрофотометрическом (в единицах наклона спектральной характеристики поглощения – spectral slope (S, nm^{-1})) и флюориметрическом (fDOM (ex370/em460)). Корреляционная связь между стандартом калибровки fDOM – сульфатом хинина и весовыми значениями DOC (метод высокотемпературного каталитического сжигания углерода) устойчива, коэффициент корреляции 0,87–0,97. Определение соотношений между данными спектрофотометрического и флюоресцентного каналов определения РОВ зонда «Кондор» дает возможность определения сезонной деградации РОВ в спектрофотометрических полях, применяющихся при оценке РОВ дистанционными методами.

Измерители концентрации общего взвешенного и растворенного органического вещества, применяемые при экспедиционных исследованиях МГИ в составе комплексов «Кондор» и его модификации гидробиофизического зонда ГБА при мониторинге прибрежной части Черного и Азовского морей, показали свою информативность. Результаты сличения данных, полученных данными измерительными каналами, откалиброванными по стандартным образцовым растворам (формазин и сульфат хинина), показали хорошую сходимость с данными аналогичных измерителей западных компаний, что говорит о достоверности полученных данных. Достоверность данных измерителя мутности зонда «Кондор» подтверждена калибровкой по стандартным растворам суспензии формазина, сличением данных с результатами совместных калибровок с датчиками мутности комплексов Midas компании Valeport, C6P компании Turner Designs, CTD зонда – IDRONAUT OS 320 plus компании IDRONAUT S.r.l, RBR maestro компании RBR, компаний Seapoint, Turner Designs и совместных зондирований в прибрежных водах Черного и Белого морей. Достоверность данных флюоресцентного измерительного канала растворенного органического вещества подтверждается реализованной калибровкой по раствору сульфата хинина ($R^2 = 0.97$) в диапазоне до 600 ppb QSE и сличением с данными сенсора Cyclops fDOM комплекса C6P Turner Designs.

ГЕНЕРАЦИЯ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ЛОКАЛЬНЫМИ ВИХРЕВЫМИ СТРУКТУРАМИ

А. М. Чухарев ✉, О. И. Павленко, А. Г. Зубов, М. И. Павлов, В. А. Коржуев

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *alexchukh@mail.ru*

Ключевые слова: приповерхностный слой, морская турбулентность, натурные измерения, структурные функции, скорость диссипации.

Расчет интенсивности турбулентного обмена в верхнем пограничном слое моря до настоящего времени является не до конца решенной проблемой из-за большого количества факторов и сложных взаимосвязей между различными процессами. Современные модели имеют наибольшее расхождение с наблюдениями при слабых ветрах и в штормовую погоду. Возможной причиной расхождения расчетов и экспериментов является неполный учет механизмов генерации турбулентности.

В качестве дополнительного источника турбулентности предлагается учесть субмезомасштабные вихревые структуры, в которых турбулентность генерируется за счет локальных неустойчивостей горизонтальных течений.

Анализируются данные натурных наблюдений в приповерхностном слое моря, проводившихся в прибрежной зоне Черного моря на стационарной океанографической платформе. По синхронным измерениям скорости течения на одном горизонте в разных точках рассчитываются структурные функции, спектральный и вейвлет-анализ которых позволяет определить временные и пространственные масштабы вихревых структур. Наклон Фурье-спектров пульсаций скорости в области масштабов таких структур отличается от колмогоровского и соответствует степени –8/3.

Определенные таким образом квазипериодические колебания интенсивности турбулентности учитываются в нестационарной модели турбулентного обмена для приповерхностного слоя моря.

Особенно наглядно роль таких структур, как механизмы генерации турбулентности, проявляется при небольших скоростях ветра и слабо развитом волнении. Сравнение расчетов по усовершенствованной модели с натурными измерениями скорости диссипации турбулентной энергии показывает лучшее соответствие модельных и экспериментальных данных.

НОВЫЙ МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ЯРКОСТИ МОРЯ НА ОСНОВАНИИ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ПЕРВОГО УРОВНЯ ОБРАБОТКИ

Е. Б. Шибанов ✉, А. С. Папкова

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *e-shybanov@mail.ru*

Ключевые слова: аэрозоль, атмосферная коррекция, коэффициент яркости моря, оптика моря, индекс цвета, интерполяция.

В настоящее время стандартные алгоритмы атмосферной коррекции используют ближнюю ИК область спектра с привлечением расчетов переноса излучения в атмосфере для разных типов аэрозоля.

Недостаток стандартного подхода, основанного на использовании исключительно ИК области, проявляется в наличии «точек бифуркации» для выбора комбинации оптических моделей аэрозоля, зачастую происходит «переключение» используемых моделей аэрозоля. В связи с ограниченной точностью определения сигнала атмосферы в синих «каналах» исключительно по ИК области достоверность вычисления яркости моря в коротковолновой части спектра весьма низкая, наблюдаются отрицательные величины, особенно в присутствии поглощающего аэрозоля.

Ранее был предложен способ дополнительной коррекции спутниковых данных второго уровня, основанный: 1) на слабой изменчивости «синего» индекса цвета для вод Черного моря;

2) уменьшении влияния погрешности априорных предположений о море с увеличением длины волны.

Возникла необходимость провести альтернативную обработку спутниковых данных, минуя стандартный алгоритм, избегая универсальности и используя региональные особенности «цвета» моря. Концептуально реализуется одновременно две процедуры интерполяции и экстраполяции: экстраполяции – по двум каналам, интерполяции на основе постоянства соотношения индекса цвета. Наш подход заключается в определении трех параметров, а не двух, он имеет смысл вследствие повышения точности измерений.

Формула коррекции:

$$\rho(\lambda) = \rho_R(\lambda) + A \cdot \lambda^{-4} + B \cdot \lambda^{-2} + C .$$

Коэффициент яркости молекулярной составляющей рассчитывался по аналитическому выражению

$$\rho_R(\lambda) = p_R(\gamma) \frac{(1 - \exp[\tau_R / \mu_0]) \cdot (1 - \exp[\tau_R / \mu_0])}{2 - 4 \cdot E_3(\tau_R)} ,$$

где τ_R, $p_R(\gamma)$ – релеевская оптическая толщина и индикатриса как функция угла рассеяния γ; μ, μ_0 – косинусы зенитных углов; E_3 – интегрально-показательная функция третьего порядка.

Два параметра *B*, *C* предназначены для оценки вклада аэрозольного рассеяния. В формуле они описывают также тенденцию изменения показателя Ангстрема по спектру. Параметр *A* служит для учета изменения коэффициента яркости молекулярной составляющей вследствие присутствия поглощающих частиц. Также этот параметр устраняет погрешности калибровки по абсолютной величине (не по спектру), компенсирует некоторую неточность аналитических выражений переноса излучения в молекулярной атмосфере.

По новой методике было проанализировано несколько случайных спектров LTOA (1 уровень), полученных со спутника OLCI (Sentinel 3A и Sentinel 3B) в окрестности черноморских платформ AERONET-OC (Section_7 и Galata_Platform). Предварительно из

всех 21 канала сканера выбраны ИК каналы на длинах волн 754, 779, 865, 885 нм, значения в которых хорошо ложились на интерполяционную кривую. Дополнительно считалось, что $Rrs(412)/Rrs(443)=0,8$. Показано, что новый алгоритм работает лучше, чем стандартная атмосферная коррекция. Его можно применять вне зависимости от атмосферных условий (облачность, пыль и т. д).

ЛАБОРАТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ИЗУЧЕНИЮ СПЕКТРОВ ПОКАЗАТЕЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА ТИПИЧНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ФИТОПЛАНКТОНА ЧЕРНОГО МОРЯ

С. А. Шоларь [1] ✉, Л. В. Стельмах [2], В. В. Суслин [1], О. С. Алатарцева [2]

[1] *МГИ, Севастополь, Россия*
[2] *ИнБЮМ, Севастополь, Россия*
✉ *sa.sholar@mail.ru*

Ключевые слова: спектры показателя поглощения света отдельными видами фитопланктона, *Chaetoceros curvisetus*, *Prorocentrum cordatum*, *Chrysotila sp.*, *Synechococcus sp.*, Черное море.

В начале 2024 г. NASA запустила на орбиту оборудование в рамках проекта PACE, которое после проведения атмосферной коррекции способно восстанавливать коэффициент яркости морской воды с разрешением 5 нм в видимом спектре длин волн. Одной из целей этого проекта является сбор глобальных данных о цвете океана, необходимых для изучения углеродного цикла и реакции морских экосистем на изменение климата. Важную роль в этом процессе играет морской фитопланктон.

Фитопланктон океана представлен различными таксонами и размерами. Одной из задач проекта является определение таксономических характеристик фитопланктона на основе спутниковых наблюдений. В настоящее время данные методы активно

развиваются и обсуждаются, в частности эта проблематика рассматривается в отношении Черного моря. В нашей работе мы представляем результаты серии исследований особенностей поглощения света различными видами фитопланктона, характерными для Черного моря и вносящими значительный вклад в его биомассу.

Цель работы состоит в выявлении спектральных особенностей поглощения света массовыми представителями фитопланктона Черного моря различной таксономической принадлежности, которые могут быть использованы в региональном алгоритме для разделения вклада диатомовых, динофитовых, коколитофорид и цианобактерий по мультиспектральным измерениям коэффициента яркости моря, получаемым, в частности, по спутниковым данным.

Были получены характерные нормированные спектры поглощения света (НСПС) типичных представителей фитопланктона Черного моря, акклимированных к различным световым условиям. На основании представленных спектров было выявлено: при низкой интенсивности света (НИС), 50 мкЭ·м^{2}·с$^{-1}$, и высокой интенсивности света (ВИС), 300 мкЭ·м^{2}·с$^{-1}$, хорошо видна разница в значениях на длине волны 675 нм для *Chrysotila sp.* и *Synechococcus sp*. Для НИС значения НСПС выше, в то время как в диапазоне длин волн от 375 до 500 нм значения НСПС близки и даже больше для ВИС.

При измерениях НСПС диатомовых и динофитовых водорослей методика не была полностью отлажена. В дальнейшем планируется повторить измерения на этих культурах. Наибольшие относительные значения НСПС на длине волны 675 нм наблюдаются у динофитовых водорослей. Для кокколитофорид и цианобактерий хорошо выражен пик на длине волны 625 нм, причем для цианобактерий он наиболее четкий в сравнении с другими группами водорослей. Для всех групп водорослей, кроме характерного пика на длине 675 нм, наблюдается пик на длине волны 500 нм. В данном случае мы только отмечаем эти особенности, которые в дальнейшем могут быть использованы для идентификации водорослей по спектрам поглощения.

Работа выполнена по темам гос. задания ФГБУН ФИЦ МГИ FNNN-2024-0012 «Анализ, диагноз и оперативный прогноз состояния гидрофизических и гидрохимических полей морских акваторий на основе математического моделирования с использованием данных дистанционных и контактных методов измерений» (шифр «Оперативная океанология») и ФГБУН ФИЦ ИнБЮМ «Трансформация структуры и функций экосистем морской пелагиали в условиях антропогенного воздействия и изменений климата», номер гос. регистрации 124030400057-4.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ О ПОВЕРХНОСТНОЙ СОЛЕНОСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ И НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Д. М. Шукало [1] ✉, **Т. Я. Шульга** [1, 2]

[1] *МГИ, Севастополь, Россия*
[2] *ГОИН, Москва, Россия*
✉ *mitya.googlovich@gmail.com*

Ключевые слова: Черное море, поверхностная соленость, данные дистанционного зондирования Земли, SMAP.

Соленость – важная переменная океана, которая влияет на гидрологический цикл, циркуляцию океана, а любое ее изменение отражается на биологических ресурсах акватории. Вариации солености поверхности моря (SSS), с одной стороны, являются ключевыми маркерами изменений поверхностных потоков пресной воды, которые предоставляют полезную информацию для понимания аспектов гидрологического цикла, включая испарение, осадки, речной сток и таяние льда. С другой стороны, соленость наряду с температурой необходима для расчета плотности океана, влияющей на его геострофическую циркуляцию, и играющей значительную роль в модуляции климата. Соленость также используется при решении задач отслеживания движения водных масс и процессов вертикального перемешивания между поверх-

ностными и подземными слоями. Поэтому крайне важно измерять и анализировать соленость поверхности моря для понимания потенциальной связи ее изменчивости с глобальным гидрологическим циклом и термохалинной циркуляцией.

В настоящее время при возросшей антропогенной нагрузке и изменяющемся климате меняется и Черное море. Описание мгновенного состояния водного объекта, необходимого для анализа его экологического состояния, стало возможным с развитием дистанционных методов мониторинга. Наличие современных данных дистанционных наблюдений существенно расширяет объем доступной информации о солености и позволяет получить ее с более высоким пространственным и временным разрешением по сравнению с натурными измерениями. Целью исследования является получение выводов об использовании информации о поверхностной солености Черного моря по данным спутниковых наблюдений, наилучшим образом согласующихся с натурными измерениями.

В настоящем исследовании использовались данные наблюдений *in situ* БОД МГИ РАН, выполненные на 15 000 гидрологических станций, и ежемесячные спутниковые наблюдения системы L3 SMAP V4 за период с мая 2015 по 2021 г. Для каждого натурного измерения по каждому месяцу и году накоплены массивы спутниковых данных о солености с разрешением сглаживания 40 и 70 км (SMAP 40 и SMAP 70). Массивы синхронизированных пар SSS группировались по координатам SMAP в радиусе 15 км относительно координат *in situ* измерений.

Сравнительный анализ данных о поверхностной солености, полученных по данным спутниковых и *in situ* наблюдений, выполнен на основании анализа диаграмм рассеяния. Результаты этого анализа позволили оценить качество спутниковых измерений SMAP 40 и SMAP 70 относительно натурных наблюдений.

Анализ диаграмм рассеяния показывает, что наибольший разброс значений SSS по данным SMAP относительно наблюдений *in situ* имеет место для данных SMAP 40. Данные SMAP 70 лучше согласуются с наблюдениями *in situ* практически во всех анализируемых точках, их наибольшая плотность отмечается в интервале 18 ± 1 ЕПС.

Получено, что наилучшее соответствие с натурными измерениями обеспечивается данными наблюдений SMAP с 70 км разрешением сглаживания.

О ТОЧНОСТИ ВОЛНОГРАФИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ИНЕРЦИАЛЬНЫМИ ДАТЧИКАМИ

Ю. Ю. Юровский ✉, О. Б. Кудинов

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *y.yurovsky@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: поверхностные волны, буй, измерения, инерциальный датчик.

Бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС) широко используются в современных волнографических буях. В отличие от альтернативных решений на основе приемников глобальных навигационных спутниковых систем, БИНС не подвержены помехам, имеют более компактный размер и более энергоэффективны. В данной работе обсуждается применимость неспециализированных БИНС (далее – инерциальных датчиков) для построения волнографических буев и их потенциальная точность в приложении к задаче измерения параметров морских волн.

Проведен лабораторный эксперимент по оценке шумовых характеристик нескольких наиболее распространенных на российском рынке моделей инерциальных датчиков. Показано, что собственный шум датчиков по мощности на несколько порядков ниже типичных значений мощности полезного сигнала от волн, наблюдаемых в натурных условиях. Использования паспортных масштабных коэффициентов (без дополнительных калибровок) достаточно для определения спектральной плотности высот волн с довольно высокой точностью – 1–2 %.

Между тем в натурных измерениях всегда присутствует низкочастотный «красный» шум, препятствующий устойчивой инте-

гральной оценке высот волн. При автоматической идентификации спектрального пика ошибки измерений высоты значительных волн увеличиваются до 10 %, но могут быть и выше при ложном определении пика. Действительно, спектральная плотность спектра возвышений стремится к бесконечности при стремлении частоты f к нулю из-за неизбежного «коэффициента усиления», f^{-4}, возникающего при переходе от ускорений к высотам. Вместе с тем шум в реальных измерениях ускорений на несколько порядков выше собственного шума датчиков.

Для объяснения наблюдаемых спектров выполнен простой численный эксперимент. Морская поверхность смоделирована в виде совокупности волн Герстнера с заданным спектром. Измерение осуществляется «виртуальным» плоским буем, идеально отслеживающим локальные уклоны поверхности. В такой постановке задачи естественным образом учитывается нелинейность морской поверхности, которая, таким образом, является достаточным условием возникновения низкочастотного шума измерений. Кроме того, преобразование инерциальных измерений в высоты волн также нелинейно. Как показал данный эксперимент, выбор методики обработки инерциальных измерений более важен с точки зрения минимизации ошибок измерений, чем выбор конкретной модели инерциального датчика.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 24-27-00153 (https://rscf.ru/project/24-27-00153/).

СЕКЦИЯ 2
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В МОРСКИХ СИСТЕМАХ, МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ МОДЕЛИ

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОМЕЖУТОЧНЫХ И ГЛУБИННЫХ ВОД В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА

К. В. Артамонова [1] ✉, **О. Н. Лукьянова** [2], **С. В. Гладышев** [2]

[1] *ВНИРО, Москва, Россия*
[2] *ИО РАН, Москва, Россия*
✉ *ksusha.vniro@gmail.com*

Ключевые слова: структура вод, межгодовая и короткопериодная изменчивость, гидролого-гидрохимические характеристики, Северная Атлантика.

Для мониторинга современных тенденций изменения климата регулярные наблюдения за состоянием и изменчивостью структуры и характеристик вод такого климатообразующего региона, как Северная Атлантика, имеют несомненную важность. В работе на основе данных, полученных в летний период (июнь – август) с 2002 по 2021 г. на ежегодно-повторяющемся океанологическом разрезе по 59,5° с. ш. в Северной Атлантике, проанализирована структура вод и межгодовая изменчивость гидролого-гидрохимических характеристик промежуточных и глубинных вод. Кроме того, на разрезах через проливы, отделяющих Арктику и Атлантику, была оценена короткопериодная (в течение нескольких суток) изменчивость характеристик вод и интенсивность их переноса.

На разрезе по 59,5° с. ш. были выделены промежуточные воды восточного бассейна субтропического происхождения (СТПВ).

В западной части разреза по минимуму солености и максимуму растворенного кислорода прослеживались лабрадорские промежуточные воды (ЛВ) субарктического происхождения. Глубинные воды на разрезе были представлены двумя водными массами: северо-восточной глубинной водой (СВГВ) и северо-западной глубинной водой (СЗГВ), отличительными характеристиками которой являются пониженная температура и соленость, а также более высокое содержание растворенного кислорода и низкие концентрации фосфатов, силикатов и нитратов. В придонном слое по максимуму растворенного кремния (более 14 μM) прослеживается донная вода восточного бассейна.

Структура вод в районе проливов была представлена верхним слоем, занятым теплыми и солеными водами атлантического происхождения с относительно низким содержанием растворенного кислорода, а также глубинным слоем (с плотностью $\sigma_0 > 27.80$ кг/м^3), заполненным холодными и менее солеными арктическими водами.

Для анализа межгодовой изменчивости гидролого-гидрохимических характеристик были рассчитаны средние по слою характеристики внутри изопикнического интервала, соответствующего верхней и нижней границам исследуемых вод. Получено, что характеристики и толщина слоя исследуемых водных масс сильно меняются год от года. В слое промежуточных вод с 2002 г. отмечался синхронный тренд на уменьшение температуры и увеличение содержания растворенного кислорода. Для глубинных вод наблюдался разнонаправленный тренд: в слое СВГВ – рост температуры и солености и уменьшение содержания растворенного кислорода, что наиболее выражено было в море Ирмингера, а в слое СЗГВ – уменьшение температуры, увеличение солености и содержания растворенного кислорода, а также уменьшение концентрации биогенных элементов.

Данные последовательных съемок на разрезах в районе проливов позволили выявить значительную короткопериодную (в масштабе нескольких суток) изменчивость структуры и характеристик водных масс на границе Атлантики и Арктического бассейна.

Авторы благодарят всех своих коллег, которые принимали участие в получении гидролого-гидрохимических данных, а также экипажи НИС ИО за помощь в проведении исследований.

Анализ гидрохимических данных выполнен при поддержке РНФ (проект № 23-17-00032).

МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК СУБ- И МЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ В КУРИЛО-КАМЧАТСКОМ РЕГИОНЕ ТИХОГО ОКЕАНА

О. А. Атаджанова ✉, А. В. Зимин, А. А. Коник

ИО РАН, Москва, Россия
✉ *oksana.atadzhanova@gmail.com*

Ключевые слова: вихрь, альтиметрия, радиолокация, мезомасштаб, субмезомашстаб, Тихий океан.

Работа посвящена исследованию пространственно-временной изменчивости характеристик поверхностных проявлений вихревых структур от сотни метров до сотни километров (суб- и мезомасштаб) и оценке влияния приливной динамики на ее особенности вблизи полуострова Камчатка и северных Курильских островов со стороны Тихого океана с марта по август 2015–2023 гг. с использованием многолетних архивов спутниковых и модельных данных.

Рассматриваемая акватория является областью массового нереста и последующего развития на ранних стадиях минтая восточнокамчатской популяции. Икрометание минтая в рассматриваемом регионе начинается в марте и заканчивается в июне. Необходимым условием выживания молоди является ее развитие в шельфовой зоне при наличии достаточного количества кормовой базы. Поэтому исследование особенностей локальной динамики вод является одной из приоритетных задач при выяснении абиотических факторов, влияющих на формирование урожайности поколений минтая.

Для анализа мезомасштабных вихрей использовалась ежесуточная информация о типе вращения, положении центра, радиусе каждого вихря. Данная информация была получена из Mesoscale Eddy Trajectory Atlas Product Meta3.2 DT. Дополнительно привлекались мгновенные спутниковые поля температуры поверхности океана (ТПО) и хлорофилла *a* MODIS/Aqua, MODIS/Terra, VIIRS/Suomi NPP уровня обработки L2 с разрешением ~ 1 км.

В качестве исходных данных для регистрации поверхностных проявлений субмезомасштабных вихрей использовалось около 1800 радиолокационных изображений (РЛИ) высокого разрешения Sentinel-1A/B.

Также использовались среднемесячные данные о скорости ветра скаттерометра NASA SMAP, скорости течения из альтиметрического продукта AVISO и продукта GLOBAL OCEAN PHYSICS REANALYSIS, данные о приливных течениях из атласа TPXO9 с разрешением 1/30°.

В результате было показано, что:

1) характеристики вихрей на разных масштабах подвержены межгодовой и внутригодовой изменчивости, особенно в количестве и районах регистрации. Анализ межгодовой изменчивости показал, что субмезомасштабные вихри чаще всего регистрировались в 2019 г., а мезомасштабные – в 2022 г. Анализ внутригодовой изменчивости показал, что максимальное количество субмезомасштабных вихрей зарегистрировано в июне, а мезомасштабных – в марте;

2) внутригодовая изменчивость характеристик разномасштабных вихрей зависит от особенностей сезонных колебаний Восточно-Камчатского течения и ветрового режима;

3) приливной фактор, вероятнее всего, является доминирующей причиной появления групп малых вихрей на периферии более крупных мезомасштабных вихрей в условиях, когда топографические эффекты не столь существенны;

4) малые вихри могут влиять на развитие и локальное перераспределение кормовой базы, что критически важно для ранних стадий развития рыб, в частности минтая.

Работа выполнена в рамках гранта РНФ №23-17-00174.

ГЕНЕРАЦИЯ И ЭВОЛЮЦИЯ ВИХРЕЙ ЗА МЫСАМИ ОСТРОВА НАДЕЖДЫ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И ПРИЛИВНОЙ МОДЕЛИ

О. А. Атаджанова [1] ✉, И. Е. Козлов [1], А. А. Коник [2], Е. В. Плотников [1], А. В. Медведева [1]

[1] *МГИ, Севастополь. Россия*
[2] *ИО РАН, Москва, Россия*
✉ *oksana.atadzhanova@gmail.com*

Ключевые слова: вихри, субмезомасштабные вихри, радиолокация, Баренцево море, оптический диапазон, Тихий океан.

В работе проводится анализ особенностей вихревой динамики вблизи острова Надежда в Баренцевом море с января по декабрь 2018 г. в разные сезоны года.

В качестве исходных данных были использованы спутниковые радиолокационные изображения Sentinel-1 A/B, данные оптических сканеров цвета моря спутников Landsat-8 и Sentinel-2, данные об уровне и скорости прилива из приливной модели AOTIM5 и скорости ветра ERA5.

По радиолокационным и оптическим данным вблизи северного и южного мысов о. Надежда было зарегистрировано 385 поверхностных проявлений вихревых структур со средним диаметром около 4,5 км. Вихревые проявления регистрировались на протяжении всего года, однако около 2/3 наблюдалось в зимний период при наличии ледяного покрова. Сопоставление с данными о приливах позволило выявить, что вихри регистрируются чаще всего в сизигию, а время их жизни может составлять менее половины приливного цикла. При этом фаза прилива может влиять на знак вращения и направление движения вихрей. При наличии ледяного покрова динамика вихрей приводит к его изменчивости и формированию полыней на небольших временных интервалах. При этом скорость дрейфа льда в вихрях сопоставима со скоро-

стями приливных течений. В летний период при неблагоприятных ветровых условиях вихри лучше проявляются в данных оптических сканеров цвета высокого разрешения, нежели на радиолокационных изображениях.

Анализ близких по времени изображений позволил определить пространственную структуру и эволюцию вихрей на коротких временных интервалах и масштабах порядка 0.1–1 км. Комплексный анализ спутниковых данных позволяет утверждать, что акватория вблизи острова Надежды является районом квазипостоянного интенсивного вихреобразования.

Работа выполнена в рамках госзадания ФГБУН ФИЦ МГИ FNNN-2024-0017.

О ПРОВОДИМЫХ В МГИ ЧИСЛЕННЫХ И НАТУРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ СЕЙШЕВЫХ КОЛЕБАНИЙ В СИСТЕМЕ СВЯЗАННЫХ БУХТ НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ СЕВАСТОПОЛЬСКИХ БУХТ

А. В. Багаев ✉, А. Ю. Белоконь, Ю. В. Манилюк, Ю. Ю. Юровский, В. А. Кальпа

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *a.bagaev1984@gmail.com*

Ключевые слова: сейши, резонансные колебания, связанные бухты, севастопольские бухты, натурные наблюдения, ультразвуковой измеритель волнения, модель ADCIRC.

В административных границах г. Севастополя находится система бухт, состоящая из главной бухты – Севастопольской (длина ~ 7 км, ширина ~ 1 км, глубина ~ 15 м) и связанных с ней 7 бухт меньших размеров. Все бухты системы активно используются: перевалка грузов, стоянка судов, рекреация и т. д. Несмотря на важность бухт для жизни города, в последние десятилетия в них практически отсутствуют доступные синхронные данные натурных наблюдений за уровнем моря.

Сейши – весьма распространенное природное явление в бухтах. Периоды и пространственная структура этих стоячих волн определяются профилем береговой черты и батиметрией водоема. Наличие связи между бухтами приводит к расширению модового состава сейшевых колебаний в них, что увеличивает возможности возникновения опасных явлений.

Целью выполняемого исследования является установление периодов собственных колебаний севастопольских бухт на основе анализа данных натурных наблюдений и математического моделирования, а также изучение возможного взаимодействия бухт друг с другом.

Для проведения наблюдений за уровнем моря в МГИ был разработан мареограф, построенный на основе ультразвуковых датчиков расстояния JSN-SR04. Один из них направлен вертикально вниз и служит непосредственно для измерения расстояния до морской поверхности (в среднем 1–2 м в зависимости от места установки). Луч второго направлен горизонтально вдоль рамы с целью измерения контрольного расстояния до специально установленной на раме пластины. Такая схема позволяет вести прямые измерения скорости звука в области наблюдения и тем самым избегать ошибок, связанных с ее изменениями за счет флуктуаций температуры, влажности, давления. Датчики опрашиваются последовательно с частотой 10 Гц. Исходные данные – время распространения акустического сигнала до мишени и обратно с разрешением 1 мкс – накапливаются на сменной карте памяти. Питание осуществляется от трех литий-ионных аккумуляторов (типоразмер 18650), полного заряда которых хватает на непрерывную запись в течение 20 сут. Прибор оснащен кварцевыми часами реального времени. Синхронизация приборов с мировым временем выполняется вручную в начале и в конце каждой сессии наблюдений. Таким образом осуществляется синхронное измерение уровня моря в разных точках установки с точностью 0,1 с. Измерители установлены в бухтах Круглой, Карантинной, Голландия и Камышовой.

Для интерпретации результатов натурных наблюдений использовано математическое моделирование на основе численной гидродинамической модели ADCIRC. Для генерации сейш предлагается применять два вида возмущений: «красный» шум

и уединенную волну в виде солитона. Данные типы возмущений дополняют друг друга и позволяют выделить все основные собственные периоды системы связанных бухт. Также исследованы резонансные свойства отдельных бухт, входящих в систему с целью более точной идентификации мод сейш, возбуждаемых в системе. Применение спектрального анализа дает возможность исследовать взаимодействие бухт друг с другом.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-20076 https://rscf.ru/project/24-27-20076/ и Правительства города Севастополя.

ГЕОСТРОФИЧЕСКАЯ И ДРЕЙФОВАЯ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ДИНАМИКИ ВОД ЮЖНОГО ОКЕАНА

В. В. Багатинская [1, 2, 3, ✉], **В. А. Багатинский** [1, 2, 3, 4], **Н. А. Дианский** [1, 2, 3], **А. В. Гусев** [2, 3, 4], **Е. Г. Морозов** [4]

[1] *МГУ, Москва, Россия*
[2] *ИВМ РАН, Москва, Россия*
[3] *ГОИН, Москва, Россия*
[4] *ИО РАН, Москва, Россия*
✉ *varbagat@yandex.ru*

Ключевые слова: Антарктическое циркумполярное течение, влияние ветра, геострофический фактор, численная модель, баротропная функция тока.

Были изучены вклады геострофических и дрейфовых факторов в формирование средней климатической структуры Антарктического циркумполярного течения (АЦТ) с помощью модели общей циркуляции океана INMOM (Institute of Numerical Mathematics Ocean Model). Целью исследования было разделение геострофического и дрейфового компонентов АЦТ. Моделирование проводилось для летних (февраль) и зимних (август) условий для климатического периода с 1993 по 2012 г. Показано, что, несмотря на сильные ветры над Южным океаном, геострофический

фактор циркуляции, как правило, намного сильнее дрейфового фактора. Тем не менее вклад дрейфовой составляющей в увеличение приповерхностной зональной скорости может достигать 15–20 % от геострофической скорости. Ветер способствует уменьшению средней динамической топографии (СДТ) от открытого океана до побережья Антарктиды. Влияние ветра на формирование баротропной функции тока более выражено, чем на СДТ. Геострофический перенос в АЦТ почти одинаков зимой и летом. Из-за воздействия ветра общий перенос АЦТ вокруг Антарктиды увеличивается в среднем на 10–15 Св летом и на 15–20 Св зимой. Была выявлена трехструйная структура АЦТ с помощью численного моделирования методом «диагноз – адаптация» по данным EN4. Показано, что трехструйная структура АЦТ имеет геострофическую природу.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 22-17-00267.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ КУПОЛА ТЕМПЕРАТУРЫ ГЛУБИННОЙ ВОДЫ МОРЯ УЭДДЕЛЛА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЦИКЛОНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

В. А. Багатинский [1, 2, 3, 4, ✉], **В. В. Багатинская** [1, 2], **Е. Г. Морозов** [4], **Н. А. Дианский** [1, 2, 3]

[1] *МГУ, Москва, Россия*
[2] *ИВМ РАН, Москва, Россия*
[3] *ГОИН, Москва, Россия*
[4] *ИО РАН, Москва, Россия*
✉ vladbagat@vladbagat.ru

Ключевые слова: Море Уэдделла, дрейфовый фактор, термохалинный фактор, численная модель, INMOM.

Изучена изменчивость положения купола глубинной воды моря Уэдделла по данным EN4 о температуре и солености для

среднемесячных февральских и августовских условий в 1993–2012 гг. в зависимости от напряжения трения ветра, рассчитанного по данным JRA55-do. Сам купол рассматривается в районе 60°–67° с. ш. и 10°–25° з. д. Диапазон потенциальных температур в слое глубинной воды моря Уэдделла 0.02–0.2 °C. Наблюдаемый среднефевральский с 1993 по 2012 г. купол изотерм и изопикн формируется как следствие интенсификации термохалинной циркуляции в целом и дрейфовой циркуляции вод в море Уэдделла в частности. Под воздействием сезонной изменчивости циклонической активности изотермы испытывают периодический подъем и опускание. Вытекание глубинной воды моря Уэдделла в основном происходит через Оркнейский проход с глубиной поперечного хребта около 3600 м. В зависимости от поднятия или опускания изопикн и изотерм в районе этого прохода в море Скоша поступают более теплые или более холодные антарктические донные воды.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 22-17-00267.

О ВЛИЯНИИ КЛИМАТИЧЕСКИХ МОД АТЛАНТИКО-ЕВРАЗИЙСКОГО РЕГИОНА НА ЗАВИХРЕННОСТЬ КАСАТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ТРЕНИЯ ВЕТРА НАД ЧЕРНЫМ МОРЕМ

Е. А. Базюра [1, 2] ✉, **А. В. Губарев** [2], **А. Б. Полонский** [2]

[1] *Филиал МГУ в г. Севастополе, Севастополь, Россия*
[2] *ИПТС, Севастополь, Россия*
✉ *eisal@mail.ru*

Ключевые слова: Североатлантическое колебание, Восточноатлантическое колебание, Скандинавское колебание, Восточно-Атлантическое Западно-Российское колебание, завихренность касательного напряжения трения ветра, Черное море.

Изучение проявлений глобальных климатических осцилляций на региональном уровне является важнейшей задачей. Климати-

ческими модами, существенно воздействующими на климат Атлантико-Евразийского региона, являются Североатлантическое (САК), Восточноатлантическое (ВАК), Скандинавское (СК) и Восточноатлантическое Западно-Российское колебания (ВАЗРК). Для Черного моря одной из характеристик системы океан – атмосфера, подверженных влиянию указанных осциллирующих мод, является завихренность касательного напряжения трения ветра (ЗКНТВ).

В работе поля среднемесячных величин ЗКНТВ для каждой точки акватории Черного моря были рассчитаны по данным глобального атмосферного реанализа MERRA2 (Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, Version 2) о меридиональной и зональной компонентах вектора ветра (U,V) за каждые 6 часов для временного периода 1980–2020 гг. Среднемесячные значения индексов САК, ВАК, СК и ВАЗРК были взяты с сайта Standardized Northern Hemisphere Teleconnection Indices (ftp: //ftp.cpc.ncep.noaa.gov/wd52dg/data/indices/tele_index.nh). Использован метод разностных композитов с учетом нестационарности временных рядов индексов САК, ВАК, СК и ВАЗРК.

Показано, что из всех исследуемых климатических мод наибольшее влияние на ЗКНТВ над Черным морем оказывает СК и ВАК.

В холодный период года (с ноября по апрель) в отрицательную фазу ВАК над большей частью акватории Черного моря усиливается циклоническая завихренность.

В положительную фазу СК на протяжении всего года, исключая два зимних месяца (декабрь и январь), отмечается значимое усиление циклонической ЗКНТВ над разными частями Черного моря.

Работа выполнена в рамках госзадания Института природно-технических систем FFMM-2024-0016 по теме «Фундаментальные исследования процессов в климатической системе, определяющих пространственно-временную изменчивость морской среды и прилегающих территорий в широком диапазоне масштабов» (№ госрегистрации 124020100120-9).

ПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫЕ ВЕТРЫ НАД ЧЕРНЫМ МОРЕМ ЛЕТОМ И СОБЫТИЯ АТМОСФЕРНОГО БЛОКИРОВАНИЯ

Д. В. Башарин ✉, И. Г. Шокурова

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *dbasharin@mail.ru*

Ключевые слова: Черное море, продолжительные ветры летом, атмосферное блокирование, приземное давление, высота изобарической поверхности 500 гПа.

Ветровой режим над морем определяет перемешивание верхнего слоя моря и его характер циркуляции. Учет ветрового режима во многом определяет варианты строительства гидротехнических сооружений, важен при прогнозировании сгонно-нагонных явлений, при изучении изменения уровня вод в прибрежных регионах Черного моря. Все это обусловливает цель настоящей работы – анализ атмосферных условий для случаев возникновения экстремально продолжительного ветра с устойчивым направлением в Черном море в теплый период года на основе длительного массива данных.

Анализ ветровых ситуаций проводился на основе 6-часовых данных атмосферного реанализа ERA5 за 1979–2021 гг. в теплый период года (май – октябрь). Черное море имеет небольшие размеры, поэтому для большинства синоптических ситуаций можно выделить преобладающий над морем ветровой поток.

Для установления случаев продолжительного ветра с устойчивым направлением над всей акваторией Черного моря (для каждого 6-часового срока) было проанализировано направление потока на основе осреднения компонент скорости ветра по данным, попадающим на акваторию моря.

В итоге в работе было всего выделено 16 случаев с устойчивыми ветрами за 43 года. Из них 15 случаев было с устойчивым северо-восточным ветром с июня по октябрь и 1 случай с северо-западным ветром (в июле). Подавляющее их количество приходится на август и сентябрь – 10 случаев. Продолжительность случаев с устойчивым ветром может достигать 8,5 сут.

Для совокупности выявленных случаев был проведен анализ атмосферных условий в приземном слое и в средней тропосфере. Для этого в крупномасштабном регионе, включающем Черное море и Европейский регион (35°–85° с. ш., 10° з. д. – 100° в. д.), на основе метода разложения по эмпирическим ортогональным функциям были получены основные моды пространственного распределения приземного давления и геопотенциала с целью анализа типичных атмосферных условий. Первая мода разложения приземного давления (с вкладом 47 %) свидетельствует об устойчивом расположении области высокого давления над севером Центральной и Восточной Европы, которая также прослеживается до средней тропосферы и проявляется в первой моде геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа (с вкладом 43 %). Анализ свидетельствует, что такие первые моды могут быть вызваны процессами блокирования, имеющими место в атмосфере средних широт для большинства случаев с устойчивыми ветрами.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания FNNN-2024-0014 «Фундаментальные исследования процессов взаимодействия в системе океан-атмосфера, формирующих изменчивость физического состояния морской среды на различных пространственно-временных масштабах».

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДЛИННЫХ ВОЛН В ПРОЛИВЕ БОСФОР

А. Ю. Белоконь ✉, Д. И. Лазоренко, В. В. Фомин

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *a.bazykina@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: пролив Босфор, длинные волны, цунами, ADCIRC, математическое моделирование.

Пролив Босфор является зоной интенсивного судоходства, что обусловливает необходимость всестороннего изучения динамики вод в этом районе. Район пролива и прилегающие к нему акватории расположены в месте столкновения двух материковых плит, он сейсмически активен, там всегда существует вероятность подземных толчков. Поэтому опасность цунами здесь

не должна игнорироваться. Такие волны могут быть вызваны как подводными землетрясениями, так и землетрясениями на суше. За 3000 лет в Черном море известно 50 случаев цунами различного происхождения. В Мраморном море за 2000 лет произошло 35 цунами, которые имели сейсмическую или оползневую природу. В районе самого пролива Босфор наблюдались землетрясения с магнитудой свыше 5.

В связи с плотной застройкой побережья Босфора, ведущейся здесь хозяйственной деятельностью и расположенными у моря зонами отдыха возрастает потребность в детальном изучении возможных наибольших высот волн, которые могут проникать в пролив из Черного и Мраморного морей.

С учетом изложенного целью настоящей работы являлось исследование распространения длинных волн в проливе Босфор с помощью математического моделирования. Расчеты выполнялись в модели ADCIRC с высоким пространственным разрешением. Анализировались амплитуды колебаний уровня моря при распространении длинных волн из Черного моря в Мраморное и наоборот для разных сценариев их генерации.

Работа выполнена в рамках темы МГИ № FNNN-2024-0016 «Прибрежные исследования». Расчеты проводились на вычислительном кластере МГИ.

КЛИМАТИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВЕРХНЕГО КВАЗИОДНОРОДНОГО СЛОЯ В БАРЕНЦЕВОМ И КАРСКОМ МОРЯХ

А. А. Букатов, Е. А. Павленко ✉, Н. М. Соловей

МГИ, Севастополь, Россия
✉pavlenko.ea@mhi-ras.ru

Ключевые слова: Баренцево море, Карское море, толщина верхнего квазиоднородного слоя, вертикальное перемешивание, линейный тренд, межгодовая изменчивость.

Значительное сокращение площади ледяного покрова в Арктике в начале текущего столетия стало причиной того, что

поверхностный слой стал более доступным для непосредственного воздействия ветра и солнечной радиации. Такие заметные колебания условий окружающей среды, естественно, проявились в изменениях термохалинной структуры поверхностного слоя. В связи с этим изучение характеристик верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) в Арктике на климатическом масштабе приобретает все большую актуальность.

В настоящей работе на основе данных реанализа ORAS5 о среднемесячных значениях температуры и солености в узлах сетки 0,25° × 0,25° за период 1958–2022 гг. исследована климатическая изменчивость толщины ВКС в различных районах Баренцева и Карского морей.

Анализ показал, что максимального развития ВКС достигает в феврале – марте, а минимального – в июне, июле. Таким образом, наибольшие значения толщины ВКС в рассматриваемых морях наблюдаются в период усиления осенне-зимней конвекции. В холодное полугодие (ноябрь – апрель) толщина ВКС составляет в среднем по акватории Баренцева моря от 65 м (ноябрь) до 125 м (февраль). В Карском море в холодный период года средняя толщина ВКС составляет от 18 м (ноябрь) до 27 м (февраль, март).

В теплый период года (май – октябрь), во время максимального распространения речных вод, таянья льдов и поверхностного прогрева, водная толща хорошо стратифицирована по глубине, слой максимальных значений частоты плавучести поднимается к поверхности. Осредненные по всей акватории моря величины толщины ВКС составляют от 8 м (июль) до 40 м (май, октябрь) для Баренцева моря, а для Карского моря от 2 м (июнь) до 15 м в октябре.

Анализ межгодовой изменчивости среднегодовых величин толщины ВКС показал наличие положительного климатического тренда за период 1958–2022 гг. в Баренцевом и Карском морях (рост толщины ВКС). Тенденция к увеличению прослеживается как в холодное, так и в теплое полугодие. Величина тренда среднегодовой толщины ВКС в среднем для Баренцева моря составила +1,3 м/10 лет; для Карского +1,2 м/10 лет. Величина тренда толщины ВКС в холодное полугодие составила +1,9 м/10 лет

и +2,1/10 лет для Баренцева и Карского морей соответственно. Величина тренда толщины ВКС в теплое полугодие составила +0,7 м/10 лет и +0,4/10 лет для Баренцева и Карского морей соответственно.

ГЛУБИНА ВЕРХНЕГО КВАЗИОДНОРОДНОГО СЛОЯ И ЕЕ ИЗМЕНЕНИЕ ПРИ НАЛИЧИИ БРИЗА В СОВМЕСТНОЙ МОДЕЛИ ОКЕАНА И АТМОСФЕРЫ

А. А. Бухарев

РГГМУ, Санкт-Петербург, Россия
✉ *anton.bukharev@gmail.com*

Ключевые слова: квазиоднородный слой, бризовая циркуляция, коэффициент турбулентности, математическое моделирование.

В верхнем слое океана основную роль в распределении гидрологических характеристик с глубиной играет турбулентное и конвективное перемешивание. Эти процессы оказывают существенное влияние на потоки тепла и влаги в атмосферу. С другой стороны, ветровой поток импульса из атмосферы значительно усиливает перемешивание и турбулентность в верхнем квазиоднородном слое океана. Таким образом, конвективные процессы и турбулентная диффузия в океане относятся к погодо- и климатообразующим процессам, и воспроизведение этих процессов необходимо для успешности экспериментов с моделями общей циркуляции атмосферы и океана.

Хорошо известно, что вблизи побережий ветровой режим отличается от условий горизонтальной однородности открытого моря благодаря возникновению мезомасштабного явления бризовой циркуляции. Это явление оказывает непосредственное влияние на интенсивность турбулентного перемешивания в верхнем квазиоднородном слое.

В основе численного эксперимента лежит совмещенная модель, состоящая из двух блоков: негидростатической модели

бризовой циркуляции и двумерной модели пограничного слоя океана с нулевыми вертикальными движениями. Ячейка бризовой циркуляции, возникающая вследствие неоднородного прогрева подстилающей поверхности, создает воздушный поток, который, в свою очередь, оказывает воздействие на верхний слой воды. Возникающее таким образом касательное напряжение способствует перемешиванию воды. С другой стороны, турбулентное движение воды приводит к изменению температуры слоя, прилегающего к атмосфере, что приводит к изменению теплового потока из океана в атмосферу и, как следствие, изменению интенсивности бриза.

Началом численного эксперимента принят момент восхода солнца и появление теплового потока от суши к атмосфере. Глубина квазиоднородного слоя принималась равной 5 м, что соответствует значению, характерному для неглубоких морей, например Черного. Далее на каждом шаге последовательно рассчитывалось значение динамической скорости, которое затем передавалось в модель пограничного слоя океана. В результате через 24 ч моделирования были получены профили температуры в слое океана, затронутом турбулентным перемешиванием, на различном расстоянии от береговой линии.

В результате было установлено, что глубина квазиоднородного слоя океана увеличивается под воздействием бриза с 5 до 11 м на расстоянии 50 м от берега. Кроме того, по мере удаления от берега влияние бриза ослабевает, и на расстоянии 15 км глубина квазиоднородного слоя увеличилась до 9 м.

Исходя из численного эксперимента можно сделать вывод, что разработанная совместная модель дает адекватные с точки зрения качественного анализа данные. В будущем возможна количественная оценка модели, ее дальнейшая модификация и развитие.

ИНФОРМАЦИОННО-РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И МОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

А. А. Воронцов ✉, С. В. Белов, К. В. Белова, Д. А. Мельников

МИРЭА, Обнинск, Россия
✉ *vorv10921@gmail.com*

Ключевые слова: информационная система, Мировой океан, моря России, океанология, морская деятельность, обеспечение.

Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО) была разработана и используется для информационного обеспечения океанологических исследований и морской деятельности.

В настоящее время ЕСИМО интегрирует разнородные данные и обеспечивает этими данными и производной информацией специалистов-исследователей НИУ и специалистов в области морской деятельности. В системе созданы усовершенствованные методы обработки данных, средства тематических технологий по формированию целевых информационных ресурсов для гидрометеорологического обеспечения морской деятельности.

Сейчас в системе применяется контейнерная обработка гидрометданных, которая базируется на исключении множества ручных операций по поиску, выборке, подготовке к обработке и передаче потоков данных от одного этапа к другому, сопровождается автоматической подготовкой метаданных и загрузкой создаваемых баз инвертированных, расчетных, обобщенных и климатических данных.

В ЕСИМО для повышения эффективности производства информационной продукции реализована сквозная схема производства – от наблюдения до принятия решения, работающая без участия человека.

АНАЛИЗ ЦИРКУЛЯЦИИ ЧЕРНОГО МОРЯ В 2022 г. НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Л. А. Глухов ✉, Н. В. Маркова, О. А. Дымова

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *quitSlackin@yandex.ru*

Ключевые слова: Черное море, циркуляция, численное моделирование, валидация, данные Argo, температура, соленость.

В работе проводится анализ модельных гидрофизических полей Черного моря для периода 2022 г. и их валидация на основе данных профилирования буев Argo. Исследование особенностей циркуляции выполняется при сопоставлении двух модельных расчетов динамики моря. Рассматриваются результаты численного моделирования, полученные с использованием модели циркуляции Морского гидрофизического института (МГИ) и модели BS-PHY EAS6 – реализации NEMO Ocean Model для Черного моря, данные которой находятся в открытом доступе (CMEMS).

Результаты моделирования валидировались по данным контактных измерений, выполненных автономными буями-профилемерами Argo. Метод валидации заключался в расчете среднеквадратических отклонений (СКО) температуры и солености для различных слоев, характеризующих особенности термохалинной структуры Черного моря. Оценки погрешностей по данному параметру показали, что обе модели в целом достаточно качественно воспроизводят поля температуры и солености в рассматриваемый период. В среднем по слоям данные модели NEMO демонстрируют более высокую точность реконструируемых полей, за исключением значений температуры в верхнем перемешанном слое (в диапазоне глубин 0–6 м) и в области термоклина (на глубинах 6–31 м).

Для исследования глубоководных процессов рассмотрены модельные гидрофизические поля отдельно в районах над материковым склоном по периферии бассейна и в центральной глубоководной области моря. Показано, что наибольшие погрешности

оцениваемых параметров соотносятся с районами со сложной топографией дна, расположенными вблизи анатолийского и северокавказского побережий.

Установлено также, что для обеих численных моделей наибольшие отклонения температуры и солености от наблюдаемых значений приходятся на данные одних и тех же буев и на районы с активной вихревой динамикой. Так, максимальные СКО солености получены по данным буя № 6903240 для поверхностного слоя и на горизонтах более 500 м в районе свала глубин в северо-восточной части моря. Данные этого же буя обусловливают высокие значения СКО температуры в верхнем перемешанном слое для модели NEMO. Поэтому при оценке репрезентативности модельной динамики важно учитывать не только СКО, полученное в целом по бассейну, но и отклонение модельных расчетов от данных ближайших по времени – пространству буев в конкретных областях.

Работа выполнена в рамках госзадания ФГБУН ФИЦ МГИ по теме № FNNN-2024-0001.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СЛОЯ АТЛАНТИЧЕСКИХ ВОД БАССЕЙНА НАНСЕНА

А. В. Даньшина

ААНИИ, Санкт-Петербург, Россия
✉ *danshina@aari.ru*

Ключевые слова: котловина Нансена, Северный Ледовитый океан, численное моделирование, Атлантические воды.

Современное потепление климата в Арктическом регионе проявляется в изменениях термохалинной структуры вод Северного Ледовитого океана. В данной работе приведены результаты исследования изменчивости параметров слоя вод атлантического происхождения в бассейне Нансена. В качестве основной исходной информации использовались поля термохалинных и гидродинамических величин, а также ледовых

параметров, полученных в ходе ретроспективных расчетов на сконфигурированной и адаптированной для Арктического бассейна модели NEMO (https://www.nemo-ocean.eu/) при задании форсингов на основе данных океанского реанализа GLORYS12V1 (https://data.marine.copernicus.eu/product/GLOBAL_MULTIYEAR_PHY_001_030/description) и атмосферного реанализа ERA5 (https://cds.climate.copernicus.eu/-era5-single-levels?tab=overview).

Дальнейшая обработка этих данных позволила выделить в котловине Нансена слой вод Атлантического происхождения как слой с положительной температурой воды и рассчитать основные его характеристики, а также количественно оценить их аномалии. Анализ полученных результатов позволил выявить особенности пространственно-временной изменчивости данных характеристик слоя атлантических вод в текущем столетии. Особое внимание было уделено распределению плотности теплозапаса и солезапаса, а также адвективным потокам тепла и соли в зимний период для подтверждения протекания процесса «атлантификации» в Северном Ледовитом океане.

Работа выполнена в рамках Федеральной научно-технической программы в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений на 2021–2030 годы. Соглашение № 169-03-2024-072.

ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НОВЫХ ДИСКРЕТНЫХ УРАВНЕНИЙ ПЕРЕНОСА ТЕПЛА И СОЛИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЦИРКУЛЯЦИИ ЧЕРНОГО МОРЯ

С. Г. Демышев, О. А. Дымова ✉

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *olgdymova@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: моделирование, адвективный перенос, температура, соленость, данные наблюдений.

Для реконструкции трехмерных гидрофизических полей морей и океанов широко используются численные модели дина-

мики морской среды. Достоверность результатов расчетов зависит, в том числе, и от свойств разностных схем, на основе которых строятся модели циркуляции. Одним из методов уменьшения ошибки моделирования, особенно при длительных интервалах интегрирования, является построение и использование разностных схем, удовлетворяющих законам сохранения, т. е. связанных с инвариантностью системы дискретных уравнений. Уравнение адвекции является гиперболическим и обладает бесконечным числом инвариантов, что делает его важным тестом для анализа инвариантных разностных схем, то есть схем, обладающих дискретными законами сохранения.

В работе представлена новая схема аппроксимации адвективных слагаемых в уравнениях переноса тепла и соли, обеспечивающая наличие таких нелинейных дискретных инвариантов системы уравнений динамики океана, как температура и соленость в любой целой степени больше двух. Новая аппроксимация дает возможность независимо от друг друга использовать схемы, обеспечивающие сохранение температуры в первой и в K-ой ($K > 2$), солености в первой и L-ой ($L > 2$) степени при уравнении состояния, имеющем вид полинома от температуры степени $N > 1$ и солености степени $M > 1$.

Тестирование новой схемы выполнено на примере моделирования циркуляции Черного моря при реалистичных атмосферных условиях 2016 г. на основе модели МГИ с разрешением 1,6 км. Проведено сравнение гидрофизических полей, полученных с использованием новой и традиционной схем. Анализ показал, что для Черного моря новая схема более корректно работает в зоне интенсивных вертикальных градиентов, обусловленных эволюцией сезонного термоклина и постоянного галоклина. Получено, что термоклин обостряется, уменьшается глубина его залегания, уменьшается толщина холодного промежуточного слоя, уменьшается глубина залегания верхней границы постоянного галоклина. Валидация результатов экспериментов по данным натурных наблюдений показала, что при использовании новой схемы ошибка моделирования полей температуры и солености уменьшается.

Результаты анализа динамики и энергетики циркуляции демонстрируют, что трансформация полей плотности приводит

к изменению структуры течений: увеличению кинетической энергии в верхнем 75-метровом слое в весенне-летний период за счет интенсификации Основного Черноморского течения и к увеличению доступной потенциальной энергии в слое галоклина за счет более корректного воспроизведения горизонтальных градиентов солености между периферией бассейна и глубоководной частью. Анализ вертикальной компоненты скорости течений показал, что при использовании новой схемы в западной части моря (где наблюдалась наибольшая разница между результатами моделирования полей температуры) уменьшается изменчивость вертикальной скорости на периодах 2–3 суток, которые характерны для субмезомасштабных процессов, и увеличивается на периодах около 10 сут, что соответствует нижней границе мезомасштабного диапазона.

Исследование выполнено в рамках темы госзадания «Океанологические процессы» № FNNN-2024-0001.

РОЛЬ АТМОСФЕРЫ В ТЕПЛОВОМ БАЛАНСЕ ПОВЕРХНОСТИ ПЕЧОРСКОГО МОРЯ

Д. В. Дешова ✉, С. М. Гордеева

РГГМУ, Санкт-Петербург, Россия
✉*ya.deshova-diana@yandex.ru*

Ключевые слова: взаимодействие с атмосферой, Печорское море, тепловой баланс, физика океана.

Одним из подходов к исследованию любого бассейна является балансовый метод. В ранних исследованиях для Печорского моря были оценены водный, тепловой и солевой балансы. В данной работе целью явилась оценка вклада отдельных характеристик атмосферы в тепловой баланс поверхности Печорского моря.

На основе среднемесячных данных реанализа ECMWF ERA5 службы Copernicus за период 1993–2018 гг. для поверхности Печорского моря (границы: по долготе 50° в. д. на западе, по широте

71° с. ш. на севере и в проливе Карские Ворота) оценены атмосферное давление, температура поверхности моря, скорость ветра и составляющие теплообмена с атмосферой (коротковолновое и длинноволновое излучения, скрытый и явный турбулентные потоки тепла). Рассматривались отдельно холодное (октябрь – март) и теплое полугодия (апрель – сентябрь).

Все рассматриваемые параметры Печорского моря за период 1993–2018 гг. имеют выраженные тренды. Все составляющие теплообмена с атмосферой в оба периода года значимо повышаются. Суммарная теплоотдача с поверхности моря в зимний период увеличивается сильнее (0,13 ТВт/год), чем в летний (0,01 ТВт/год). Тренды температуры поверхности моря в холодное и теплое полугодия положительны (0,06 и 0,13 °С/год). Тренды в атмосферном давлении и скорости ветра статистически не значимы.

Таким образом, в регионе выявлен значительный рост теплоотдачи в атмосферу с поверхности акватории, что объясняется потеплением поверхности моря, как адвективным, так и местным, так как количество солнечной радиации, приходящей на поверхность акватории, значительно увеличивается, особенно летом (0,08 ТВт за год).

Для выявления вкладов компонентов теплового баланса поверхности моря и атмосферных параметров в процесс взаимодействия атмосферы с Печорским морем рассматривалась множественная линейная регрессия (МЛР), в которой зависимым параметром послужил остаточный поток тепла, определяемый, как разность между поступающими и уходящими адвективными потоками тепла через границу региона. Для оценки вкладов выполнялась пошаговая процедура методом включения переменных.

Остаточный поток тепла на акватории Печорского моря в полугодовом усреднении не очень сильно связан с компонентами теплового баланса и атмосферными параметрами, в холодное полугодие дисперсия зависимого ряда описывается лишь на 40 %, а в летний период – на 33 %. В холодное время взаимодействие поверхности моря и атмосферы определяют атмосферное давление (18 %) и скорость ветра (13 %), так что при повышенном теплосодержании моря атмосферное давление низкое, а скорость

ветра велика, что может отражаться и на следующем по величине вклада (4 %) компоненте теплового баланса – скрытом турбулентном потоке тепла (затратах тепла на испарение): этот поток увеличен. В теплое время года вклад компонентов теплового баланса и атмосферных параметров другой: преобладает скрытый турбулентный поток тепла (14 %) и солнечная радиация, приходящая на поверхность (8 %), причем высокое теплосодержание моря сопровождается нагревом поверхности моря солнечной радиацией и увеличением испарения.

В целом малая связь остаточного теплового потока с компонентами теплового баланса и атмосферными параметрами может быть связана с тем, что эти характеристики, по сути, имеют синоптический масштаб изменчивости и их влияние в полугодовом усреднении нивелируется их разнонаправленным действием.

ЧИСЛЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО МОДЕЛИРОВАНИЮ ДЛИННЫХ ВОЛН В СИСТЕМЕ СВЯЗАННЫХ БУХТ

С. В. Довгая ✉, Ю. В. Манилюк, В. В. Фомин, Д. И. Лазоренко

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *dovgayasvetlana0309@yandex.ru*

Ключевые слова: уравнения Буссинеска, численная модель FUNWAVE, связанные бухты, сейши.

При изучении динамики вод у морских берегов представляют интерес колебания в системах связанных бухт. Целью данной работы является численное моделирование возбуждения длинных волн и процессов свободных колебаний в двух смежных бухтах и сопоставление полученных результатов с результатами экспериментов, проведенных в лабораторной установке (Nakano M., Fujimoto N., 1987). В работе использовалась численная гидродинамическая модель Fully Nonlinear WAVE model (FUNWAVE),

которая основана на решении нелинейных уравнений Буссинеска.

Проведенные численные эксперименты состояли из двух этапов. На первом этапе моделировались вынужденные колебания, возбуждаемые возмущением, представляющим собой последовательность набегающих синусоидальных волн, перпендикулярных входам в бухты. На втором этапе моделировались свободные колебания, имеющие место после прекращения действия возмущения. Длительность действия возмущения и интервала свободных колебаний составила 280 с. На всех твердых границах бассейна использовалось условие непротекания. Проведены две серии численных экспериментов. Первая серия посвящена исследованию колебаний, возбуждаемых возмущениями с резонансными периодами (указанными в работе по лабораторному эксперименту): 2,57 с – период противофазных колебаний; 3,08 с – период синфазных колебаний; 2,67 с – собственный период одной бухты; а также 2,22 с – теоретическое значение периода моды Гельмгольца. Во второй серии проведены расчеты колебаний в бухтах, вызываемых возмущениями с периодами, соответствующими наиболее энергонесущим периодам, установленным на основе первой серии численных экспериментов.

В первой серии численных экспериментов установлено, что, в зависимости от периода возмущений, имеют место разные виды выхода колебаний на стационарный режим. При этом в процессе установления колебаний их амплитуда может монотонно возрастать (период возмущения 2,57 с) либо, возрастая, достигает определенного уровня и начинает убывать (периоды возмущений 2,22 и 3,08 с). Причем, когда возмущение имеет период 3,08 с, после окончания переходного процесса амплитуда колебаний уровня уменьшается более чем в два раза. Анализ энергетических спектров колебаний уровня показал, что периоды 2,57; 2,67; 3,08 с не являются резонансными для рассматриваемой модельной области. Наибольшая энергия колебаний имеет место на периодах 2,81; 3,16 и 3,62 с. Для них, во второй серии расчетов, пик в энергетических спектрах имеет место на резонансных периодах, отвечающих периодам их генерации. Во второй серии численных экспериментов свободные колебания уровня, вызванные

возмущением с периодом, равным 2,81 с, соответствующим периоду противофазных колебаний для этой системы двух бухт, сопровождаются биениями. Аналогичная картина была зарегистрирована в лабораторных экспериментах. Когда период возмущения соответствует периоду синфазных колебаний системы, биения не наблюдаются как в лабораторном, так и в численном экспериментах. В численном эксперименте с возмущением, имеющим период, равный 2,81 с, в бухтах возникали синфазные колебания, затем появлялись биения, и фаза взаимных колебаний начинала сдвигаться. Но «чистых» противофазных колебаний в численном эксперименте (в отличие от лабораторного) получить не удалось, причем с течением времени фазы колебаний снова сблизились.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ № FNNN-2024-0016 (шифр «Прибрежные исследования»).

ОЦЕНКА ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПОТОКОВ ВЗВЕШЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ЧЕРНОМ МОРЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В. Л. Дорофеев, Л. И. Сухих ✉

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *l.sukhikh@gmail.com*

Ключевые слова: карбонатная система, взвешенное органическое вещество, морская экосистема, Черное море, численное моделирование.

Карбонатная система морской воды играет важную роль в исследованиях экосистем океана и морей. При изучении карбонатной системы Черного моря большое значение имеют пространственное распределение, временная изменчивость и потоки взвешенного органического вещества (ВОВ). Целью данной работы является оценка этих параметров на основе численного моделирования.

Одним из основных направлений исследования вертикального распределения ВОВ и его временной изменчивости является анализ проб взвеси, взятых с помощью стационарных седиментационных ловушек, установленных в отдельных точках акватории Черного моря. Для того чтобы экстраполировать полученные данные на всю акваторию моря, необходимо знать закономерности пространственно-временной изменчивости распределения ВОВ. Для этого полезно использовать численные трехмерные модели морской среды, которые могут дать временную эволюцию и пространственное распределение интересующего параметра на регулярной сетке.

В представленной работе на основе численных моделей исследуется распределение и вертикальные потоки ВОВ. Для оценки этих параметров в верхнем 200-метровом слое используется модель нижнего уровня пищевой цепи экосистемы Черного моря. Чтобы расширить исследование на всю толщу Черного моря, была разработана модель, состоящая из уравнения эволюции концентрации ВОВ в слое от 200 м до дна. В качестве коэффициентов этого уравнения и уравнений модели экосистемы используются гидродинамические и термодинамические поля, являющиеся результатами выполненного ранее реанализа.

Был выполнен расчет по модели на 5 лет с 2016 по 2020 г., получены концентрации и вертикальные потоки взвешенного органического вещества на регулярной сетке с дискретностью по времени в 1 сут. Потоки взвешенного органического углерода, полученные по результатам численного моделирования, сравнивались с результатами обработки проб, отобранных с помощью седиментационных ловушек в двух точках Черного моря. Результаты моделирования показали довольно хорошее качественное и количественное соответствие с результатами измерений.

По результатам моделирования показано, что за счет биологических процессов концентрация взвешенной органики в приповерхностном слое Черного моря существенно выше, чем в глубоководном слое. Величина вертикальных потоков взвешенной органики в приповерхностном слое определяется главным образом концентрацией взвеси, а в глубоководном слое – величиной вертикальной скорости. Этот вывод подтверждается картами распределения средних концентраций, потоков ВОВ и вертикальной

скорости для горизонтов 30 и 1200 м. При этом пространственное распределение потока ВОВ даже на горизонте 30 м может заметно коррелировать с распределением вертикальной скорости.

На основе результатов моделирования был оценен поток углерода из толщи воды на дно как результат оседания взвешенного вещества. Основная часть этого потока приходится на шельфовую зону моря.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ по теме FNNN-2023-0001 «Углерод».

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЙ ЧЕРНОМОРСКИЙ ШТОРМ В НОЯБРЕ 2023 ГОДА

В. А. Дулов [1] ✉, **М. В. Юровская** [1], **В. В. Фомин** [1], **М. В. Шокуров** [1], **Ю. Ю. Юровский** [1], **В. С. Барабанов** [1], **А. В. Гармашов** [1], **О. Т. Каменев** [2]

[1] *МГИ, Севастополь, Россия*
[2] *ИАПУ ДВО РАН, Владивосток, Россия*
✉ *dulov@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: природные катастрофы, экстремальный шторм, Черное море, ветровые волны, атмосферная модель WRF, волновая модель SWAN, морские натурные данные, спутниковые волновые альтиметры, волновой скаттерометр CFOSAT SWIM, океанографическая платформа.

Выполнено углубленное описание экстремального шторма на Черном море в ноябре 2023 г. в терминах характеристик полей ветра и волн на основе модельных расчетов, спутниковых данных и натурных измерений.

Расчет атмосферных полей был выполнен с помощью модели WRF, расчет волновых полей – с помощью модели SWAN. Представлено подробное описание поля ветра и волновых полей, их развитие при шторме. Исследовано явление затенения волн Крымским полуостровом. С использованием доступных данных на период шторма результаты расчетов сопоставлены с данными спутниковых альтиметров, волнового скаттерометра CFOSAT SWIM и радаров с синтезированием апертуры. Представлены данные контактных измерений, проведенных в период шторма

штатным оборудованием с океанографической платформы Черноморского гидрофизического подспутникового полигона Морского гидрофизического института РАН в прибрежной зоне Южного берега Крыма. Расчет характеристик волн вблизи океанографической платформы сделан методом вложенных сеток.

Получено, что при шторме в ноябре 2023 г. в Черном море максимальные высоты волн и максимальные периоды волн превышали 9 м и 13 с соответственно. Показано, что результаты расчетов подтверждаются большим объемом спутниковых данных. Расчет характеристик волн вблизи океанографической платформы согласуется с контактными измерениями с платформы. Поскольку использованные конфигурации моделей позволили получить поля физических характеристик волн с высокой степенью достоверности, их можно применять для надежного прогноза экстремальных штормов в Черном море. Затенение волн Крымским п-овом привело к понижению в два и более раза высоты экстремальных волн в протяженной прибрежной акватории от южной оконечности полуострова до м. Чауда (35,8° в. д.).

Работа выполнена в рамках проекта Минобрнауки России № 075-15-2024-642 «Исследование процессов и закономерностей возникновения, развития и трансформации катастрофических явлений в океанах и на континентах методами сейсмоакустического мониторинга».

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТА БЕРИЛЛИЯ-7 В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

О. А. Дымова ✉, Н. А. Евстигнеева

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *olgdymova@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: моделирование, бериллий-7, концентрация, прибрежная зона, данные наблюдений.

Построен программный код для моделирования циркуляции и транспорта бериллия-7 с разрешением 1,6 км для всего бассейна и с разрешением 560 м для прибрежной зоны (расчетная

область покрывает весь Российский сектор Черного моря). Для расчета динамики вод и переноса радионуклида используется бассейновая версия модели Морского гидрофизического института и три региональных версии модели с открытыми границами (области северо-западного шельфа, побережья Южного берега Крыма и побережья Северного Кавказа). Обмен данными между бассейновой и региональными моделями осуществляется с использованием технологии вложенных сеток на базе отечественной программной платформы Compact Modelling Framework ver. 3.3.

Проведен тестовый численный эксперимент по моделированию транспорта бериллия-7 летом 2016 г. При проведении расчета использовались данные атмосферного реанализа ERA5, проводилось усвоение спутниковой температуры поверхности моря, а также профилей температуры и солености (база данных ARGO, Банк океанографических данных МГИ). Учитывался поток радионуклида из атмосферы и его осаждение на взвеси.

Валидация полей концентрации проведена по данным натурных измерений активности бериллия-7, полученных в экспедиционных исследованиях на НИС «Профессор Водяницкий». Сопоставление полей концентрации показало, что данные моделирования качественно соответствуют друг другу и натурным измерениям как для всего бассейна, так и для прибрежных областей. Получено, что повышенные концентрации бериллия-7 у берегов Крыма в июле 2016 г. наблюдаются во всех результатах моделирования и обусловлены адвективным переносом вещества Основным Черноморским течением из юго-восточной части моря. Очаги максимальных значений концентрации по сравнению со средней по слою концентрацией обнаружены в районах побережья Кавказа и устья Днепра и связаны с интенсивным поступлением радионуклида с осадками.

Наибольшие различия между концентрациями бериллия-7 по данным бассейновой и региональных моделей выявлены 19 июля 2016 г. в районе мыса Сарыч (Крым). В это время, по натурным данным, концентрация радионуклида резко снизилась с 10 до 4,6 Бк/м^3. Как показала валидация, модельные концентрации по

данным региональных моделей Южного берега Крыма и Северо-западного шельфа находятся в пределах погрешности измерений 25 %, в отличие от бассейновых данных. Анализ модельных термохалинных полей указывает на то, что снижение концентрации было связано с развитием прибрежного апвеллинга, слабо выраженного в бассейновой модели.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 22-77-10056.

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И СОЛЕНОСТИ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В МОДЕЛИ РАЗНОСТНЫХ СХЕМ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ АДВЕКЦИИ, ОБЛАДАЮЩИХ ИНВАРИАНТАМИ СТЕПЕНИ ВЫШЕ ДВУХ (НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧЕТЫРЕХМЕРНОГО УСВОЕНИЯ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ)

Н. А. Евстигнеева ✉, С. Г. Демышев

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *naevstigneeva@yandex.ru*

Ключевые слова: численное моделирование, ассимиляция данных наблюдений, среднеквадратические ошибки оценок полей температуры и солености.

В работе выполнена оценка точности воспроизведения температуры и солености в прибрежной зоне Черного моря при использовании в гидродинамической модели разностных схем для уравнения адвекции температуры и солености, обладающих инвариантами степени выше двух на основе результатов четырехмерного усвоения данных наблюдений гидрологической съемки 2007 г. в области Черного моря, включающей западное побережье Крыма и г. Севастополь (~ 1,6 км по горизонтали и 30 горизонтов по вертикали).

Была проведена серия численных расчетов, которые отличались разностными схемами аппроксимации уравнений адвекции

температуры и солености. В первом – использовалась «традиционная» схема, которая обеспечивала сохранение $T_{i,j,k}$, $T^2_{i,j,k}$, $S_{i,j,k}$, $S^2_{i,j,k}$, в остальных – $T_{i,j,k}$, $T^3_{i,j,k}$, $S_{i,j,k}$, $S^3_{i,j,k}$, $T_{i,j,k}$, $T^4_{i,j,k}$, $S_{i,j,k}$, $S^4_{i,j,k}$, $T_{i,j,k}$, $T^5_{i,j,k}$, $S_{i,j,k}$, $S^5_{i,j,k}$ соответственно.

Расчеты проводились на горизонтальной сетке ~ 1,6 × 1,6 км, по вертикали использовалось 30 вертикальных слоев от 1 м до 1200 м. Шаг по времени 30 с. На поверхности моря каждые сутки задавались поля тангенциального напряжения трения ветра, потоки тепла, коротковолновой радиации, осадков и испарения, полученные по атмосферной модели ALADIN. Турбулентная вязкость и диффузия по горизонтали выбраны в виде гармонического оператора, по вертикали использовалась аппроксимация Филандера – Пакановского. В качестве процедуры усвоения данных натурных наблюдений использовалась методика алгоритма фильтра Калмана. Период интегрирования уравнений модели – 10 дней (с 14 по 24 сентября 2007 г.). Усвоение проводилось раз в сутки: 16 сентября – 3, 17 сентября – 7, 18 сентября – 8, 19 сентября – 7, 20 сентября – 4 и 22 сентября – 15 станций.

При сравнении модулей среднеквадратических ошибок оценок полей температуры и солености, полученных в экспериментах, основные отличия были получены в слое скачка.

В расчетный период ошибки в поле температуры в слое воды 25–30 м в эксперименте с $T_{i,j,k}$, $T^3_{i,j,k}$, $S_{i,j,k}$, $S^3_{i,j,k}$ уменьшились на 3 %, в эксперименте с $T_{i,j,k}$, $T^4_{i,j,k}$, $S_{i,j,k}$, $S^4_{i,j,k}$ – на 5%, в эксперименте с $T_{i,j,k}$, $T^5_{i,j,k}$, $S_{i,j,k}$, $S^5_{i,j,k}$ – на 8% по сравнению с «традиционной» схемой. В расчетный период ошибки в поле солености в слое воды 25–30 м в эксперименте с $T_{i,j,k}$, $T^5_{i,j,k}$, $S_{i,j,k}$, $S^5_{i,j,k}$ уменьшились на 2 % по сравнению с «традиционной» схемой.

Таким образом, применение модели с набором нелинейных инвариантов, позволило несколько уменьшить ошибку прогноза и более точно воспроизвести структуру пикноклина. Такие небольшие различия в результатах численных экспериментов по расчету прибрежной циркуляции, восстановленной в результате ассимиляции данных наблюдений, свидетельствуют о корректности аппроксимаций уравнений адвекции тепла и соли, обладающие двумя инвариантам (T в первой и n-ой степени, S в первой и m-ой степени.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда 23-27-00141.

ГЛУБОКОЕ ПРОНИКАЮЩЕЕ ОХЛАЖДЕНИЕ В ЧЕРНОМ МОРЕ КАК РЕАКЦИЯ НА ВТОРЖЕНИЯ ХОЛОДНОГО ВОЗДУХА В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

В. В. Ефимов, Д. А. Яровая ✉

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *darik777@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: вторжения холодного воздуха, экстремальное охлаждение, совместное моделирование море – атмосфера, NOW, Черное море, реанализ Copernicus.

Рассмотрена реакция верхнего слоя Черного моря и, в частности, холодного промежуточного слоя (ХПС) на интенсивное ветровое воздействие во время зимних вторжений холодного воздуха (ВХВ). С использованием данных атмосферного реанализа ERA5 и морского реанализа Copernicus получены совместные распределения скорости приводного ветра и изменения температуры воды на разных глубинах для периода 2000−2020 гг. Показано, что временной масштаб реакции моря на такие экстремальные явления составляет около 2 сут и влияние ВХВ распространяется на достаточно большие глубины, до 60−70 м.

При помощи совместной мезомасштабной модели море – атмосфера исследованы механизмы охлаждения верхнего слоя на примере ВХВ 23−25 января 2010 г. Проведены два численных эксперимента, в которых ослабили взаимодействие море – атмосфера: в эксперименте 1 отключили потоки явного и скрытого тепла от поверхности моря в атмосферу, в эксперименте 2 отключили напряжение трения ветра на поверхности моря. Показано, что основной причиной понижения температуры верхнего перемешанного слоя было охлаждение поверхности моря за счет потоков тепла. При этом механизмом глубокого, проникающего в пикноклин охлаждения являлось вертикальное турбулентное перемешивание, вызванное обрушением ветровых волн и сдвиговой неустойчивостью. В эксперименте 1 понижение температуры было незначительным и произошло в основном из-за вовлечения

более холодной воды из ХПС через нижнюю границу перемешенного слоя. В эксперименте 2 понижение температуры было почти таким же, как и в основном расчете. Показано, что отключение напряжения трения ветра изменило характер турбулентного перемешивания в верхнем квазиоднородном слое: чтобы скомпенсировать значительное уменьшение интенсивности турбулентных вихрей и обеспечить тот же вертикальный поток тепла, что и в основном расчете, вертикальный масштаб вихрей увеличился.

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ГИС ДЛЯ АНАЛИЗА СКОРОСТЕЙ ДРЕЙФА БУЕВ ARGO НА ПРИМЕРЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

Е. В. Жук ✉, Н. В. Маркова, В. Н. Белокопытов

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *elena.zhuk@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: ГИС, база данных, Argo, температура, соленость, течения, онлайн-доступ.

Представлены этапы разработки, реализации и использования геоинформационной системы (ГИС) для онлайн-доступа и оперативного анализа данных буев Argo в Черном море. Система дополняет сервисы проекта Argo и позволяет пользователю без обязательного скачивания данных проводить экспресс-анализ параметров морской среды, наблюдения которых проводятся с помощью автономных дрейфующих буев-профилемеров, а также их производных характеристик.

На данном этапе реализации ГИС доступна для использования в онлайн-режиме по ссылке http://bod-mhi.ru/ff/. Она работает с находящимися в открытом доступе данными наблюдений Argo с 2005 по 2022 г. о температуре и солености, а также с данными о скоростях буев, рассчитанных на глубинах их дрейфа. Скорости дрейфа вычисляются на основе данных о траекториях буев согласно их спутниковому позиционированию и метаданных о глубине дрейфа.

ГИС предоставляет возможность картографической визуализации траекторий и скоростей буев в акватории Черного моря, отрисовки профилей температуры и солености на выбираемых пользователем станциях, статистической оценки данных наблюдений за определенный временной интервал, в заданном регионе моря и/или слое по глубине (для скоростей дрейфа). Приводятся конкретные примеры применения системы для оценки гидрофизических параметров.

Разработанная ГИС может быть дополнена новыми модулями, использована для работы с массивами океанографических данных из других источников, а также адаптирована для других регионов Мирового океана.

Работы по разработке и реализации ГИС выполнялись в рамках тем Государственного задания FNNN-2024-0012 «Оперативная океанология», FNNN-2024-0014 «Взаимодействие океана и атмосферы» и FNNN-2023-0001 «Углерод». Оценки особенностей поля скорости с использованием ГИС проводились в рамках темы госзадания FNNN-2024-0001.

БАНК ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ МГИ: РАЗРАБОТКА НОВЫХ И РАЗВИТИЕ РАНЕЕ СОЗДАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОДУКТОВ

Е. В. Жук, Т. В. Пластун, А. В. Ингеров, Е. А. Годин ✉, М. П. Вецало, Л. К. Галковская, Е. А. Исаева, Т. Е. Касьяненко

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *bod@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: информационные продукты, базы данных, ГИС, веб-сайт.

В группе БОД МГИ в рамках национальных и международных программ и проектов накоплен значительный опыт в разработке и создании морских информационных продуктов. Работы в этом направлении продолжаются и в настоящее время.

Формирование баз и банков океанографических данных остается важнейшим направлением деятельности БОД МГИ. В последние годы базы данных пополняются в результате экспедиционных исследований ФГБУН ФИЦ МГИ, сотрудничества с ведущими океанографическими организациями России и привлечения данных из открытых источников. На сегодняшний день база данных «Черное море» включает более 166 тыс. гидрологических и около 47 тыс. гидрохимических станций, а также данные наблюдений течений – свыше 5000 ADCP профилей и 120 буйковых постановок.

В соответствии с поставленными задачами формируются специализированные базы данных для отдельных районов Мирового океана. Ведутся работы по совершенствованию программных средств контроля качества, доступа и визуализации океанологических данных.

В соответствии с существующими реалиями актуальной стала задача перехода от программного обеспечения и соответствующих сервисов, происходящих из недружественных стран, к свободно распространяемым версиям и отечественному программному обеспечению. В БОД МГИ такая задача была решена при создании программного продукта «Фотоберега», предназначенного для визуализации, систематизации и каталогизации изображений берегов, и реализации его специализированной версии – информационно-поисковой системы «ФотоБерега Крыма».

На основе свободно распространяемого программного обеспечения разработана на базе клиент-серверной архитектуры web ГИС для доступа к данным буев-профилимеров Argo и их визуализации (доступная по ссылке http://bod-mhi.ru/ff//). Система включает данные для Черного моря из открытых источников за 2005–2022 гг. Для хранения данных разработана БД с использованием СУБД Postgresql. Пользовательский интерфейс позволяет осуществлять выборку и визуализацию данных, расчет лагранжевых скоростей в слоях дрейфа буев Argo, а также расчет статистических характеристик.

Ранее созданные в БОД сайты – «БОД МГИ» (http://bod-mhi.ru) и «Морские берега Крыма» (http://coast-crimea.ru/) про-

должают насыщаться новой информацией и развиваться как в части совершенствования их структуры, так и в части предоставления новых возможностей пользователям.

В настоящее время в БОД МГИ начаты исследовательские работы по применению методов машинного обучения для обработки данных океанологических измерений. В частности, ведется разработка экспериментального комплекса программных средств с использованием глубоких нейронных сетей для проведения анализа данных наблюдений буев ARGO и выявления особенностей гидрофизических полей Черного моря.

Создаваемые в БОД МГИ информационные продукты не только используются при проведении научных исследований, но и востребованы при осуществлении практической деятельности.

Указанные выше работы выполнялись в рамках государственных заданий по темам FNNN-2024-0012 «Оперативная океанология», FNNN-2024-0016 «Прибрежные исследования» и FNNN-2024-0014 «Взаимодействие океана и атмосферы».

ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ ТЕПЛОЗАПАС ДЕЯТЕЛЬНОГО СЛОЯ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ НА ПОЛИГОНЕ «ГЕЛЕНДЖИК» И ЕГО ОЦЕНКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАЗ ДАННЫХ РАЗЛИЧНЫХ АТМОСФЕРНЫХ РЕАНАЛИЗОВ

А. Г. Зацепин ✉, О. И. Подымов, К. П. Сильвестрова, Ю. В. Мурзакова

ИО РАН, Москва, Россия
✉ *zatsepin@ocean.ru*

Ключевые слова: Черное море, полигон «Геленджик», данные многолетних CTD-зондирований, относительный теплозапас деятельного слоя, расчеты по данным реанализов.

На основе анализа данных многолетних (2010–2023 гг.) CTD-зондирований, выполняемых ежегодно на полигоне «Геленджик»

(ИО РАН) на мониторинговом разрезе, для станции над глубиной 500 м рассчитано относительное теплосодержание (теплозапас) деятельного слоя моря и его изменение в теплый период года (с апреля по октябрь). За деятельный слой (ДС) принималась область изменения температуры вод по вертикали от поверхности моря до изотермы 9 °С. Относительный теплозапас (далее – теплозапас) ДС рассчитывался интегрированием распределений температуры по вертикали за вычетом 9 °С. Чтобы обеспечить расчеты данными измерений, проводилось их осреднение по 10-суточным интервалам (декадам), включающим данные всех рассматриваемых годов. Такой подход редуцировал влияние синоптической изменчивости профилей температуры. Кроме того, чтобы уменьшить случайные флуктуации, выполнялось сглаживание расчета теплозапаса скользящим средним по пяти декадам. Многолетний тренд температуры ДС не выявлялся и не учитывался.

Выявлен рост теплозапаса ДС с апреля по конец июля. В августе теплозапас не изменялся, но тепло перераспределялось между верхним квазиоднородным слоем (ВКС) и сезонным термоклином (СТ) в пользу первого. В сентябре – октябре теплозапас ДС уменьшался. При этом наиболее быстро убывал теплозапас СТ, в том числе за счет уменьшения его толщины, а теплозапас ВКС частично поддерживался благодаря увеличению его толщины за счет вовлечения вод термоклина.

Выполнены расчеты виртуального теплозапаса ДС с использованием баз данных реанализов ERA-5, NCEP CFSv2 (часовые данные всех компонентов суммарного потока тепла) и проекта WHOI «OAflux» (суточные данные потока явного и скрытого тепла за 2012–2023 гг). При этом выбирались узлы сеток в районе полигона «Геленджик» в зоне континентального склона моря. Рассчитывался суммарный поток тепла через границу вода – воздух, усреднявшийся подекадно.

Установлено, что подекадно усредненный суммарный поток тепла является положительным (море нагревается) начиная с третьей декады марта. При этом температура поверхностного слоя воды приблизительно равна 9 °С, что подтверждает правильность выбора данной изотермы в качестве базиса для оценки изменения

относительного теплосодержания ДС в теплый период года. Суммарный поток тепла, согласно данным NCEP CFSv2, достигает максимума в первой декаде мая, затем с первой декады июня он медленно убывает и становится отрицательным в сентябре.

Интегрирование суммарного потока тепла по времени позволяет оценить виртуальный относительный теплозапас ДС по данным реанализа. Показано, что наиболее близкий к реальному результат дает расчет теплозапаса ДС с использованием базы данных NCEP, тогда как использование базы данных ERA 5 приводит к более чем двукратному занижению теплозапаса. Планируется использовать базу данных NCEP CFSv2 для текущих расчетов теплозапаса ДС в теплый период года и сопоставлять его с данными измерений.

Работа выполнена в рамках темы госзадания FMWE-2023-0016 и при поддержке гранта РНФ № 23-17-00056.

ПРОФИЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ В ДЕЯТЕЛЬНОМ СЛОЕ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ НА ПОЛИГОНЕ «ГЕЛЕНДЖИК» В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД ГОДА И ЕГО ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ АТМОСФЕРНОГО РЕАНАЛИЗА

А. Г. Зацепин ✉, О. И. Подымов, К. П. Сильвестрова, Ю. В. Мурзакова

ИО РАН, Москва, Россия
✉ *zatsepin@ocean.ru*

Ключевые слова: Черное море, полигон «Геленджик», многолетние CTD-зондирования в апреле – октябре, профиль температуры в деятельном слое, его параметризация с использованием данных атмосферного реанализа.

Одной из проблем описания термической структуры деятельного слоя (ДС) Черного моря в теплый период года является ее сильная изменчивость на масштабе времени от нескольких минут (под влиянием короткопериодных внутренних волн) до десятка суток (под влиянием ветрового воздействия и вихревой динамики

вод). Вместе с тем представляет интерес оценить «среднее» состояние этой структуры на десятисуточном (декадном) масштабе времени, ее внутрисезонную и сезонную изменчивость. Знание декадно-усредненного профиля температуры в ДС позволит оценивать величину отклонения измеренного профиля температуры от среднего и связывать с этим отклонением, например, аномалии вертикального обмена парниковыми газами или первичной продуктивности вод. В данном исследовании также предложены параметризации декадно-усредненного температурного профиля с использованием потоков плавучести и турбулентной энергии через границу воздух – вода, рассчитанные по данным реанализов ERA5 и NCEP CFSv2.

На основе анализа данных многолетних (2010-2023 гг.) CTD-зондирований, выполняемых ежегодно на полигоне «Геленджик» (ИО РАН) на мониторинговом разрезе, для станции над глубиной 500 м рассчитаны декадно-осредненные профили температуры ДС и описаны их временные изменения в теплый период года (с апреля по октябрь). При этом за ДС принималась область изменения температуры воды по вертикали от поверхности моря до изотермы 9 °C. ДС представлялся как двуслойная структура, состоящая из верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) и сезонного термоклина (СТ). ВКС и СТ находятся во взаимодействии, обусловленном различными физическими процессами, и эволюционируют во времени в зависимости от термического и динамического воздействия атмосферы.

Установлено, что в период интенсивного прогрева моря и умеренного ветрового воздействия (май – июнь) толщина ВКС является квазистационарной и пропорциональной масштабу Монина – Обухова (1954). Ослабление прогрева и усиление ветрового воздействия (июль – первая половина августа) приводит к увеличению толщины ВКС за счет турбулентного вовлечения воды из СТ. Этот процесс заметно усиливается, когда поток тепла (плавучести) становится отрицательным (море остывает). Вследствие этого ВКС постепенно поглощает СТ. Эволюция ВКС на этой стадии описывается с помощью модифицированной модели, основанной на результатах лабораторного эксперимента Като – Филлипса (1969).

Вертикальная структура СТ в безразмерном виде представляется с помощью универсальной степенной функции по примеру того, как это делалось в работах других авторов. Показана удовлетворительная применимость данного представления для достаточно протяженного периода времени (май – октябрь). Благодаря параметризации СТ и расчету его изменчивости от декады к декаде за счет вертикального потока тепла, удалось рассчитать и построить «среднедекадные» профили коэффициента вертикальной турбулентной диффузии.

Работа выполнена в рамках темы госзадания FMWE-2023-0016 и при поддержке гранта РНФ №23-17-00056.

ВАЖНОСТЬ ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРИЛИВНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ПРОЛИВАХ КУРИЛЬСКОЙ ГРЯДЫ

В. И. Ильин ✉, В. С. Архипкин

МГУ, Москва, Россия
✉ *vsevolod_ilin@mail.ru*

Ключевые слова: Курильская гряда, ветер, приливы, приливные течения, проливы.

Курильская гряда – район, в котором происходит взаимодействие Тихого океана и Охотского моря. Данный регион является значимой экономической зоной для России, богатой биологическими ресурсами и полезными ископаемыми.

Анализ имеющихся литературных источников по выбранной теме показал, что особенности приливных явлений в проливах Курильских островов недостаточно подробно изучены. Также необходимо отметить, что проведение натурных исследований в проливах затруднено сильными приливными течениями и большими перепадами глубин. Поэтому применение численного моделирования является одним из важных методов изучения особенностей приливной циркуляции вод в проливах.

Курильские острова находятся в зоне активного влияния полярного фронта, а также расположены на пути прохождения

сильных внетропических циклонов, поэтому для исследований приливных колебаний уровня и течений необходимо учитывать влияние ветра, так как ветер может оказывать сильное влияние на циркуляцию в проливах и в прибрежных зонах, где доминирующими считаются приливные факторы.

Цель работы – исследование особенностей приливных и ветровых колебаний уровня моря и течений в проливах Курильской гряды по данным численного моделирования, а также проведение оценки влияния ветра на приливные явления. В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи: 1) создание цифровой модели рельефа дна Курильских островов высокого разрешения; 2) подготовка массивов натурных данных по уровню моря в регионе; 3) адаптация модели ADCIRC к району исследования – построение расчетной сетки и выбор граничных условий, подготовка данных реанализа ERA5; 4) использование двухмерной версии модели ADCIRC для двух экспериментов (первый – только приливы, второй – приливы, ветровое напряжение и атмосферное давление); 5) сравнение результатов модели с натурными данными; 6) выявление особенностей приливных и ветровых колебаний уровня и течений в разных проливах Курильской гряды; 7) оценка влияния ветра на приливные явления.

При создании цифровой модели дна использовались навигационные карты и база батиметрических данных GEBCO-2022. В качестве граничных условий задавались приливные колебания уровня, которые рассчитываются в программе по гармоническим составляющим, взятым из глобальной модели приливов FES2014. Всего было использовано восемь гармоник: M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1.

Для проведения численных экспериментов с помощью модели ADCIRC была создана триангуляционная расчетная сетка, включающая Охотское море, северную часть Японского моря и прилегающие к Курильским островам акватории Тихого океана с изменяющимся шагом от 50 м у берега и в проливах до 10 км в открытом море.

По результатам построены карты фаз и амплитуд четырех приливных гармоник: M2, S2, O1, K1. Максимальные величины приливов достигаются во время сизигийного прилива, значения составляют ~ 2,5–3 м. Проведена оценка влияния ветра на

приливные колебания уровня. Максимальные аномалии, даже в сизигийную фазу прилива, достигают более 40 см.

Наибольшие значения скоростей течений в проливах Курил могут достигать 4,5 м/с. Самые большие значения скорости наблюдаются в проливах Крузенштерна, Фриза, Среднего. Разница осредненных по глубине скоростей течений между первым и вторым экспериментом достигает ~ 1 м/с.

Работа выполнена в рамках госзадания «Комплексные исследования современного состояния вод Мирового океана», номер ЦИТИС 121031900090-6.

СОБСТВЕННЫЕ И ИНДУЦИРОВАННЫЕ ПРИЛИВЫ В ЯПОНСКОМ МОРЕ

В. И. Ильин [1, 2] ✉, **В. С. Архипкин** [1], **И. П. Медведев** [2]

[1] *МГУ, Москва, Россия*
[2] *ИО РАН, Москва, Россия*
✉ *vsevolod_ilin@mail.ru*

Ключевые слова: Японское море, приливы, приливные течения.

Японское море является окраинным океаническим морем, которое связано с другими морями четырьмя проливами. Такое географическое расположение Японского моря обусловливает ряд примечательных приливных особенностей, например местоположение амфидромических точек в проливах. При этом взаимосвязь моря со смежными бассейнами способствует тому, что индуцированные приливы играют важную роль в формировании приливных движений.

Цель работы – оценить вклад собственных и индуцированных приливов в Японском море с помощью численной модели ADCIRC и изучить влияние проливов на прохождение индуцированных приливов. Для этого решались следующие задачи:

1) создание цифровой модели рельефа дна Японского моря;

2) подготовка модели ADCIRC для исследуемой акватории, что включает в себя построение расчетной сетки и подбор граничных условий;

3) проведение численных экспериментов на двухмерной версии ADCIRC – с включением и собственного, и индуцированного прилива; только с собственным и только с индуцированным приливом;

4) оценка вкладов индуцированного и собственного приливов в Японском море.

При создании цифровой модели дна использовалась база батиметрических данных GEBCO-2019. Как граничные условия задавались приливные колебания уровня, взятые из глобальной модели приливов FES2014. Использовались следующие восемь гармоник: M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1.

По данным моделирования была проведена оценка особенностей приливных колебаний уровня моря. Наибольшие колебания уровня отмечаются в крайних южных и северных районах моря. В средней части моря приливы становятся слабее.

Для оценки вклада влияния собственных и индуцированных приливов были построены карты фаз и амплитуд отдельно для гармоник M2, K1 и Mf для всех трех численных экспериментов. Также были выполнены эксперименты с закрытием отдельных проливов для изучения их влияния на приливные явления в Японском море.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 24-17-00313 и госзадания «Комплексные исследования современного состояния вод Мирового океана», номер ЦИТИС 121031900090-6.

ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А. О. Карпелянский ✉, А. И. Мизюк

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *akarpelyanskiy@mail.ru*

Ключевые слова: Северная Атлантика, мезомасштабные вихри, автоматическая идентификация вихрей, численное моделирование, NEMO.

В настоящей работе выполнен анализ характеристик мезомасштабных вихрей по результатам работы эксперименталь

ной прогностической системы Мирового океана, разрабатываемой в ФГБУН ФИЦ МГИ. Актуальность работы обусловлена необходимостью развития системы и последующим увеличением точности характеристик прогнозов.

В качестве данных для анализа кинематических характеристик и проверки эффективности работы алгоритма обнаружения вихревых структур использовались результаты численного моделирования для вод акватории северной части Атлантического Океана. Расчеты были проведены на основе модели циркуляции океана NEMO с пространственным разрешением конфигурации 1/4° (≈ 25 км). Период расчета составляет с января по декабрь 2022 г.

При выполнении исследований использован простой алгоритм для идентификации мезомасштабных вихрей на основе расчета параметра Окубо – Вейса и функционала библиотеки scikit-image, реализованный на языке программирования Python. Алгоритм позволяет по данным численного моделирования автоматически идентифицировать вихревые структуры и их кинематические характеристики, такие как площадь, радиус, положение центров и другие параметры, что позволило детально исследовать их структуру и поведение в отмеченной выше акватории.

В докладе представлены результаты предварительного анализа, который позволил построить гистограммы распределения вихрей (циклонов и антициклонов) по пространственным масштабам, изучить их сезонную изменчивость, а также выполнить сопоставление с аналогичными результатами, полученными по данным спутниковой альтиметрии.

Используемый алгоритм идентификации вихрей в дальнейшем планируется развить для создания процедуры отслеживания отдельных вихрей в разные моменты времени (трекинг), что позволит исследовать динамику трехмерных вихревых структур, выявить области их зарождения и диссипации.

ДОЛГОПЕРИОДНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОФИЗИЧЕСКОГО РЕЖИМА ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

А. А. Коник ✉, В. А. Рябченко, А. В. Исаев

ИО РАН, Москва, Россия
✉ *konikrshu@gmail.com*

Ключевые слова: Ладожское озеро, гидрофизический режим, климатические изменения, математическое моделирование.

Многолетняя изменчивость гидрофизических параметров, влияющая на биогеохимические характеристики вод, является важной составляющей гидрофизического режима Ладожского озера. До настоящего времени изменчивость гидрофизического режима озера анализировалась только в рамках конкретных короткопериодных задач с помощью как измерений *in situ*, так и модельных данных. Поэтому оценки долгопериодной изменчивости гидротермодинамики Ладожского озера имеют отрывочный характер и требуют уточнения в условиях меняющегося климата. Таким образом, целью данного исследования является оценка климатической изменчивости гидрофизического режима Ладожского озера на основе результатов численного моделирования.

Для воспроизведения гидрофизического режима за период с января 1981 г. по декабрь 2020 г. использовалась модель Массачусетского технологического университета MITgcm, настроенная на условия Ладожского озера по данным батиметрии, полученным Институтом озероведения РАН. В качестве параметризации подсеточных процессов вертикального перемешивания использовалась схема турбулентного замыкания TKE (пакет GGL90). Коэффициент горизонтальной турбулентной вязкости рассчитывался на основе параметризации Смагоринского, а коэффициент горизонтальной турбулентной диффузии задавался постоянным и равным 2 м^2/с. Решение модели осуществлялось на сферической сетке с шагом примерно 1 км по каждой из горизонтальных координат. По вертикали шаг от поверхности до гори-

зонта 40 м составлял 2 м, а от 40 м до дна – 5 м. В качестве граничных условий задавались атмосферные воздействия на основе данных реанализа ERA-5 и сток рек, впадающих в Ладожское озеро.

По результатам анализа численных экспериментов были выявлены особенности долгопериодной изменчивости гидрофизических характеристик Ладожского озера. Показано, что среднегодовая температура воды увеличилась на 0,5 °C за исследуемый период, причем увеличение поверхностной температуры в период биологического лета составило 1–1,5 °C, а увеличение его продолжительности – 12–15 дней. Увеличение продолжительности биологического лета происходит за счет смещения теплого периода на осень. Этот вывод подтверждается оценками времени прохождения весеннего термобара, для которого не выявлено статистически значимого смещения сроков его наступления как по результатам моделирования, так и по данным дистанционного зондирования. Гидродинамический режим в течение всего исследуемого периода сохраняет циклонический характер, но при этом происходит его интенсификация со временем как в поверхностных, так и в более глубоких слоях.

Анализ многолетней изменчивости динамики ледяного покрова показывает, что со временем сокращается период ледостава на озере, в первую очередь за счет более позднего начала ледообразования, что хорошо согласуется с данными натурных наблюдений.

Работа выполнена при поддержке грантов Российского научного фонда (проект № 23-17-20010) и Санкт-Петербургского научного фонда (проект № 23-17-20010).

ИДЕНТИФИКАЦИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ И ВОЗМОЖНОГО ВРЕМЕНИ ВЫБРОСА ИСТОЧНИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА СОПРЯЖЕННЫХ УРАВНЕНИЙ

В. С. Кочергин ✉, С. В. Кочергин

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *vskocher@gmail.com*

Ключевые слова: источник загрязнения, сопряженная задача, Азовское море, Черное море, функция влияния.

Интенсивное антропогенное воздействие на экосистему Азовского моря требует создания систем мониторинга состояния окружающей среды, позволяющей оперативно и эффективно оценивать обстановку в районах, подвергающихся техногенному воздействию, особенно в областях интенсивного судоходства и строительства коммуникационных систем различного характера. К таким районам, естественно, относятся Керченский пролив, Таганрогский залив, акватории портов, рейдовые места стоянок. Решение таких задач возможно на основе методов математического моделирования и методов решения обратных задач, когда по данным измерений за счет их ассимиляции происходит идентификация параметров модели, необходимых для более точного прогнозирования полей концентрации загрязнения в море. Вариационные методы усвоения данных измерений и метод сопряженных уравнений активно развиваются и успешно используются для решения океанологических задач. В данной работе метод сопряженных уравнений применен для поиска местоположения источника загрязнения и определения интервала времени, в который такое загрязнение могло произойти.

Для определения интервала времени, в котором, возможно, произошел выброс загрязнения, необходимо решить ряд сопряженных задач на различных временных интервалах. Такая задача

может быть решена при условии, что координаты источника известны. Это могут быть координаты рейдовых стоянок судов или основные пути интенсивного судоходства. Зная интервал времени возможного выброса загрязнения, с учетом априорной информации (список судов, находящихся в данном районе) можно определить сам источник загрязнения.

При решении такой задачи для определения возможного интервала времени, на котором произошел выброс в известной точке, необходимо решить серию задач для различных точек измерений и задания различных интервалов времени интегрирования модели. Для более коротких или более длинных периодов модельного времени концентрация в источнике загрязнения не оказывает существенного влияния на значения концентрации в выбранной точке измерений. То есть координаты источника не попадают внутрь соответствующей функции влияния. Таким образом, выброс мог произойти в данном источнике в указанный период.

Наиболее точное воспроизведение истинного значения мощности источника загрязнения получается в случае, когда измерения производятся в области максимальных значений поля концентрации, что приводит к лучшей обусловленности решаемой задачи. В целом проведенные численные эксперименты показали надежную работу алгоритма идентификации параметров источника загрязнения применительно к модели переноса пассивной примеси в Азовском море. Результаты могут быть использованы для решения различных задач экологической направленности при изучении воздействия источников загрязнения антропогенного характера в акваториях Азовского и Черного морей.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ СУБМЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ В СПУТНИКОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТИ YOLO5 С ОБУЧЕНИЕМ ПО МОДЕЛИ NEMO

А. А. Кубряков ✉, А. И. Мизюк

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *arskubr@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: нейросети, субмезомасштабные вихри, Арктика, идентификация образов, спутниковые данные, Landsat.

В настоящей работе предложен алгоритм выделения субмезомасштабных вихрей по данным оптических измерений Landsat и Sentinel на основе нейросети Yolo 5. Особенностью предлагаемого алгоритма является использование данных численных моделей в качестве тренировочного массива. Создание тренировочного массива – одна из наиболее трудоемких частей работы при разработке нейросетевого алгоритма идентификации образов по данным изображений.

В нашей работе этот массив был создан на основе математических алгоритмов автоматической идентификации вихрей на основе метода Окубо – Вейса. Этот метод был применен к полям скорости, полученным по данным модели NEMO с разрешением 1 км для Черного моря за 2009–2011 гг. Далее в местах выделенных вихрей брались их образы в поле температуры, солености и дивергенции. С помощью такого метода было получено более 100 000 образов вихрей в полях разных параметров, которые использовались для тренировки нейросети Yolo5 (tiny). Результаты показали, что созданная конфигурация позволяет успешно и с большой скоростью идентифицировать субмезомасштабные вихри по данным численного моделирования, в том числе по полям температуры и солености.

Далее разработанная конфигурация применялась к данным спутниковых измерений с высоким разрешением (Landsat, Sentinel-2). Поскольку на этих снимках также отображались

образы вихрей в поле оптических или температурных параметров, то эта конфигурация успешно работала и со спутниковыми снимками в различных регионах (Черном море, Арктике, Каспийском море). В результате создан алгоритм, позволяющий быстро идентифицировать субмезомасштабные вихри по данным спутниковых измерений. Этот метод может быть успешно использован для исследования особенностей пространственной и временной изменчивости субмезомасштабной динамики.

Работа поддержана в рамках госзадания FNNN-2024-0012 и в рамках гранта РНФ 23-17-00056.

МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ЧЕРНОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ СОВМЕСТНОЙ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ NEMO-BFM

П. Н. Лишаев ✉, А. А. Кубряков, Е. А. Кубрякова, А. И. Мизюк

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *pavellish@mail.ru*

Ключевые слова: численное моделирование, Био-Арго, хлорофилл *a*, фитопланктон, биогеохимия, NEMO, BFM.

В работе представлены результаты моделирования биохимических процессов на основе совместной трехмерной модели NEMO-BFM для Черного моря за 2008–2014 гг. Используемая модель BFM позволяет оценить изменчивость элементов азотного, фосфорного и углеродного циклов. В данной работе BFM была адаптирована к условиям Черного моря и объединена с ранее подготовленной гидродинамической моделью NEMO с разрешением по горизонтали 10 км. Для описания субкислородной зоны, характерной для Черного моря, в модель были добавлены окислительно-восстановительные реакции с учетом кислорода, сероводорода, марганца. Вертикальные распределения и сезонная изменчивость основных биогенных элементов, кислорода

и сероводорода согласуются с данными предыдущих исследований.

Используемая конфигурация включает в себя расчет концентраций мелких и крупных диатомовых водорослей, а также кокколитофорид. Полученные по данным численного моделирования особенности пространственной и временной изменчивости концентрации хлорофилла *a* согласуются с данными контактных измерений и буев Био-Арго. Весенний максимум в слое 0–30 м приходится на март и связан с бурным развитием мелких диатомовых водорослей, летний подповерхностный максимум и рост концентрации хлорофилла *a* в верхнем слое имеет место в осенне-зимний период.

Впервые в модели были воспроизведены особенности пространственной изменчивости и вертикального распределения цветения кокколитофорид. Для этого в модель были добавлены параметризации процессов фотодеградации растворенного органического вещества и осмотрофии кокколитофорид. Рассчитанная пространственная изменчивость поверхностного распределения концентрации кокколитофорид согласуется с данными спутникового зондирования. Летнее цветение наиболее интенсивно в центральной части Черного моря, где поступление фосфатов из нутриклина в верхний слой наиболее активное, после максимума летнего цветения области с наивысшими значениями концентрации кокколитофорид смещаются в район континентального склона. Кроме этого, в модели удалось воспроизвести более слабое зимнее цветение кокколитофорид, что согласуется с данными Био-Арго.

Результаты моделирования позволили воспроизвести осеннее и весеннее цветение мелких диатомовых и их глубинный максимум в нижних слоях фотической зоны в летний период. Данные моделирования также позволили описать особенности пространственной изменчивости фитопланктона в Черном море, в частности доминирование крупных диатомовых на шельфе бассейна.

Результаты модели дают возможность воспроизводить существенную пространственную изменчивость химических и биологических веществ в Черном море, связанную с воздействием раз-

личных физических процессов – ветровым и конвективным перемешиванием, влиянием крупномасштабной и синоптической динамики вод, распространением речных плюмов.

Настройка трехмерной биогеохимической модели BFM для Черного моря и валидация полученных модельных результатов выполнены при поддержке гос. темы FNNN-2024-0012 «Оперативная океанология», восстановление сезонной изменчивости концентрации кокколитофорид по данным модели, исследование влияния вихревой динамики на пространственную и временную изменчивость фитопланктона, выполнено в рамках гранта РНФ № 23-17-00056.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЙШЕВЫХ КОЛЕБАНИЙ В ПРОТЯЖЕННОЙ УЗКОЙ БУХТЕ

Ю. В. Манилюк ✉, Д. И. Лазоренко, В. В. Фомин, Д. В. Алексеев

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *uvmsev@yandex.ru*

Ключевые слова: сейши, резонансные колебания, Севастопольская бухта, математическое моделирование, модель ADCIRC.

Севастопольская бухта имеет важное значение для г. Севастополя. В ней осуществляются перевалка грузов, судоремонт, пассажирские перевозки, расположены причальные стенки для судов. Но до настоящего времени она остается мало исследованной. Известно, что сейши – наиболее распространенное явление в бухтах. Сейши в бухтах являются причиной такого опасного явления, как тягун, затрудняющего погрузочно-разгрузочные работы в портах, приводящего к столкновению и повреждению судов. Тягун обычно вызывается сейшами с периодами до 10 мин. Теоретически для судов и береговой инфраструктуры в бухтах наиболее опасны резонансные моды с экстремально узкими пиками на диаграммах усиления (extreme modes). Амплитуды таких

мод значительно возрастают при увеличении длительности действия возмущения. Особенностью экстремальных мод является их пространственная структура, затрудняющая излучение энергии колебаний воды через вход в бухту. Например, для протяженной узкой бухты к таким модам можно отнести поперечные и продольно-поперечные моды. Но при этом затруднена и генерация данных волн. В связи с этим обычно предполагается, что возбуждение экстремальных мод маловероятно, и в реальных условиях допустимо пренебречь учетом возможности генерации данных мод. Использование таких допущений предполагает пренебрежение опасностью негативного воздействия экстремальных мод на суда, находящиеся в гавани, и береговую инфраструктуру. Поэтому, прежде чем делать допущения, надо с большой тщательностью исследовать возможность генерации мод данного типа и определить условия их возникновения с учетом особенностей изучаемой бухты.

Общие закономерности экстремальных мод пока не установлены. Исследования проведены для небольшого количества модельных бассейнов. Поэтому представляет практический и научный интерес изучение возбуждения экстремальных мод в реальных бухтах.

В настоящей работе на основе гидродинамической конечно-элементной модели ADCIRC исследуются различные режимы сейшевых колебаний в узкой протяженной глубоководной бухте на примере Севастопольской бухты. В качестве возмущений рассматриваются длинные волны, проникающие в бухту через ее вход. Расчеты выполнены для возмущений с периодами 2,5; 2,9 и 6,2 мин, принадлежащих собственным модам бухты с различными пространственными структурами: поперечной, продольно-поперечной и продольной соответственно. Воздействие данных возмущений приводит к генерации не только собственных мод с периодами, близкими к периоду возмущения, но и интенсивной моды Гельмгольца бухты с периодом около 50 мин. Причем во многих областях акватории интенсивности колебаний уровня для данных мод сопоставимы, а в вершине бухты мода Гельмгольца доминирует. Установлено, что продолжительность достижения стационарного режима для моды со структурой, близкой к поперечной (период 2,5 мин), больше, чем у продольно-поперечной и

продольной мод. Но максимальные амплитуды оказались в 2,5 раза меньше. В то же время у другой моды (период 2,9 мин), имеющей пространственную структуру, затрудняющую излучение энергии колебаний в открытое море, происходит наибольшее усиление волн по сравнению со всеми рассмотренными здесь модами. Максимальный коэффициент усиления волн у продольной трехузловой сейши с периодом 6,2 мин всего на 5 % меньше, чем у моды с периодом 2,9 мин. Но при этом она в целом интенсивнее.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ (FNNN-2024-0016).

ВЛИЯНИЕ ТИХООКЕАНСКОГО ФЕНОМЕНА ЭНЮК НА СЕВЕРНЫЙ ВЬЕТНАМ

О. В. Марчукова ✉, Т. Т. Тонг

ТюмГУ, Тюмень, Россия
✉*olesjath@mail.ru*

Ключевые слова: Тихий океан, Эль-Ниньо, Ла-Нинья, температурный режим, Северный Вьетнам, аномалии климата.

Явление Эль-Ниньо характеризуется ослаблением северо-восточной муссонной циркуляции и подавлением конвективной активности над Юго-Восточной Азией, что приводит к уменьшению количества осадков и возможному повышению температуры по сравнению с климатическими нормами. Напротив, эпизоды Ла-Нинья связаны с усилением северо-восточного муссона, который усиливает перенос влаги и таким образом увеличивает количество осадков.

По данным реанализа NCEP/NCAR с 1950 по 2023 г. были сделаны выводы, что в периоды сильной активности явления Эль-Ниньо (ноябрь «0-го года» – февраль «+1 год») температура воздуха повышается до 1 °C относительно климатической нормы в Северном Вьетнаме. Количество осадков соответственно уменьшается приблизительно на −40 мм/мес и становится ниже среднего.

В годы Ла-Нинья в зимний период температура воздуха в Северном Вьетнаме опускается ниже климатической нормы на −1 °C. Количество осадков превышает среднее количество на 60 мм/мес.

Среди трех экономических регионов Северного Вьетнама Дельта Хонгхи (Дельта Красной реки) является районом, наиболее затронутым феноменом Эль-Ниньо – Южное Колебание (ЭНЮК) в отношении формирования аномалий осадков. Проведенный в работе анализ за период с 1950 по 2023 г. показывает, что ЭНЮК значимо влияет на формирование межгодовых климатических аномалий в гидрологическом цикле и тепловом режиме Северного Вьетнама.

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РЕТРОСПЕКТИВНОГО АНАЛИЗА ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ЧЕРНОГО МОРЯ ЗА ПЕРИОД 2000–2021 ГОДОВ

А. И. Мизюк ✉, Г. К. Коротаев, О. С. Пузина, А. Л. Холод

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *artem.mizyuk@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: Черное море, реанализ, соленость, температура моря.

В работе представлены результаты реанализа гидрофизических полей Черного моря в период 2000–2021 гг.

Для проведения реанализа использована региональная конфигурация на основе комплекса численного моделирования динамики океана NEMO для вод Эвксинского каскада (BAMS24). Каскад рассматривается как почти замкнутая система, связанная со Средиземным морем (через пролив Дарданеллы). Расчетная сетка – географическая и покрывает отмеченные бассейны с шагами по пространству ≈ 4,6 × 4,6 км.

Инициализация полей выполняется на основе адаптационного расчета по методике А. С. Саркисяна. При этом начальные поля в бассейнах Черного и Мраморного морей задаются на основе температуры и солености из продуктов глобального анализа

службы CMEMS. Для Азовского моря поля температуры и солености построены посредством объективного анализа наблюдений *in situ* из объединенного массива обработанных данных по Черному морю службы CMEMS и океанографической базы SeaDataNet (Европейской инфраструктуры управления океанскими и морскими данными) (https://www.seadatanet.org/).

Атмосферное воздействие задано на основе полей реанализа ERA5 Центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF), имеющего пространственное разрешение 0,25° и временное разрешение 1 ч. Используются поля температуры и влажности воздуха на высоте 2 м, компонент горизонтальной скорости ветра на высоте 10 м, потоки нисходящего длинноволнового и коротковолнового излучения, суммарные осадки и осадки в твердой фазе. Дополнительно для внешнего воздействия используются поля атмосферного давления на уровне моря посредством формулы «обратного барометра». Формирование льда в Азовском море учитывается косвенно.

При проведении реанализа учитываются климатические расходы 14 рек в бассейне Черного моря. В акватории Азовского моря и соответственно для водообмена в Керченском проливе важно учесть реальные изменения водного баланса со временем. С этой целью используются данные наблюдений объемного стока рек Дон и Кубань.

Для учета водообмена со Средиземным морем в бассейне Мраморного, на выходе из пролива Дарданеллы задаются граничные условия на открытой жидкой границе: используются квазиреальные изменения уровня моря, бароклинных скоростей течений, температуры и солености, полученные на основе продуктов глобальной системы реанализа CMEMS.

В докладе представлена процедура реанализа. Она основана на ассимиляции трехмерных полей температуры и солености моря, полученных на базе процедуры совместного анализа аномалий альтиметрического уровня и профилей температуры и солености. С использованием этой процедуры восстановлены профили базовой стратификации за 1999–2021 гг., в те периоды, когда данные измерений были доступны. Показаны особенности работы процедуры интерполяции, которая работала в период, когда данные наблюдений отсутствовали.

Демонстрируются особенности изменчивости температуры и солености в верхнем слое Черного моря, а также некоторые результаты валидации реанализа термохалинных характеристик в Азовском море.

РЕГИОНАЛЬНАЯ КОНФИГУРАЦИЯ МОДЕЛИ NEMO ДЛЯ БАССЕЙНА КАРСКОГО МОРЯ

А. И. Мизюк ✉, А. А. Кубряков

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *artem.mizyuk@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: численное моделирование циркуляции, Карское море, NEMO, морской лед.

В работе демонстрируются результаты численного моделирования циркуляции Карского моря. Расчетная сетка построена на основе имеющейся конфигурации Мирового океана с разрешением 0,25° таким образом, что результирующее пространственное разрешение в бассейне Карского моря достигает около 1,5 км.

На основе результатов работы системы диагноза и прогноза гидрофизических параметров Мирового океана ФГБУН ФИЦ МГИ на срок с августа 2022 г. по июль 2023 г. подготовлены начальные и граничные условия на открытой жидкой границе. Для описания термодинамики льда используется модель LIM3.

Атмосферное воздействие для ее работы было получено по результатам работы системы GFS, обеспечивающей поля температуры и влажности воздуха на высоте 2 м, компонент горизонтальной скорости ветра на высоте 10 м, потоки нисходящего длинноволнового и коротковолнового излучения, суммарные осадки и осадки в твердой фазе. Согласно балк-формулам протокола CORE, метеопараметры с дискретностью по времени 3 ч используются для расчета суммарных потоков тепла, массы и напряжения трения ветра. Кроме того, используются поля давления на уровне моря.

Предварительные результаты моделирования демонстрируют неплохое соответствие результатам системы диагноза и прогноза глобального океана службы CMEMS для бассейна Карского моря.

РАСЧЕТ ВОЛНЕНИЯ В АКВАТОРИИ ГОЛУБОГО ЗАЛИВА (ПОЛУОСТРОВ КРЫМ) НА ОСНОВЕ ФАЗО-РАЗРЕШАЮЩЕЙ МОДЕЛИ

С. Ю. Михайличенко [1] ✉, **Д. Ю. Куранов** [2]

[1] *МГИ, Севастополь, Россия*
[2] *СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия*
✉ *liham1984@rambler.ru*

Ключевые слова: Голубой залив, алгоритм вложенных сеток, спектральная волновая модель SWAN, гидродинамическая негидростатическая модель SWASH, спектр развитого волнения JONSWAP, ветровое волнение, высоты значительных волн.

В работе исследуются характеристики ветрового волнения в акватории Голубого залива (Крымский полуостров). Рассматривались штормовые ситуации для разных скоростей ветра южного направления. Для расчета характеристик штормового волнения использовались две модели – негидростатическая гидродинамическая модель SWASH и спектральная волновая модель SWAN. Граничные условия рассчитывались на основе четырехшагового алгоритма вложенных сеток с использованием для этих целей спектральной волновой модели SWAN. На первом шаге проводился расчет волновых характеристик для всей области Азово-Черноморского бассейна. На втором шаге рассчитывалось волнение в акватории южной части Крымского полуострова. На третьем шаге проводился расчет волновых характеристик для района Южного берега Крыма. На последнем шаге с использованием обоих моделей проводился расчет волновых параметров для района, включающего в себя Голубой залив и ограниченного на западе прибрежным районом санатория «Зори России», а на востоке – юго-западной акваторией Симеиза. В качестве граничного условия при расчете волновых параметров с помощью модели SWASH на южной границе района исследований использовался двумерный спектр развитого волнения JONSWAP, полученный с помощью модели SWAN в результате расчета на предыдущем вложенном шаге. На западной и восточной жидких границах использовалось условие излучения. Граничные условия

для исследуемой акватории при расчете волновых параметров с помощью модели SWAN брались из файла двумерного волнового спектра, полученного на предыдущем шаге.

В работе проанализированы поля значительных высот волн, полученные обеими моделями. Выявлены локальные особенности волновых полей рассматриваемой акватории. На основе полей рассчитанных характеристик проведен сравнительный анализ обоих моделей.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № FNNN-2024-0016 «Исследование пространственно-временной изменчивости океанологических процессов в береговой, прибрежной и шельфовых зонах Черного моря под воздействием природных и антропогенных факторов на основе контактных измерений и математического моделирования» (шифр «Прибрежные исследования»).

КЛИМАТИЧЕСКАЯ СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ФРОНТА МОРЯ СКОША

Н. В. Никольский ✉, Ю. В. Артамонов, Е. А. Скрипалева

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *n.nikolsky@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: Южный океан, фронт моря Скоша, температура, соленость, сезонная изменчивость, межгодовая изменчивость, Южное колебание, Южная кольцевая мода.

Фронт моря Скоша (ФМС), расположенный в южной части моря Скоша, служит важнейшим абиотическим фактором, влияющим на биопродуктивность вод одного из наиболее промыслово-значимых районов Южного океана.

В работе анализируются особенности климатического сезонного цикла и межгодовой изменчивости характеристик ФМС на поверхности океана. Для определения характеристик сезонного цикла ФМС использовались среднемесячные значения потенциальной температуры (°С) и солености (ЕПС) для каждого года за

период 1958–2021 гг. из реанализа ECMWF ORA-S5. По этим данным рассчитывались климатические среднемесячные значения меридиональных градиентов температуры (МГТ) и солености (МГС). Положение ФМС в термохалинных полях определялось по положению экстремумов МГТ и МГС. Положительные (отрицательные) значения МГТ и МГС показывают повышение (понижение) значений температуры и солености в южном направлении. Показано, что в западной части моря Скоша (вдоль 49,5° з. д.) в поверхностном слое ФМС представлен двумя ветвями – северной и южной. В поле температуры ветви ФМС характеризуются отрицательными значениями экстремумов МГТ. Обе ветви ФМС слабо изменяют широтное положение в течение года: северная ветвь ФМС располагается примерно между 59,6° и 59,8° ю. ш., а южная ветвь ФМС – между 60,3° и 60,4° ю. ш. Обе ветви ФМС максимально усиливаются в апреле. В поле солености значения экстремумов МГС, характеризующих ФМС, в поверхностном слое изменяют знак в течение года вследствие заметного внутригодового изменения солености к югу от фронта. Северная ветвь ФМС прослеживается примерно между 59,5° и 59,8° ю. ш., южная ветвь – между 59,5° и 60,3° ю. ш. Обе ветви ФМС усиливаются два раза в год в периоды интенсивных ледотаяния в феврале – марте и ледообразования в июне – июле.

Тенденции межгодовой изменчивости среднегодовых характеристик ФМС в поле ТПО оценивались по данным OI SST с пространственным разрешением 1/4° за период 1982–2022 гг. Показано, что в западной части моря Скоша (на 49,875° з. д.) ФМС представлен одной ветвью, которая слабо изменяет широтное положение, располагаясь между 59,6° и 60,4° ю. ш. В межгодовом изменении интенсивности ФМС значимый тренд не выявлен, т. е. отсутствует устойчивая тенденция к обострению или ослаблению фронта. Во временном ряде аномалий среднегодовых значений МГТ (АнМГТ), характеризующих ФМС, для каждого года относительно среднего климатического значения за 41 год выявлена периодичность в 2–6 лет, близкая к периодичности крупномасштабных мод атмосферной изменчивости – Южного колебания (ЮК) и Южной кольцевой моды, показателем которой служит индекс Антарктического колебания (ААК). В то же время анализ взаимно-корреляционных функций между временными рядами

значений АнМГТ и индексов ЮК и ААК показал, что реакция интенсивности ФМС на изменения индексов атмосферной циркуляции выражена слабо. Значимая связь с величиной коэффициента корреляции R ~ 0,3 с 95%-ным уровнем достоверности выявлена только на сдвигах в 9 лет (положительная между АнМГТ и индексом ЮК и отрицательная между АнМГТ и индексом АКК) и 10 лет (отрицательная между АнМГТ и индексом ЮК и положительная между АнМГТ и индексом АКК). Отметим, что период в 8–10 лет соответствует полному обороту вокруг Антарктиды Антарктической циркумполярной волны, характеризующей распространение на восток крупномасштабных аномалий в системе океан – атмосфера.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ по теме FNNN-2024-0014 «Взаимодействие океана и атмосферы».

ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННОЙ И МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ СОЛЕНОСТИ В ПРИБРЕЖНОЙ И ГЛУБОКОВОДНОЙ ЗОНАХ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА

В. П. Новицкая ✉, Е. М. Лемешко

ЧГПП ФГБУН ФИЦ МГИ, г. Севастополь, Россия
✉ *victory.novitskaya@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: соленость, температура, Черное море, реанализ.

В последнее десятилетие по результатам анализа данных альтиметрии и гравиметрии для Черного моря авторами был сделан вывод о положительном тренде солености во всей толще моря. Поэтому цель данной работы заключалась в уточнении пространственного распределения солености и значений ее тренда для разных глубин по данным реанализа Copernicus за 2011–2020 гг. Полученные оценки коэффициентов линейного тренда солености положительны во всей толще моря до глубин 1500 м. Максимальные значения положительных значений тренда 0,3–05 ЕПС/10 лет

отмечаются в верхнем 50-метровом слое моря. Заметим, что до 2010 г. в верхнем слое присутствовал отрицательный тренд солености, составляющий −0.04 ‰/10 лет, который был связан с положительным трендом баланса пресных вод Черного моря. В слое 75–300 м нами выделен положительный тренд 0,05 ЕПС/10 лет за 2011–2020 гг., убывающий с глубиной до 0,02 ЕПС/10 лет на 300 м. В слое 300–500 м тренд составляет 0,01–0.02 ЕПС/10 лет и убывает до 0,0003 ЕПС/10 лет на глубине 1500 м на пределе значимости оценки. В итоге можно сделать выводы, что в период с 2011–2020 гг. по данным реанализа на межгодовом масштабе наблюдается рост солености в центральной части Черного моря, а при анализе температуры выявлены периоды деградации холодного промежуточного слоя.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме FNNN-2024-0016.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ГЕНЕРАЦИИ ГЛУБИННЫХ ТЕЧЕНИЙ В ЧЕРНОМ МОРЕ С ПОМОЩЬЮ ДВУХСЛОЙНОЙ МОДЕЛИ

А. А. Павлушин

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *pavlushin@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: Черное море, генерация глубинных течений, численное моделирование, энергетический баланс.

Цель данной работы состоит в том, чтобы определить, какие динамические процессы в Черном море ответственны за возбуждение движения водных масс, расположенных ниже главного пикноклина. Такие водные массы будем называть глубинными, а их перемещение – глубинными течениями.

В двухслойной вихреразрешающей модели, которая используется для моделирования циркуляции в море, глубинной водной массе соответствует нижний слой более плотной воды.

Для определения источников поступления энергии в глубинный слой используется метод энергетического анализа, который заключается в расчете потоков энергии, соответствующих процессам различных масштабов, которые можно выделить с помощью скользящего осреднения.

Из анализа уравнений баланса кинетической и доступной потенциальной энергии двухслойной модели следует, что энергия в нижний слой поступает только в случае нестационарности динамических процессов в море. Такая нестационарность может быть связана с изменчивостью внешних условий и/или гидродинамической неустойчивостью течений. В численных экспериментах, использованных для расчета энергетических характеристик, внешние условия ветрового воздействия имели сезонную изменчивость. Неустойчивость течений проявлялась в возникновении волн, захваченных материковым склоном, и меандрировании Основного Черноморского течения с периодами, соответствующими в основном мезомасштабной изменчивости.

Расчеты потоков энергии, поступающей в нижний слой, дают основания считать, что основной вклад в поток энергии, поступающей в нижний слой (90 %), обеспечивают процессы, имеющие временную изменчивость менее 10 сут, которые относятся к субмезомасштабным. Вклад мезомасштабных процессов с периодом 30–60 сут оказывается небольшим, а процессы с сезонной изменчивостью не оказывают заметного влияния на генерацию глубинных течений.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме FNNN-2021-0012.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЛУБИННОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ В ЧЕРНОМ МОРЕ С ПОМОЩЬЮ ДВУХСЛОЙНОЙ ВИХРЕРАЗРЕШАЮЩЕЙ МОДЕЛИ

А. А. Павлушин

МГИ, Севастополь, Россия
✉*pavlushin@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: Черное море, численное моделирование, крупномасштабная циркуляция, глубинные течения, волны Россби.

Несмотря на то что Черное море в целом считается хорошо изученным объектом, вопрос о глубинной циркуляции в нем остается открытым по причине отсутствия необходимого количества данных прямых измерений течений, получение которых на больших глубинах является трудноразрешимой задачей вследствие большой трудоемкости и дороговизны.

В настоящее время основным методом изучения глубоководных течений является численное моделирование. Существует множество расчетов, выполненных для Черного моря, в которых основное внимание уделяется циркуляции в слое выше главного пикноклина, а в глубинном слое моря рассматриваются только отдельные элементы циркуляции без анализа общей картины.

Данная работа ставит своей целью показать и проанализировать временную динамику поля течений в глубоководной зоне Черного моря, которая формируется под воздействием на морскую поверхность ветра с циклонической завихренностью.

Используемая для расчетов двухслойная вихреразрешающая модель достаточно хорошо воспроизводит известные из наблюдений основные черты черноморской поверхностной циркуляции. На этом основании, а также учитывая тот факт, что водные массы, расположенные ниже главного пикноклина, достаточно однородны по плотности, можно предположить соответствие между рассчитанными с помощью модели течениями в нижнем слое и реальными течениями в глубине Черного моря.

Полученные в модели течения нижнего слоя характеризуются сильной временной изменчивостью, которая, очевидно, связана с неустойчивостью и волновыми процессами.

В центральной глубоководной части моря с малыми уклонами дна сказывается влияние β-эффекта, которое приводит к формированию баротропных волн Россби. В области северо-восточного материкового подножия к планетарному β-эффекту добавляется топографический, что усиливает волнообразование.

Над материковым склоном распространение волновых колебаний происходит в основном благодаря топографическому β-эффекту, при этом средние течения и фазовые скорости волновых колебаний течений направлены преимущественно вдоль изобат вциклоническом направлении.

С помощью методов спектрального анализа были определены дисперсионные характеристики волновых колебаний. Расчет энергетических характеристик средних и «вихревых» течений в нижнем слое показал, что на «вихревые» течения приходится 94 % общей кинетической энергии нижнего слоя, что дает основание считать волновые колебания основным элементом глубинной циркуляции.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме FNNN-2021-0012.

ХРОНОЛОГИЯ БАЛТИЙСКОГО ЗАТОКА 2023 ГОДА ПО РЕАНАЛИЗУ NEMO – ВИРТУАЛЬНЫЙ РЕЙС

В. Т. Пака, А. О. Корж, М. Н. Голенко ✉, В. М. Журбас, А. Г. Зацепин

ИО РАН, Москва, Россия
✉ *m.golenko@yahoo.com*

Ключевые слова: балтийский заток, реанализ NEMO, потоки солености, обновление придонных вод.

По данным реанализа CMEMS BALTISEA_ANALYSISFORECAST воспроизведена хронология

балтийского затока 2023 г. За период 01.10.2023–24.01.2024 построены ежедневные разрезы температуры, солености, плотности и растворенного кислорода через ключевые сечения на пути соленых вод в транзитной зоне между Северным и Балтийским морями и в юго-западной части Балтийского моря, а также карты придонной солености. Обнаружено, что заток состоял из нескольких баротропных забросов соленой северноморской воды через проливы Бельт и Зунд. Наиболее мощные забросы продолжительностью более 10 сут отмечались в периоды с 1 по 20 октября и с 17 по 31 декабря 2023 г. Откликом на эти забросы было повышение придонной солености в Борнхольмском бассейне на 1.5–2 г/кг с запаздыванием около 20 сут. Расчеты суммарного поступления соленых вод показали, что заток вряд ли можно отнести к Major Baltic Inflows (MBIs), к которым относятся только те, что в состоянии обновить придонную воду в Готландской впадине на глубине 220 м, увеличив там соленость и содержание кислорода и прервав период стагнации и гипоксии.

МОДЕЛИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В ПРИБРЕЖНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Ю. И. Папкова

СевГУ, Севастополь, Россия
✉ *YIPapkova@sevsu.ru*

Ключевые слова: звуковое поле, слоистая среда, амплитуда потенциала скорости, функция Грина, волновод Пекериса, контурный интеграл.

В настоящее время отмечается повышенный интерес к волновым задачам морской акустики, при этом основой успешного решения широкого круга прикладных задач являются достоверные математические модели распространения звуковых волн на дальние расстояния. В связи с этим, наряду с построением численных решений, активно развиваются и численно-аналитические подходы к вычислению звуковых полей в морских волноводах.

Теоретическое описание акустического поля в прибрежной части Черного моря связано с выбором модели геоакустического волновода с различными вариациями неоднородностей по трассе, геометрией дна и модельным распределением акустических параметров, слагающих дно пород. Однако при детализации модели волновода, в частности при попытке учесть неоднородности по горизонтальной и вертикальной составляющей поля, задача уже не будет иметь очевидного аналитического решения.

В докладе предлагается модель морского акустического волновода, допускающего декомпозицию на более простые составляющие. В частности, предлагается использовать плоскослоистую модель акустического волновода с радиальной симметрией для аналитического описания звукового поля в акватории Черного моря. Пусть в первом приближении волновод представляет собой водный слой толщины h_0 и плотности ρ_0, расположенный на слое осадков с плотностью ρ_1 и параметром затухания α. Скорость звука в воде и донном слое предполагается зависящей только от глубины в каждой из частичных областей.

Таким образом, представленная модель может служить для описания скачка функции скорости звука в направлении радиальной координаты или же для аппроксимации непрерывной зависимости $c(r, z)$ системой профилей скорости звука в каждой частичной области. Выбор количества областей Ωj определяется в таком случае характером зависимости скорости звука от радиальной координаты и требуемым качеством аппроксимации.

Данный подход позволяет в первом приближении учесть как неоднородную форму дна (изменение глубины, подводные горы и впадины и т. п.), так и изменение физико-химических характеристик среды. Критерием точности данного подхода является оценка выполнения условий сопряжения на границах частичных областей, так как внутри каждой области граничные условия, условия на источник и условия затухания выполняются по построению. Таким образом, предлагаемые методы дают возможность для построения новых, более эффективных моделей распространения звука в прибрежной части Черного моря и, как следствие, могут найти свое применение в инновационном развитии технологий освоения ресурсов океана.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-20021.

ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА ПОД ТРОПИЧЕСКИМИ ЦИКЛОНАМИ

П. Д. Пиваев [1, 2] ✉, **В. Н. Кудрявцев** [2, 1]

[1] *МГИ, г. Севастополь, Россия*
[2] *РГГМУ, Санкт-Петербург, Россия*
✉ *pivaev.pavel@gmail.com*

Ключевые слова: тропические циклоны, верхний квазиоднородный слой, температура поверхности океана.

Известно, что интенсивность тропического циклона (ТЦ) существенно зависит от температуры поверхности океана. Согласно многочисленным наблюдениям и теоретическим представлениям, ТЦ, в свою очередь, уменьшает температуру поверхности воды за счет разных процессов, главным из которых является сильное ветровое перемешивание верхнего слоя океана. Таким образом, ТЦ и верхний слой океана являются связанной физической системой, в которой работают положительная и отрицательная обратные связи.

Упрощенные модели охлаждения поверхности океана, вызванного ТЦ, оказываются полезными в исследовательской практике: они значительно облегчают физическую интерпретацию наблюдений и могут использоваться вместо модели океана в связке с численной моделью ТЦ для моделирования эволюции последнего. В предположении о доминирующей роли турбулентного перемешивания и апвеллинга в охлаждении поверхности океана, вызванном ТЦ, основным физическим параметром, определяющим величину этого охлаждения, является толщина перемешанного слоя (ПС).

В работе анализируются закономерности формирования толщины ПС, восстановленной с помощью экспериментальных данных о величине охлаждения поверхности океана, вызванного ТЦ, и данных о вертикальном распределении температуры в океане

до прохождения ТЦ. Массив данных о толщине ПС дополняется экспериментальными данными о параметрах ТЦ. Закономерности формирования толщины ПС анализируются с привлечением идей теории подобия. На основании анализа данных предлагается параметризация толщины ПС, с помощью которой легко получить величину охлаждения поверхности океана, вызванного ТЦ.

Работа выполнена в рамках государственного задания FNNN-2024-0001 в МГИ РАН и государственного задания FSZU-2020-0005 в РГГМУ.

ЦУНАМИ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ

Д. И. Пилик [1, 2] ✉, **И. П. Медведев** [1], **Е. С. Цуканова** [1]

[1] *ИО РАН, Москва, Россия*
[2] *МГУ, Москва, Россия*
✉ *dariapilik12@mail.ru*

Ключевые слова: цунами, Японское море, численное моделирование.

Цунами – одно из наиболее разрушительных природных явлений, которое представляет опасность для прибрежных территорий. Японское море является сейсмически активным регионом, где могут происходить цунамигенные землетрясения. Одни из крупнейших цунамигенных землетрясений, поисходивших в этой акватории: Ниигатское 1964 г. (Mw = 7,5), Монеронское 1971 г. (Mw = 7,5), Япономорское 1983 г. (Mw = 7,7), Окуширское 1993 г. (Mw = 7,8), Невельское 2007 г. (Mw = 6,2), Ното 2024 г. (Mw = 7,5). Многие из этих событий активно изучались, однако есть и такие, которым было уделено меньше внимания, несмотря на их значимость. Цель данной работы – исследование особенностей двух самых сильных цунами, произошедших в северной части Японского моря – Монеронского цунами 1971 г. и Невельского цунами 2007 г.

Монеронское землетрясение произошло 05.09.1971 в 18:35 (UTC) в Татарском проливе вблизи о. Монерон. Магнитуда землетрясения составила 7,5, гипоцентр залегал на глубине 15–20 км.

Были сгенерированы волны цунами высотой 30–40 см, по данным мареографов в Невельске, Холмске и на японской станции Вакканай. По визуальным наблюдениям, высота цунами достигала 2 м.

Невельское землетрясение было зафиксировано 02.08.2007 в 02:37 (UTC) у побережья города Невельск. Магнитуда землетрясения составила 6,2. Глубина гипоцентра – 10 км. Несмотря на малую магнитуду, в результате землетрясения были зафиксированы волны цунами высотой 40–50 см по данным мареографа (Холмск) и до 3,2 м по данным визуальных наблюдений. Это событие считается аномальным, так как землетрясения с магнитудой такой величины не считаются цунамигенными.

Для изучения особенностей генерации и распространения цунами использовалась численная модель TUNAMI (авторская модификация И. В. Файна). Для моделирования задавались данные о рельефе дна (GEBCO, 2014) и данные о геометрии сейсмического очага, рассчитанные с помощью формул Окады. Для обоих землетрясений источники были созданы самостоятельно на основе параметров, представленных в каталоге ISC-GEM. Верификация модели проводилась с помощью мареограмм береговых пунктов наблюдений за уровнем моря на российском и японском побережьях. С помощью моделирования были воссозданы волны цунами для обоих событий, проведена оценка высот волн на побережье и в открытой части моря, проведено сравнение данных моделирования с данными натурных наблюдений.

Важной частью работы является первичная оценка цунамиопасности япономорского побережья России. Оценка проводилась методом выбора наихудшего сценария. С помощью базы данных активных разломов (ГИН РАН) были взяты разломы вдоль юго-западного побережья о. Сахалин, где могут наблюдаться крупные землетрясения с магнитудами Mw = 7,0 и Mw = 7,7 для разных структур. В итоге максимально возможные высоты цунами составляют 6,95 м для юго-западного побережья о. Сахалин и 6,5 м для побережья Приморья.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 24-17-00313.

ВЕРТИКАЛЬНАЯ СТРУКТУРА КОМПОНЕНТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА ДЛЯ ЧЕРНОГО МОРЯ

О. С. Пузина ✉, А. И. Мизюк

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *oksana_puzina@mhi-ras.com*

Ключевые слова: Черное море, энергетический баланс, цикл Лоренца, течения, средние течения, вихревые течения, баротропная неустойчивость, бароклинная неустойчивость.

В работе на основе результатов численного моделирования проводился расчет и анализ компонентов энергетического баланса Черного моря. Для вычислений использовался модельный комплекс NEMO. Пространственное разрешение конфигурации составляет 1/24° (≈ 5 км). Период расчета 2008–2020 гг. Анализ вертикальной структуры энергетических характеристик выполнялся вдоль 43° с. ш.

У западного побережья бассейна наибольшие значения кинетической энергии средних течений наблюдаются в слое 0–500 м. У восточного берега этот слой примерно в два раза тоньше, но шире по горизонтали. В глубоководной части Черного моря можно выделить две области: восточную и западную. В восточной половине кинетическая энергия средних течений более проявлена и выражена в слое 0–100 м. В западной части показатели кинетической энергии ниже, чем в восточной, и максимальные значения наблюдаются на глубине 0–10 м. Вероятно, такая неоднородность связана с воздействием поля напряжения трения ветра. У берегов толщина слоя максимальных значений вихревой кинетической энергии достигает 200 м, а в глубоководной части Черного моря этот слой составляет 0–50 м.

ЭНЕРГО- И ГАЗООБМЕН МОРЯ И АТМОСФЕРЫ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ БЕЛОГО МОРЯ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД ПРИ НАЛИЧИИ ПОЛЫНЬИ

И. А. Репина [1, 2] ✉, **М. И. Варенцов** [2, 1], **А. Ю. Артамонов** [1], **Д. Г. Чечин** [1]

[1] *ИФА РАН, Москва, Россия*
[2] *МГУ, Москва, Россия*
✉ *repina@ifaran.ru*

Ключевые слова: теплообмен, газообмен, полынья, конвективный пограничный слой, термики.

В работе используются результаты измерений турбулентного энерго- и газообмена в зимний период при наличии полыньи в проливе Большая Салма на Беломорской биологической станции МГУ. Оценено влияние полыньи на потоки тепла, влаги и углекислого газа при различных условиях стратификации. При направлении ветра со стороны полыньи наблюдается увеличение потоков. Положительные потоки тепла наблюдались даже при устойчивой стратификации. Полынья способствует усилению газообмена. С использованием вейвлет и Фурье анализа проведена оценка характеристик конвективных структур, формирующихся над полыньей. Исследуется влияние полыньи на динамику пограничного слоя атмосферы. С использованием беспилотного летательного аппарата исследовалась аномалия температуры над полыньей и в ее окрестности. Такая аномалия температуры характеризует конвективный пограничный слой (КПС), формирование которого часто сопровождается развитием низкоуровневых облаков над полыньей.

Измерения с использованием квадрокоптера позволили получить не только вертикальные профили температуры и влажности над полыньей и льдом, но также исследовать горизонтальное распределение и временную динамику этих величин внутри КПС. Для этого квадрокоптер выполнял горизонтальные разрезы надо

льдом и полыньей на различных высотах или же зависал в фиксированной точке над полыньей, выполняя роль «летающей метеостанции». Исследования показали, что даже в отсутствие облаков над полыньей развивается тонкий КПС толщиной 20–40 м. Полученные оценки толщины КПС согласуются с толщиной облачного слоя, формирующегося над полыньей в благоприятных условиях, с предыдущими оценками высоты КПС над той же самой полыньей и с модельными исследованиями, которые предполагают высоту КПС около 50–100 м даже для полыньи шириной ≈1 км. КПС выделяется не только по значениям температуры и влажности, но и по временной динамике этих величин: амплитуда их колебаний на масштабах нескольких десятков секунд над полыньей значительно превосходит соответствующие амплитуды надо льдом, что связано с формированием и перемещением внутри КПС отдельных турбулентных структур (термиков). Над водой характерны ярко выраженные флуктуации температуры с амплитудой более 0,5 °С и с периодом 10–15 с непосредственно над поверхностью воды и 40–60 с – на высотах 15–20 м. Аналогичные флуктуации температуры наблюдаются в прибрежных измерениях при ветре, направленном со стороны полыньи. Положительные значения коэффициента асимметрии вертикальной скорости Sw и температуры St также свидетельствуют о наличии ярко выраженных конвективных термиков.

Проведенные комплексные измерения позволили количественно оценить влияние небольшой полыньи на динамику пограничного слоя. Информация используется в разработке методов моделирования конвективного пограничного слоя над термически неоднородной поверхностью.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 24-17-00155.

ОЦЕНКА РОЛИ СТРАТОСФЕРНОГО ПОЛЯРНОГО ВИХРЯ В МЕЖДЕСЯТИЛЕТНЕЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ И МОРЯХ СЕВЕРО-ЕВРОПЕЙСКОГО БАССЕЙНА

А. А. Сизов, Т. М. Баянкина ✉, Д. В. Башарин, В. Л. Посошков

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *bayankina_t@mail.ru*

Ключевые слова: стратосферный полярный вихрь, аномалия высоты геопотенциала, завихренность скорости ветра, струйное течение, векторы аномалии скорости ветра, суммарный поток тепла, аномалия поверхностной температуры.

Рассматривается два временных интервала, характеризуемых ослабленным и сильным стратосферным полярным вихрем (СПВ). Ослабленный СПВ наблюдался в 1961–1970 гг. и характеризовался ослабленной циклонической завихренностью скорости ветра в стратосфере и антициклонической завихренностью скорости ветра в тропосфере. Сильный СПВ реализовался в 1991–2000 гг. и характеризовался сильной циклонической завихренностью скорости ветра в стратосфере, распространяющейся в среднюю тропосферу. Один из центров СПВ располагается в регионе Гренландии.

В десятилетие ослабленного СПВ в тропосфере над Гренландией скапливалась аномально большая масса воздуха и формировался Гренландский блокинг. Эта избыточная масса воздуха поступала из тропосферы южных широт, в том числе из Азорского антициклона, в котором она уменьшалась. Частично воздушная масса, переносимая из Азорского антициклона, поступала в район Исландского циклона, повышая давление в этом районе. Таким образом формировалась отрицательная фаза индекса Североатлантического колебания.

В десятилетие сильного СПВ циклон из нижней стратосферы Гренландии проникает в верхнюю и среднюю тропосферу, уменьшая в тропосфере воздушную массу и тем самым понижая атмосферное давление в Гренландии и соседней с ней Исландии.

По предварительным оценкам, при сильном СПВ перенос воздушных масс из тропосферы Гренландии в тропосферу Азорского антициклона осуществляется в небольших количествах или не переносится совсем. Но вследствие уменьшения массы атмосферы над Гренландией и Исландией сохраняется масса атмосферы, близкая к климатической норме в Азорском антициклоне, формируется положительная фаза индекса САК.

Процесс переноса воздушной массы в тропосфере осуществлялся при участии высотного антициклона в верхней тропосфере в случае ослабленного СПВ и высотного циклона в случае сильного СПВ. В случае ослабленного СПВ происходит ослабление струйного течения субполярного фронта и усиление северо-восточного пассата в приземной атмосфере. В случае сильного СПВ происходит усиление струйного течения субполярного фронта и ослабление северо-восточного пассата в приземном слое. В результате такой крупномасштабной перестройки интенсивности СПВ в регионе Субполярного циклонического круговорота и в морях Северо-Европейского бассейна формируются пространственные аномалии суммарного потока тепла и поверхностной температуры, которые определяют тепловой режим этого важного региона Западной Арктики.

МЕЖГОДОВАЯ И СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕРМОХАЛИННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНЗИТНОЙ ЗОНЫ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА

О. С. Силеверстова [1] ✉, **И. Л. Башмачников** [1, 2]

[1] *СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия*
[2] *Фонд «Нансен-центр», Санкт-Петербург, Россия*
✉ *olyasileverstova@gmail.com*

Ключевые слова: Атлантическая меридиональная океаническая циркуляция, глобальный реанализ, Северная Атлантика.

Атлантическая меридиональная океаническая циркуляция (АМОЦ) представляет собой сложную систему горизонтальных и вертикальных движений вод Атлантического океана, уменьша-

ющую контраст между водными массами экваториальных и полярных широт. Одним из движущих механизмов АМОЦ является интенсивный процесс конвекции в верхних слоях океана. Большинство приповерхностных вод Лабрадорского течения соединяются с Гольфстримом, образуя Северо-Атлантическое течение к востоку от Большой Ньюфаундлендской банки. Данный район слияния вод (37°–47° с. ш., 40°–55° з. д.) оказывает существенное влияние на АМОЦ и называется Транзитной зоной. Транзитная зона – важный регион, контролирующий изменчивость Североатлантической циркуляции. Аномалии плавучести в Транзитной зоне могут передаваться как субтропическому, так и субполярному круговороту. Кроме того, в этом регионе происходят сильные изменения свойств водных масс. В Транзитной зоне фиксируется значительная низкочастотная изменчивость температуры поверхности океана, высоты морской поверхности, а также интенсивности морских течений.

Цель нашей работы – анализ сезонной и межгодовой изменчивости термохалинных характеристик Транзитной зоны, являющейся важным фактором изменчивости АМОЦ. Актуальность данного исследования связана с тем, что АМОЦ оказывает существенное влияние на перенос кислорода и биогенных элементов с поверхности Мирового океана в нижележащие слои. В работе используются ежемесячные данные о температуре и солености за период с 1993 по 2020 г. глобального океанического реанализа GLORYS12V1, доступного по адресу: https://data.marine.copernicus.eu/product/GLOBAL_MULTIYEAR_PHY_001_030/. Данные имеют пространственное разрешение порядка 1/12° по широте и долготе и 50 уровней по вертикали. Для расчета плотности морской воды использовалось эмпирическое уравнение состояния морской воды TEOS-10. Расчет корреляции проводился между плотностью в каждой точке на глубине с 1500 до 2000 м и соленостным индексом АМОЦ, который вычислялся как среднегодовое значение солености Атлантического океана на 45°–65° с. ш. в слое 0–1500 м.

Полученные результаты свидетельствуют о ярко выраженной сезонной и межгодовой изменчивости термохалинных характеристик в районе Транзитной зоны Атлантического океана. Анализ термохалинных характеристик свидетельствует о наличии

межгодовых линейных трендов, наиболее отчетливо выраженных также на поверхности. В центре Транзитной зоны зафиксирована область с отрицательными значениями линейного тренда температуры до −2,5 °С/28 лет, в целом для района характерны отрицательные линейные тренды солености до −0,5 ЕПС/28 лет.

ВЛИЯНИЕ НЕТРАДИЦИОННОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ НА ГЕНЕРАЦИЮ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ ВНУТРЕННИМИ ВОЛНАМИ

А. А. Слепышев [1, 2] ✉, **Т. А. Разувай** [1]

[1] *МГИ, Севастополь, Россия*
[2] *Филиал МГУ в г. Севастополе, Россия*
✉ *slep55@mail.ru*

Ключевые слова: внутренние волны, тонкая структура, волновые потоки массы.

Тонкая структура гидрофизических полей в океане – весьма притягательный объект исследования, далекий от полного понимания. Все дело в том, что имеется ряд механизмов генерации вертикальной тонкой структуры, которые работают в разных гидрологических условиях. Например, ступенчатое расслоение под действием двойной диффузии возможно, когда температура и соленость убывают с глубиной. В этом случае может реализоваться механизм конвекции в виде «солевых пальцев» и высокоградиентные прослойки чередуются квазиоднородными слоями по температуре и солености. Другой механизм – обрушение внутренних волн с последующим образованием пятен мелкомасштабной турбулентности, которые, растекаясь, и порождают переслоенность по вертикали. Однако внутренним волнам не обязательно обрушаться, чтобы порождать тонкую структуру. Нелинейные эффекты при распространении пакетов внутренних волн проявляются в генерации средних на временном масштабе волны течений и поправки к плотности, пропорциональной квадрату те-

кущей амплитуды волны в слабонелинейном приближении. Однако после прохождения волнового пакета невозмущенный профиль плотности восстанавливается.

Представляет интерес исследовать генерацию внутренними волнами «необратимой» тонкой структуры, которая сохраняется после прохождения волнового пакета. Нами установлено в традиционном приближении, что при учете вращения Земли и сдвигового течения, у которого компонента скорости, нормальная направлению распространения волны, зависит от вертикальной координаты, вертикальные потоки массы у внутренних волн отличны от нуля. Это связано с тем, что уравнение для амплитуды вертикальной скорости внутренних волн имеет комплексные коэффициенты, решение соответствующей краевой задачи комплексное и частота волны имеет малую мнимую часть. Сдвиг фаз между колебаниями плотности и вертикальной скорости отличен от $\pi/2$. Поэтому вертикальные волновые потоки массы отличны от нуля и приводят к генерации вертикальной тонкой структуры. В нетрадиционном приближении, когда учитывается вклад горизонтальной составляющей угловой скорости Земли в силу Кориолиса, уравнение для амплитуды вертикальной скорости имеет комплексные коэффициенты даже при отсутствии течения и вертикальные волновые потоки массы отличны от нуля, что приводит также к генерации вертикальной тонкой структуры. Но она на один – два порядка слабее той, которая генерируется при наличии течения в традиционном приближении. При наличии течения в традиционном и нетрадиционном приближении генерируемая внутренними волнами тонкая структура практически идентична.

ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВЕРХНЕГО 400-МЕТРОВОГО СЛОЯ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ В 1948–2018 ГОДАХ

П. А. Сухонос

Институт природно-технических систем,
г. Севастополь, Россия
✉*pasukhonis@mail.ru*

Ключевые слова: температура, квантильная регрессия, Северная Атлантика.

Современный рост температуры Мирового океана приводит к дестабилизации глобальной климатической системы. Модельные и натурные оценки показывают, что глобальное потепление и связанные с ним изменения ключевых параметров климата будут усиливаться в будущем. Изменчивость состояния океана играет важную роль в перераспределении глобальной тепловой энергии. В связи с этим получение реалистичной картины эволюции поля температуры верхнего слоя Северной Атлантики за длительный период необходимо для понимания причин современных изменений климата. Поэтому цель работы – получить уточненную количественную оценку изменения температуры верхнего слоя Северной Атлантики за наиболее длительный период по данным из нескольких источников.

Использованы среднемесячные данные о температуре океана из массивов объективного анализа океана EN.4.2.2 и IAP и массива реанализа океана GECCO3 (версия 3S6m) за период 1948–2018 гг. Исследуемый регион ограничен координатами 0°–70° с. ш., 8°–80° з. д.

В качестве количественного показателя долгопериодного изменения температуры океана использованы оценки линейных трендов медианных значений этой характеристики. Квантильная регрессия представляет собой процедуру оценки параметров регрессии (чаще всего линейной) для любого из квантилей интервала от 0 до 1 значений зависимой переменной. Расчеты проводились для каждого массива данных в каждом узле сетки на всех

горизонтах от поверхности до 400 м. Затем коэффициенты квантильных трендов температуры океана усреднялись в этом слое.

Долгопериодные тенденции изменения температуры в верхнем 400-метровом слое положительны на большей части Северной Атлантики, кроме области субполярного круговорота, где коэффициенты тренда малы и отрицательны (около −0,2 °C/10 лет). Пространственное распределение областей с высокими коэффициентами трендов, по используемым данным, различается. По данным EN4, в окрестности Межпассатного противотечения и Гвианского течения отмечаются положительные коэффициенты тренда (более 0,1 °C/10 лет). По данным GECCO3, положительные тренды отмечаются в широтной полосе 0°–10° с. ш., за исключением восточной части экваториальной области. По данным IAP, на большей части Тропической Атлантики значимые коэффициенты тренда не обнаружены. В области Канарского апвеллинга обнаружены положительные коэффициенты тренда с величинами более 0,1 °C/10 лет (более 0,2 °C/10 лет), по данным EN4 и IAP (GECCO3). В западной части субтропического круговорота (к западу от 40° з. д.) отмечается потепление в верхнем 40-метровом слое с максимальными величинами (более 0,3 °C/10 лет) в области перехода Гольфстрима в Североатлантическое течение. К юго-западу от Гренландии (к востоку от Исландии) отмечаются значимые положительные коэффициенты квантильного тренда по данным EN4 и IAP (GECCO3), которые не обнаруживаются по другому массиву данных.

Таким образом, в 1948–2018 гг. потепление верхнего 400-метрового слоя Северной Атлантики в основном наблюдается от экватора до 50° с. ш. За этот 71-летний период рост медианы температуры в окрестности Межпассатного противотечения и Гвианского течения, Канарского апвеллинга и западной части субтропического круговорота составил ~ 0,7 °C, а в окрестности Гольфстрима – почти 1,5 °C. При этом в центральной части субполярного круговорота отмечается понижение медианы температуры верхнего 400-метрового слоя океана на ~ 0,7 °C.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-77-01054, https://rscf.ru/project/23-77-01054/

МАТЕМАТИКА КАК ПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ СИЛА. ПОСВЯЩАЕТСЯ 300-ЛЕТИЮ АКАДЕМИИ НАУК И ПРЕЗИДЕНТАМ – МАТЕМАТИКУ М. В. КЕЛДЫШУ И АДМИРАЛУ Ф. П. ЛИТКЕ

Т. А. Сушкевич

ИПМ РАН, Москва, Россия
✉ *tamaras@keldysh.ru*

Ключевые слова: математика, 300 лет, Академия наук, историческое просвещение, президент, М. В. Келдыш, Ф. П. Литке, кораблестроение, Мировой океан, космос, ракетно-ядерный щит.

В 2024 г. на государственном уровне приняты ключевые директивные документы, в том числе Послание Президента Федеральному Собранию 29.02.2024. Особое внимание заслуживают три «майских указа», которые впервые за последние 30 лет определили направления и приоритеты в интеллектуальной и духовной сфере: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 03.05.2024 № 1086-р «Об установлении Дня математика» 1 декабря – день рождения великого русского математика Николая Ивановича Лобачевского (01.12.1792–24.02.1856); Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2024 № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года»; Указ Президента Российской Федерации от 08.05.2024 № 314 «Об утверждении Основ государственной политики Российской Федерации в области исторического просвещения». Цель работы – историческое просвещение.

В год 300-летия Академии наук и научных морских экспедиций в Арктике публикация посвящается 95-летию Морского гидрофизического института Академии наук (МГИ) и его мужественным сотрудникам, а также 80-летию освобождения от фашистов 9 мая 1944 г. легендарного Севастополя («священный город» на греческом языке) – самого героического из 12 советских городов-героев и Брестской крепости. Красная армия освободила

город за три дня штурма. 1 мая 1945 г. в Приказе № 20 Верховного Главнокомандующего Маршала Советского Союза И. В. Сталина город Севастополь, наряду с Ленинградом, Сталинградом и Одессой, впервые назван «Городом-Героем». В ознаменование 20-летия ВЕЛИКОЙ Победы советского народа 9 мая 1945 г. Президиум Верховного Совета СССР принял Указ от 08.05.1965 № 3566-VI «Об утверждении Положения о почетном звании «Город-Герой»» и Указ от 08.05.1965 № 3564-VI «О вручении городу-герою Севастополю ордена Ленина и медали «Золотая Звезда»».

Дважды разрушенный до основания при Первой обороне во время Крымской войны (1853–1856, в 1954–1955 оборона длилась 349 дней) и Второй обороны во время Великой Отечественной Войны (1941–1945, в 1941–1942 оборона длилась 249 дней) город построен заново с участием всего СССР и в 1950-е гг. принял свой современный облик белого и величественного Севастополя. Памятник «Затопленным кораблям» в Первую оборону – символ Севастополя: затопили, чтобы враг не прошел в бухту…

С начала XXI в. Севастополь мужественно держит Третью оборону, когда украинские власти при мощнейшей поддержке США и стран НАТО пытаются уничтожить русский флот в городе русской славы. С 2014 г. Крым и Севастополь в составе России. Ситуация радикально осложнилась в условиях СВО с 24.02.2022 – вынуждены защищать город и флот от БПЛА, ракетных и дроновых атак в воздухе, на суше и на море нового альянса 56 стран (на 09.05.2024) во главе США и НАТО, ведущих «гибридную войну» против России, в том числе с целью завоевания Крыма и Севастополя. Город и его жители, включая сотрудников МГИ РАН, отличаются особым мужеством – работают, не сдаются и проводят научные конференции!

2022–2024 гг. войдут в историю как годы тектонических глобальных перемен в геополитике, экономике, науке, образовании, технике, технологиях в России и мире. Подобные перемены происходят в каждом столетии, потому в такие моменты важно активизировать исследования по истории знаний, определить приоритеты и найти ответы на вызовы отечественной науки при обяза-

тельном условии обеспечения безопасности и суверенитета Родины. И, как всегда, кадры и лидеры, наука и образование решают все!

В условиях жесточайшего цивилизационного кризиса и последствий первой мировой войны, революций 1917 г. и Гражданской войны спасение и ускоренное развитие науки и образования возглавили академики геолог Александр Петрович Карпинский (07.01.1847–15.07.1936) – первый Президент РАН (1917–1925) и АН СССР (1925-1936), и русский математик Владимир Андреевич Стеклов (09.01.1864–30.05.1926) – основатель и первый директор (1921-1926) первого академического Физико-математического института, из которого в 1934 г. создали Физический и Математический институты АН СССР. В.А.Стеклов являлся выдающимся организатором и умел сочетать научную деятельность и работу в государственных структурах. Благодаря усилиям В. А. Стеклова в 1925 г., в свой 200-летний юбилей, проведением которого занимался В. А. Стеклов, Академия наук стала «главным научным учреждением» страны, а юбилей, праздновавшийся в сентябре в течение 10 дней, принял характер национального праздника. В 2024 г. научная общественность отмечает 160-летие со дня рождения В. А. Стеклова и 90-летние юбилеи основания Математического института имени В. А. Стеклова и Физического института имени П. Н. Лебедева (АН СССР в 1934–1991 гг.; РАН с 1991 г.) – первые академические институты – мировые лидеры.

Историк науки академик В. И. Вернадский (12.03.1863–06.01.1945), геолог, минералог, кристаллограф, геохимик, в докладе на тему «Мысли о современном значении истории знаний», прочитанном на первом заседании Комиссии по истории знаний АН 14.11.26, говоря о переломных моментах в истории государства, напомнил, что без преемственности нет науки: «История науки является в такие моменты орудием достижения нового».

В период обострения «холодной войны» (1946–1991) с угрозами «ядерной войны» после Великой Отечественной Войны 1941–1945 гг. образцами высшего служения Родине стали советские лидеры – академики Академии наук СССР три русских гения – «Три К»: Главный математик Мстислав Всеволодович Кел-

дыш (10.02.1911–24.06.1978), механик-конструктор Сергей Павлович Королев (12.01.1907–14.01.1966), физик Игорь Васильевич Курчатов (12.01.1903–07.02.1960). «Три К» возглавили три эпохальных проекта – «Атомный проект», «Космический проект», «Ракетно-ядерный щит» и в середине 20-го в. совершили научно-техническую революцию в СССР. Почему в России до сих пор нет памятника «Три К», чтобы всему миру напоминать о наших величайших достижениях и способности защитить Родину? Эти Герои и прежде всего М. В. Келдыш – лучший Президент Академии наук (19.05.1961–19.05.1975) за всю ее 300-летнюю историю – подняли престиж НАУКИ и советских УЧЕНЫХ на такую недосягаемую высоту, что в 20-м в. только советская отечественная наука могла конкурировать с наукой США и всего мира, а нас не только боялись, но и уважали во всем мире! Достаточно вспомнить Первый ИСЗ (04.10.1957), Первый полет Ю. А. Гагарина (12.04.1961), Первый атомный ледокол (05.12.1957) и т. д. 70 лет назад спущена на воду Первая атомная подводная лодка (21.01.1954) и запущена в действие Первая атомная электростанция (26.06.1954)! И это успехи в математике!

В мировой литературе нет ничего подобного изданию Л. Д. Ландау «Теоретическая физика» в 10 томах и «теоретического минимума Ландау»! Во времена СССР МГУ им. М. В. Ломоносова входил в тройку мировых лидеров наравне с Сорбонной в Париже и Оксфордом в Англии, основанных в 12-м в., а физический и механико-математический факультеты были лучшими в мире – результат «реформы» И. В. Сталина по подготовке научных и инженерных кадров в 1946 г.!

В 2024 году необходимо отметить знаковые юбилеи:

– 75-летие испытания первой «атомной бомбы» РДС-1 на Семипалатинском полигоне 29.08.1949 – эпохальное событие, демонстрирующее конец американской монополии и появление второй атомной державы СССР, которая вскоре обогнала США после испытания 12.08.1953 первой «термоядерной бомбы» РДС-6с («слойка», главный теоретик А. Д. Сахаров) и запуска в промышленную эксплуатацию первой атомной станции 70 лет назад 26.06.1954.

– 120-летие со дня рождения «отца атомной бомбы» – главного конструктора Юлия Борисовича Харитона (27.02.1904–18.12.1996).
– 110-летие со дня рождения главного теоретика «атомной бомбы» Якова Борисовича Зельдовича (08.03.1914–02.12.1987).

С именами создателей «Ракетно-ядерного щита» – трех последних Президентов АН СССР – математика М. В. Келдыша, физика А. П. Александрова, математика Г. И. Марчука – связана высочайшая оценка их деятельности «золотой век отечественной науки». Именем Президента названа «Эпоха Келдыша». Это благодаря их научным подвигам и заслугам был обеспечен стратегический паритет двух политических систем и военных блоков во главе с СССР и США и около 80 лет нет глобальных мировых войн. СССР стал мировым лидером по атомной энергетике, атомному подводному флоту и атомным ледоколам.

Никто из философов, в том числе математики-философы академики В. И. Вернадский (12.03.1863–06.01.1945), основоположник учения о ноосфере и «научная мысль как планетное явление», и Н. Н. Моисеев (23.08.1917–29.02.2000) («Человек и ноосфера», «Судьба цивилизации. Путь Разума»), не смог предсказать, что теоретические достижения в физике и математике, а также открытие космической эры человечества в середине 20-го в. станут фундаментом формирования «Цифровой реальности» в начале 21-го в. на всей планете.

Это вызовы для «математики – царицы всех наук, но служанки физики» в 21-м в., а эта фраза М. В. Ломоносова (08.11.1711–04.04.1765) из середины 18-го в.. Однако с тех пор математика последовательно расширяла сферу приложений и в последние годы покорила все науки и население всей планеты. Немецкий математик Карл Гаусс (30.04.1777–23.02.1855), член-корреспондент с 31.01.1802, почетный член 24.03.1824 Императорской Академии наук, часто говорил: «Математика – царица наук, арифметика – царица математики», подчеркивая важность понятия «число» в математике. В возрасте 62 лет Гаусс выучил русский язык – очень хотел читать в оригинале труды Н. И. Лобачевского, который не был членом Академии наук, но прославился своей

«геометрией» и как ректор Казанского университета – на посту был 18 лет (1827–1845) и занимает третье место после академиков математиков ректоров МГУ – В. А. Садовничего (р. 03.04.1939), Героя Труда России, с рекордом 32 года с 1992 по 2024 г. среди всех ректоров вузов, и Героя Социалистического Труда СССР И. Г. Петровского (18.01.1901–15.01.1973) – ректором МГУ был 22 года в 1951–1973 гг. Три математика занимали пост ректоров университетов в разные исторические эпохи – Российская империя, СССР, новая Россия. Этот факт является свидетельством и подтверждением важной роли математики в отечественной системе образования на протяжении трех веков.

Однако в самой Академии наук первым математиком – Президентом АН СССР (19.05.1961–19.05.1975) стал «Главный Теоретик космонавтики» и «Главный математик» Мстислав Всеволодович Келдыш (10.02.1911–24.06.1978). И фактически с 1961 по 2013 г. с перерывом, когда Президентом АН в 1975–1986 гг. был физик А. П. Александров (13.02.1903–03.02.1994), а в 1986–1991 гг. Г. И. Марчук (08.06.1925–24.03.2013), во главе Академии наук были математики. Кстати, с 1961 по 1991 г. главами АН СССР были руководители «Атомного» и «Космического» проектов и проекта создания «Ракетно-ядерного щита» – Герои Социалистического Труда за исключительные заслуги. Среди математиков М. В. Келдыш – единственный Трижды Герой Социалистического Труда (1956, 1961, 1971) и бессменный Председатель МНТС по КИ при АН СССР с его основания в 1959 г. до последнего дня жизни в 1978 г.. С 1991 по 2013 г. Президентом РАН был математик академик Юрий Сергеевич Осипов (р. 07.07.1936) – участник работ по «Космическому» проекту и Председатель МНТС по КИ при РАН.

Государство Российское – сверхдержава на морях и океанах: морскому флоту, морскому делу и морской науке более 300 лет, начиная с реформ Петра Великого в начале 18-го в. Удивительна история сотрудничества Академии наук, ученых и морских ведомств и мореплавателей. Морские офицеры – это всегда была элита, даже бальным танцам обучали, чтобы осанку держали. Выдающиеся мореплаватели были почетными членами Академии наук, капитан-командор Платон Яковлевич Гамалея – «военно-

морской Ломоносов», адмирал Федор Петрович Литке – Президент Академии наук (23.02.1864–25.04.1882).

Полезно знать, что в российской истории 19-го в. состоялось уникальное событие, уроки которого полезны и ныне: сирота-самоучка Федор Литке (17.09.1797–08.08.1882) – выходец из обрусевших немцев, сирота с рождения – стал графом и наставником царского сына, а также сыграл значимую роль в Императорской Академии наук как мореплаватель, географ: член-корреспондент с 16.12.1829, почетный член с 03.12.1855, Президент с 23.02.1864 по 25.04.1882. С основания Академии наук мореплавание, навигация, математика были в приоритете. Так что адмирал – Президент – это дань государственной политики, целью которой было обеспечение выхода к морям и океанам. Не случайно активно осваивали северные моря и океан, а также фактически первыми достигли берегов Антарктиды: русские мореплаватели Ф. Ф. Беллинсгаузен и М. П. Лазарев первыми подошли к антарктическим шельфовым ледникам в 1820 г. Литке с детства всегда много читал и учился (чаще занимался самообразованием) и в очень короткий срок, параллельно службе, он сумел восполнить основные пробелы своего более чем скудного образования. Его быстро заметили и выделили флотские начальники, которые его аттестовали, как отличного офицера. Но Литке мечтал о занятиях специальной научной деятельностью, к которой всегда особенно лежало его сердце. «Тремя отцами» Географического общества были Литке, Бэр и Врангель. Литке принадлежала ведущая роль при зарождении мысли об учреждении Географического общества и при претворении ее в жизнь (именно он разрабатывал устав Общества). 6 (18) августа 1845 г. Высочайшим повелением императора Николая I было утверждено представление министра внутренних дел Российской империи графа Л. А. Перовского о создании в Санкт-Петербурге Русского Географического Общества (с 28 декабря 1849 г. – Императорское Русское Географическое Общество). При президенте Ф. П. Литке в Академии наук с успехом продолжала развиваться традиция организации научных экспедиций.

В период президентства Ф. П. Литке в состав Академии наук вошло 18 новых действительных членов. При Ф. П. Литке стало регулярным проведение торжественных заседаний Академии

наук, посвященных памяти выдающихся деятелей отечественной культуры и науки: М. В. Ломоносова (1865 г.), Н. М. Карамзина (1866 г.), митрополита Е. Болховитинова (1867 г.), И. А. Крылова (1868 г.) и др. В честь юбилея М. В. Ломоносова, по инициативе Ф. П. Литке, императором Александром II была учреждена Ломоносовская премия «за важные изобретения и открытия, сделанные в России». В эти же годы возросли масштабы издательской деятельности Академии наук: Изданы работы математика П. Л. Чебышева, астронома Д. М. Перевощикова, филолога Я. К. Грота, «История России с древнейших времен» С. М. Соловьева, сочинения Г. Р. Державина и т. д.

М. В. Келдыш после избрания Президентом 15 мая 1961 г. организовал представительные торжественные мероприятия по случаю 250-летия Михаила Васильевича Ломоносова (1711–1765), открытие которых проходило в Большом театре. При М. В. Келдыше расцвело издательство Академии наук «Наука»!

Но пойдет ли человечество по пути Разума? Ответ на этот вопрос и есть главный ответ на вызов «века предупреждения».

«Цифровая» и «космическая» цивилизации – это рукотворные системы развития человечества, когда ведущую роль сыграли МАТЕМАТИКА и КОСМОС. А в этих сферах СССР создал такой научный потенциал с помощью ВЕЛИКОЙ Академии наук СССР (1925–1991 гг.) и лучшей в мире системы всеобщего и высшего образования, что был ПЕРВЫМ в космосе и ЛИДЕРОМ в области МАТЕМИКИ. На заседании президентского Совета по науке и образования в День науки 8 февраля 2024 г. вновь заговорили о всеобщем математическом образовании.

Государство российское – сверхдержава на морях и океанах: морскому флоту, морскому делу и морской науке более 300 лет, начиная с реформ Петра Великого в начале 18-го в. Многие выдающиеся мореплаватели были почетными членами Академии наук. И важно помнить главных государственных деятелей, которые создали «Ракетно-ядерный щит» в трех средах (океаны, на земле и в атмосфере, в космосе): министр обороны маршал Д. Ф. Устинов, начальник генштаба маршал С. Ф. Ахромеев, премьер-министр А. Н. Косыгин и Президент АН СССР, Главный Теоретик космонавтики, Главный Математик страны, один из «Трех К» М. В. Келдыш – научный руководитель с 1946 по 1978 г.

МОРСКИЕ ВОЛНЫ ТЕПЛА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

В. С. Травкин [1, 2] ✉, **Н. А.Тихонова** [1, 2], **Е. А. Захарчук** [1]

[1] *СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия*
[2] *ГОИН, Москва, Россия,*
✉ *vtravkin99@gmail.com*

Ключевые слова: морские волны тепла, физика океана, Балтийское море.

За последние десятилетия в Мировом океане существенно выросло число экстремальных событий, являющихся причиной экологических катастроф и социально-экономических потерь. Морские волны тепла (МВТ) являются продолжительными дискретными периодами с аномально теплой водой на поверхности определенной морской акватории. Они обнаружены во многих районах Мирового океана, в том числе в окраинных морях и прибрежных акваториях, а их площадь и период способны достигать нескольких тысяч километров и недель. Отмечается, что интенсивность МВТ наиболее существенна в средних широтах и в некоторых районах может быть связана с крупномасштабными климатическими процессами. Образование МВТ связывают с атмосферными и океаническими процессами. МВТ имеют сильное воздействие на морские организмы и прибрежные экосистемы. Баланс между локальными аномалиями океанических и атмосферных параметров позволяет МВТ существовать в течение нескольких лет.

Балтийское море – внутриматериковое, существенно ограниченное море, целиком лежащее в пределах шельфа. Оно характеризуется сложным очертанием берегов, незначительными средними глубинами и слабым водообменом с Атлантическим океаном. На водосборном бассейне Балтийского моря проживает более 85 млн человек, что свидетельствует об исключительной важности климатических изменений в Балтийском регионе.

Целью нашей работы является выделение МВТ в Балтийском море за 1993–2022 гг. и оценка их основных характеристик:

занимаемой площади, продолжительности существования, интенсивности, кумулятивной величины. Также мы подробно исследуем механизмы образования одной из наиболее продолжительных и интенсивных МВТ, зафиксированной с октября 2000 г. по март 2001 г.

В работе используются данные за 1993–2022 гг. гидрофизического реанализа Балтийского моря BALTICSEA_REANALYSIS_PHY_003_011, доступного на портале Copernicus Marine Service (https://data.marine.copernicus.eu/product/BALTICSEA_REANALYSIS_PHY_003_011/). Основой реанализа является модель NEMO-Nordic. Пространственное разрешение по широте и долготе составляет 2′ и 3′20″ соответственно. По вертикали массив содержит 57 горизонтов от поверхности до глубины 711 м. Вертикальная скорость течений w рассчитывалась на основе уравнения неразрывности.

В работе также используются данные за 1993–2022 гг. глобального климатического реанализа ECMWF ERA5. Пространственное разрешение ERA5 составляет 0,25° по широте и долготе. Массив содержит ежечасные данные за период с 1940 г. по настоящее время. Мы используем данные о потоках коротко- и длинноволновой радиации, а также потоках скрытого и явного тепла на поверхности океана.

Мы также используем данные о скорости и направлении ветра за период 1993–2022 гг. с шести прибрежных станций шведской метеорологической сети. Данные доступны на портале (https://www.smhi.se/).

Полученные результаты свидетельствуют о наибольшем влиянии МВТ на акватории Финского, Рижского и Гданьского заливов, а также на центральную часть Балтийского моря. Наибольшая интенсивность МВТ была зафиксирована в летний период, тогда как в весенний период влияние МВТ минимально. В осенне-зимний период продолжительность МВТ выше по сравнению с осенне-летним периодом. Даже в соседние годы число МВТ, а также их интенсивность и продолжительность могут варьироваться в несколько десятков раз.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ВОЛН НА КОНЕЧНОЙ ГЛУБИНЕ

К. В. Фокина [1] ✉, **А. А. Бухарев** [2]

[1] *ИО РАН, Москва, Россия*
[2] *РГГМУ, Санкт-Петербург, Россия*
✉ *fokinakarina@yandex.ru*

Ключевые слова: прямое моделирование волн, конечная глубина, потенциал скорости, дисперсионное соотношение.

Одной из актуальных задач прикладной океанологии является изучение процесса развития волн в тех участках океана, где влияние дня оказывает заметное влияние на волновые процессы. Мелководные районы в этом отношении представляют собой отличную от глубоководных физическую среду. Спектр ветрового волнения и его эволюция в таких условиях имеет ряд особенностей.

В настоящей работе представлена модификация трехмерной модели ветровых волн FWM для условий конечной глубины. В основе модели лежат полные уравнения потенциальной динамики жидкости со свободной поверхностью. Изначально модель была сформулирована для волн в глубоководных условиях. Для возможности учета в модели значения глубины использовалось обобщение формулы для линейной компоненты потенциала скорости, которая заменяется решением для волн на конечной глубине.

Оценка корректности работы модели проводилась путем сравнения модельных и теоретических расчетов дисперсионного соотношения для волн на произвольной глубине.

В работе показано, что модифицированная модель позволяет воспроизводить эволюцию волн с предельным значением глубины равным 0,1 длины волны пика.

Отметим, что на данном этапе основной целью работы является проверка работоспособности модели в условиях конечной глубины, а не изучение конкретных свойств волн и особенностей

их развития на произвольной глубине. Предлагаемый метод моделирования может быть применен для развития симуляции волнового режима в реальных акваториях при условии использования механизмов учета батиметрии бассейна и задания соответствующих граничных условий.

Исследование выполнено в рамках государственного задания МИНОБРНАУКИ РФ (тема № FMWE-2024-0028).

СИСТЕМА ВАЛИДАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИАГНОЗА И ПРОГНОЗА СОСТОЯНИЯ МОРСКОЙ СРЕДЫ

А. Л. Холод ✉, Ю. Б. Ратнер

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *antonholod@mail.ru*

Ключевые слова: морские прогнозы, оперативная система, валидация, температура, соленость.

Создание, развитие и эксплуатация систем оперативных морских прогнозов является актуальным направлением современной океанологии. Использование таких систем в качестве нового инструмента исследований позволяет рассматривать морские бассейны как единое целое и достигать нового уровня понимания морской динамики, осуществляя синтез знаний отдельных процессов. В ФГБУН ФИЦ МГИ создан Черноморский центр морских прогнозов, где в оперативном режиме работает многокомпонентная система диагноза и прогноза полей Азово-Черноморского бассейна. В исследовательском режиме эксплуатируется система диагноза и прогноза полей Мирового океана.

При создании подобных систем к числу наиболее важных относятся задачи оценки достоверности моделирования гидрофизических полей. Для их решения в составе системы функционирует подсистема валидации результатов модельных расчетов, которая оценивает, насколько результаты работы созданной системы удовлетворяют требованиям потенциальных потребителей, которые были сформулированы перед ее разработкой.

Валидация осуществляется на основе сопоставления данных модельных расчетов с измерениями *in situ* и/или спутниковыми данными о температуре поверхности моря. Подсистема валидации состоит из двух программных модулей. Первый модуль отвечает за формирование совместных выборок. В этом модуле задаются параметры и режимы валидации. На втором этапе выполняется модуль расчета интересующих статистических характеристик и визуализации результатов. Рассчитываются первичные статистики отклонений между сопоставляемыми данными, выполняется пространственно-временной анализ отклонений, анализ зависимости отклонений от внешнего воздействия на морскую среду, определение и расчет основных показателей качества прогноза.

В настоящее время подсистема валидации активно развивается. Конечной целью является создание валидационного спецстенда, который позволит выполнять непрерывный процесс валидации и контроля качества морских прогнозов.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ РЕЧНОГО ПЛЮМА В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ БЕСПРИЛИВНОГО МОРЯ

М. В. Цыганова ✉, Е. М. Лемешко, В. В. Фомин, Ю. Н. Рябцев

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *m.tsyganova@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: прибрежная зона, речной плюм, материковый сток, гидрофронт, численное моделирование, Дунай, Черное море.

Целью данной работы является изучение распространения речных вод при впадении в море, формирования плюма и вдольберегового плотностного течения, оценка их эволюции в зависимости от различных физических параметров и характеристика типичных плюмов для условий северо-западного шельфа Черного моря.

Распространение плюма исследовалось с помощью численного моделирования на основе трехмерной σ-координатной численной модели POM-типа для расчета циркуляции в прибрежной зоне с учетом стока реки. Расчеты проведены для прямоугольной области. В качестве входных параметров модели использованы средне-климатические данные температуры и солености речной и морской воды.

Проведена серия численных экспериментов для различных вариантов влияния внешних факторов: базовый случай при отсутствии ветра с разными расходами реки, солености стока и стратификации морской воды. Получено, что при воздействии речного стока в прибрежной зоне возникает плюм, его структура состоит из антициклонического круговорота, внешняя граница которого образует гидрофронт, а также из вдольберегового плотностного течения, которое переносит распресненные воды. Характерные пространственно-временные масштабы плюма по данным численного моделирования соответствуют теоретическим представлениям, а для условий северо-западного шельфа – независимым оценкам по спутниковым и гидрологическим данным.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме FNNN-2024-0016.

СЕЗОННЫЙ РАЗМАХ ПОВЕРХНОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ

Е. Д. Чернышова ✉, Н. В. Никольский, И. Г. Шокурова

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *alenaksendzik@rambler.ru*

Ключевые слова: Северная Атлантика, фронтальные зоны, горизонтальный градиент температуры, размах сезонного хода.

На основе данных о температуре воды на глубине 0,5 м океанического реанализа ORAS5 (1958–2021 гг.) рассматривается положение океанических температурных фронтальных зон в сравнении с пространственным распределением сезонного размаха

температуры воды в Северной Атлантике. Сезонный размах вычисляется как разница между максимальной и минимальной температурами в климатическом сезонном ходе. Положение фронтальных зон определяется на основе расчета градиентов температуры.

Наиболее высокие значения размаха сезонного хода температуры наблюдаются в средних широтах, уменьшаясь в направлении высоких и низких широт. Получено, что резкие изменения размаха сезонного хода температуры соответствуют положениям температурных фронтальных зон. В областях, примыкающих по обе стороны к фронтальному разделу Гольфстрима, отмечается наибольшая разница значений размаха сезонного хода температуры. Для фронтальных зон, расположенных в субполярной и субтропической зонах эта разница уменьшается.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания FNNN-2024-0014 «Фундаментальные исследования процессов взаимодействия в системе океан-атмосфера, формирующих изменчивость физического состояния морской среды на различных пространственно-временных масштабах».

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ШТОРМОВЫХ ВОЛН И ТЕЧЕНИЙ В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ

В. Чешм Сиахи [1] ✉, **В. Н. Кудрявцев** [1, 2], **М. В. Юровская** [2, 1]

[1] *РГГМУ, Санкт-Петербург, Россия*
[2] *МГИ, Севастополь, Россия*
✉ *vahid@rshu.ru*

Ключевые слова: генерация и эволюция ветровых волн, взаимодействия волн и течения, внетропические циклоны, Атлантический океан, мониторинг и моделирование поверхностных волн.

В данной работе рассматривается взаимодействие поверхностных волн с океанскими течениями в Северной Атлантике. Исследование проводится на основе ежечасных полей ветра из базы данных NCEP/CFSv2, ежесуточных полей течений по данным альтиметрических измерений (данные 3-го уровня), данных

о границе ледяного покрова и результатов моделирования полей волн с использованием параметрической волновой модели, дополненной членами, описывающими взаимодействие волн и течений. Основное внимание уделено исследованию пространственно-временной эволюции полей волн, генерируемых интенсивными циклонами, и трансформации ключевых параметров волн: высоты значительных волн (H_s), длины (λ) и направления спектрального пика (φ) на океанических течениях.

В качестве примера рассматривается шторм Денис (с 12 по 15 февраля 2020 г.), где резкое изменение направления движения циклона привело к образованию мощного ветрового потока (струи) вдоль побережья Гренландии и, как следствие, генерации новой системы ветровых волн, которая у южной оконечности Гренландии «излучалась» в открытый океан в виде зыби.

Модельные расчеты показали существенное влияние Гренландского течения на пространственное распределение H_s, λ и направление распространения фронта зыби. Сравнение наблюдаемых и смоделированных параметров волн показывает, что модель корректно описывает эффекты влияния течения на волны. Включение эффектов течения в волновую модель значительно улучшает результаты, подтверждая критически важную роль течений в формировании полей параметров зыби, выходящей из области сильных штормов.

Второй рассматриваемый сценарий относится к взаимодействию зыби, распространяющейся навстречу Гольфстриму. Модельные расчеты показали, что в этом случае в поле волн проявляется «эффект захвата волн течением». Сопоставление полей волн с учетом и без учета течений показало, что высоты волн в меандрах Гольфстрима значительно превышают «ожидаемые» (при отсутствии течений) значения, демонстрируя тем самым реализацию механизма захвата волн на струйном течении, сопровождаемого появлением аномально высоких волн.

Благодарности: Результаты, представленные в данной работе, получены по госзаданию Министерства науки и образования № 0763-020-0005 и госзаданию ФГБУН ФИЦ МГИ № FNNN-2024-0001.

ХАРАКТЕРИСТИКИ БРИЗОВОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ В НЕЛИНЕЙНОМ РЕЖИМЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ШИРОТЫ

М. В. Шокуров ✉, Н. Ю. Краевская

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *shokurov.m@gmail.com*

Ключевые слова: бризовая циркуляция, внутренняя инерционно-гравитационная волна, гравитационное течение, линейная теория, численное моделирование.

Бризовая циркуляция – распространенное геофизическое явление вблизи берегов водоемов. В рамках линейного подхода известно, что бризовую циркуляцию можно рассматривать как внутреннюю инерционно-гравитационную волну суточного периода, генерируемую на поверхности источником плавучести. Существует отличие средних широт, в которых волна захвачена вблизи поверхности, от тропиков, в которых волна излучается вверх от береговой линии. Другими проявлениями влияния вращения Земли на бризовую циркуляцию являются увеличение вдольбереговой компоненты скорости и изменение горизонтального масштаба бризовой циркуляции с увеличением параметра Кориолиса. Горизонтальный масштаб бризовой циркуляционной ячейки с учетом вращения Земли увеличивается при движении от экватора к 30° широты и уменьшается при удалении от 30°.

Известно, что в наблюдающемся бризе формируется фронт, в области которого отмечаются большие градиенты атмосферных характеристик. Для описания фронта линейная теория не может быть применена, так как она подходит только для слабо меняющихся по пространству и времени полей, поэтому используется метод численного моделирования.

Для описания степени нелинейности бризовой циркуляции использовалось бризовое число (Br), которое определяется как отношение нелинейных адвективных членов к линейным и характеризует степень возмущения фоновой плавучести источником тепла вблизи поверхности.

В данной работе, используя двумерное численное моделирование, исследована зависимость интенсивности и горизонтального масштаба бризовой циркуляционной ячейки от широты при существенном влиянии нелинейности.

Показано, что эти зависимости значительно отличаются от результатов линейной теории. Даны количественные оценки и приведена физическая интерпретация.

Работа выполнена в рамках темы Морского гидрофизического института № FNNN-2024-0014 (шифр «Взаимодействие океана и атмосферы»).

АНАЛИЗ ВЕТРА И ВОЛНЕНИЯ ВО ВРЕМЯ ШТОРМОВ НА ЧЕРНОМ МОРЕ В НОЯБРЕ 2023 ГОДА

М. В. Юровская [1] ✉, **М. В. Шокуров** [1], **В. С. Барабанов** [1], **Ю. Ю. Юровский** [1], **В. Н. Кудрявцев** [2, 1], **О. Т. Каменев** [3]

[1] *МГИ, Севастополь, Россия*
[2] *РГГМУ, Санкт-Петербург, Россия*
[3] *ИАПУ ДВО РАН, Владивосток, Россия*
✉ *mvkosnik@gmail.com*

Ключевые слова: Черное море, экстремальные штормы, моделирование волн, параметрическая модель волн, WAM, WRF.

Черноморское побережье от северо-запада Турции до Грузии, включая Крымский полуостров, сильно пострадало от сильных штормов осенью 2023 г. Цель данного исследования – сравнить эффективность различных подходов к моделированию волн и ветра при экстремальных погодных условиях в Черном море.

Исследование охватывает непрерывный период с 1 по 30 ноября 2023 г., в том числе два сильных шторма с высотами волн до 9–10 м. Моделирование волнения выполняется с использованием модели WAM и двумерной параметрической модели развития по-

верхностных волн. Модели волн запускаются с ежечасными полями ветра, взятыми из четырех наборов данных: реанализа ECMWF (ERA5), операционной модели ECMWF Level-4, NCEP (CFSv2) и региональной модели WRF-ARW с 6-часовым атмосферным прогнозом NCEP/NCAR в качестве входных данных.

Результаты моделирования тестируются на альтиметрических измерениях значительной высоты волн, информации CFOSAT SWIM о длине и направлении доминантных волн, а также данных натурных наблюдений с океанографической платформы в п. Кацивели. Все рассмотренные модели демонстрируют хорошую работоспособность, хотя волновая спектральная модель третьего поколения WAM дает ожидаемо более высокую корреляцию между результатами модельных расчетов и наблюдениями, в то время как параметрическая модель менее точна.

В работе даются рекомендации по комбинированию моделей ветра и волнения для получения наиболее точных прогнозов. Как известно, поля скорости ветра по анализам ECMWF занижены при скоростях ветра более 15–20 м/с. Хотя поправка ветра имеет критическое значение при использовании параметрической модели, WAM лучше воспроизводит наблюдаемые экстремальные волны без нее. Также было получено, что модель WAM с ветрами NCEP и WRF дает завышенную оценку высоты наиболее сильных штормовых волн. При этом улучшение разрешения полей ветра не приводит к существенному улучшению качества прогнозов волнения, что можно объяснить накопительным эффектом ветра при развитии волнения.

Работа выполнена в рамках проекта Минобрнауки России № 075-15-2024-642 «Исследование процессов и закономерностей возникновения, развития и трансформации катастрофических явлений в океанах и на континентах методами сейсмоакустического мониторинга».

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗИМНЕГО ВЫХОЛАЖИВАНИЯ ЧЕРНОГО МОРЯ

Д. А. Яровая ✉, В. В. Ефимов

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *darik777@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: мезомасштабное совместное моделирование море-атмосфера NOW, холодный промежуточный слой, зимнее охлаждение, Черное море.

Цель работы – численное исследование изменений термической структуры верхнего слоя Черного моря во время сезонного зимнего охлаждения на примере зимы 2009−2010 гг. Для этой цели использовалась совместная мезомасштабная модель море – атмосфера NOW с разрешением 2 км, состоящая из морской модели NEMO и атмосферной модели WRF. Воспроизведены изменения, произошедшие в верхнем слое моря за период 01.12.2009–28.02.2010, и рассмотрен временной ход температуры воды на разных глубинах.

Для характерной точки в глубоководной части моря продемонстрировано увеличение со временем толщины верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) и опускание верхней границы холодного промежуточного слоя (ХПС) в результате вовлечения более холодной воды в верхний более теплый квазиоднородный слой. Также показано, что опускание верхней границы ХПС сопровождалось повышением его температуры. Для описания эволюции ХПС во время зимнего охлаждения предложены два критерия – минимальная температура в слое 0−120 м и разность между этой величиной и температурой поверхности моря. Получены вертикальные разрезы температуры на разных стадиях зимнего охлаждения и рассмотрены основные изменения, произошедшие в термической структуре верхнего слоя моря.

Также показано, что влияние граничных условий в виде притока вод с другими свойствами из Мраморного моря может привести к появлению областей, где ХПС, хотя и не выделяется формально, как слой между двумя изотермами 8 °С, но выделяется как промежуточный слой более холодной (на 3−4 °С) воды по сравнению с ВКС.

СЕКЦИЯ 3
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИБРЕЖНОЙ И ШЕЛЬФОВОЙ ЗОН МОРЯ

ДИНАМИКА ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА И ИЗМЕНЕНИЯ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ В РАЙОНЕ БАКАЛЬСКОЙ КОСЫ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

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

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *Annete08@mail.ru*

Ключевые слова: Черное море, Landsat, MODIS, взвешенное вещество, батиметрия.

Прибрежные районы морей являются важной частью водной экосистемы, так как связаны со многими видами деятельности человека: навигацией, рыбным промыслом, рекреацией. Значительные природные и антропогенные нагрузки на прибрежные зоны являются причиной стремительно протекающих в них процессов, приводящих к ухудшению качества вод, исчезновению морской флоры и фауны, эрозии береговой линии, переносу и переотложению донного материала.

Цель данной работы – оценить изменение береговой линии в районе Бакальской косы под влиянием ветрового воздействия по спутниковым данным высокого разрешения.

Для анализа изменчивости положения береговой линии использовался массив данных о яркости восходящего излучения со спутника Landsat (пространственное разрешение 30 м) и сканера MODIS (пространственное разрешение 1 км) за период 2013–2024 гг. Данные сканера MODIS использовались для количественной оценки концентрации взвешенного вещества.

Для выделения береговой зоны и изучения изменения береговой линии использовался ближний ИК-канал (Near Infrared, NIR). Излучение инфракрасного участка спектра поглощается полностью в тонком поверхностном слое моря, не проникая в глубину, что дает резкий контраст между морем и сушей и тем самым позволяет выделить границу между ними. Для разделения суши от воды определялось пороговое значение, равное для большинства снимков 0,07. На основе последовательных снимков были выделены пиксели, соответствующие границе суши.

Таким образом был разработан автоматический алгоритм выделения береговой линии по спутниковым снимкам Landsat-8, -9. Проведен анализ изменения береговой линии по 140 безоблачным снимкам исследуемого района с 2013 по 2024 г. Отмечено максимальное изменение формы острова, бывшей дистальной части Бакальской косы и некоторое его смещение на восток.

Дана оценка влияния различных штормовых ветров на перераспределение взвешенных веществ в Каркинитском заливе и их вклад в изменение береговой линии.

Работа выполнена по гос. заданию FNNN-2024-0012.

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И МЕТОДИКА ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ УСТЬЕВ РЕК КРЫМА

Д. А. Антоненков

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *dmitry_science@mail.ru*

Ключевые слова: методы, приборы, устья рек, экологический мониторинг.

Создание и внедрение новых технических средств и методов при проведении экспедиционных работ дает возможность провести верификацию модельных расчетов путем сопоставления полученных результатов с натурными данными.

В течение ряда лет в МГИ РАН проводятся комплексные экспедиционные исследования в устьях рек Черной, Бельбек, Качи (г. Севастополь).

В ходе данных работ были созданы новые средства и методы проведения экспедиционных исследований. В частности, разработан и апробирован метод определения расхода воды в реках, основанный на видеорегистрации водной поверхности.

Благодаря применению созданной методики, а также современных технических средств получены новые данные о пространственном распределении гидрологических характеристик в устьях, произведена оценка обменных процессов, определен расход воды в периоды межени и паводка для рек Черной, Бельбека, Качи.

ИЗМЕРЕНИЯ ПОТОКОВ И КОНЦЕНТРАЦИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В 131-М РЕЙСЕ НИС «ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ»

А. Ю. Артамонов

ИФА РАН, Москва, Россия
✉ *sailer@ifaran.ru*

Ключевые слова: углекислый газ, потоки парниковых газов, взаимодействие океана и атмосферы.

В связи с увеличивающейся в последние годы антропогенной нагрузкой возрастает актуальность изучения изменений климата, тесно связанных с изменением концентрации парниковых газов. Резкое увеличение почти вдвое концентрации углекислого газа – одного из основных антропогенных факторов, привело к тому, что 2024 г. стал самым теплым годом за историю инструментальных наблюдений за температурой воздуха нашей планеты. Получение новых натурных данных о потоках тепла и климатически активных газов необходимо для выявления региональных особенностей глобальных климатических изменений и экологического мониторинга крымского сектора Черного моря. Эти данные

в дальнейшем могут использоваться при параметризации в моделях деятельного слоя моря и приводного слоя атмосферы.

Подробные исследования пространственной структуры концентрации углекислого газа и интенсивности его потоков на границе двух сред – в приповерхностном слое атмосферы и поверхностном слое вод – проводились в ходе 131-го рейса НИС «Профессор Водяницкий». Работы выполнялись в весенне-летний период (27 мая – 20 июня) 2024 г. вдоль побережья Южного берега Крыма в пределах территориальных вод России. Измерения концентрации CO_2, паров H_2O и метеопараметров (скорость и направление ветра, температура и влажность, давление) осуществлялись на протяжении всего рейса – при движении судна, на дрейфовых станциях и в период ночных стоянок у берега. Использовался газоанализатор CO_2/H_2O открытого типа со встроенным 3D-анемометром (Integrated CO_2/H_2O Open-Path Gas Analyzer and 3D Sonic Anemometer, IRGASON) производства Campbell Scientific, США, который был установлен на носовой мачте судна на высоте 10,4 м. Запись трех компонентов скорости ветра, акустической температуры и концентрации углекислого газа и паров воды осуществлялась непрерывно. По этим высокочастотным данным с использованием метода турбулентных пульсаций (Eddy Covariance) рассчитывались потоки CO_2, явного и скрытого тепла, момент импульса, динамическая скорость ветра. К сожалению, в связи с техническими сложностями по независящим от нас обстоятельствам непрерывная запись координат во время движения отсутствовала, поэтому пока мы не можем сделать коррекцию на скорость судна в явном виде.

Предварительный анализ полученных данных показал существенную пространственную изменчивость измеренных параметров, обусловленную заметными сезонными колебаниями и синоптическими вариациями в системе океан – атмосфера. На особенности пространственных распределений также оказывает влияние несинхронность выполнения съемки.

Показано, что концентрации CO_2 и паров H_2O изменялись от 418 до 450 ppm и от 10 до 21 ppm соответственно. Максимальные концентрации CO_2 (до 456 ppm) наблюдались в ночное время, когда судно стояло на якоре и интенсивность процессов фотосинтеза была минимальной.

В целом диапазон значений концентрации CO_2 и паров H_2O в границах полигона находился в пределах естественной изменчивости этих параметров.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФГБУН МГИ FNNN-2022-0002 «Мониторинг карбонатной системы, содержания и потоков CO_2 в морской среде Черного и Азовского морей» (Шифр: «Карбоновый полигон»). Данные получены в ЦКП «НИС Профессор Водяницкий» ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН».

ГИДРОЛОГО-ЛИТОДИНАМИЧЕСКАЯ ИСТОРИЯ ЛИМЕНСКОЙ БУХТЫ

А. С. Богуславский ✉, С. И. Казаков, И. Г. Берзова, Н. В. Хамицевич

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *al_bhs@mail.ru*

Ключевые слова: Южный берег Крыма, Лименская бухта, литодинамика, гидрология, пляжи.

Рассмотрена гипотеза вероятного происхождения Лименской бухты в результате кардинального изменения рельефа Южного берега Крыма и формы береговой линии в результате мощной гидролого-сейсмогравитационной катастрофы в Черноморском бассейне в начале голоцена.

На основе литературных источников, данных береговых геоморфологических исследований, георадарного профилирования, гидрометеорологических наблюдений и измерений уровня моря рассмотрены изменения гидрологического режима, литодинамических потоков Лименской бухты и ее отдельных участков под действием естественных и антропогенных факторов в обозримый исторический период XX, XXI вв.

Периоды новейшей истории Лименской бухты: 1) 1900–1960 гг.: аккумулятивный – естественные гидролого-

литодинамические условия, формирование природного пляжа бухты; 2) 1960–1980 гг.: абразионный – техногенное разрушение пляжа в ходе строительства береговой инфраструктуры, подмыв и обрушение берегов, берегоукрепительные меры; 3) 1980 г. – н. в.: абразионно-аккумулятивный – восстановление центральных межбунных участков пляжа, формирование нового пляжа в западной части бухты, техногенные изменения гидрологии и литодинамики, усиление абразионных процессов в восточной части бухты.

Работа выполнена в рамках научной темы № FNNN-2024-0016 государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ (2024 г.).

ЧЕРНОМОРСКАЯ ГОЛОЦЕНОВАЯ КАТАСТРОФА В ДИЛЮВИАЛЬНЫХ МЕЗОФОРМАХ РЕЛЬЕФА ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

А. С. Богуславский ✉, С. И. Казаков, Е. Е. Лемешко

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *al_bhs@mail.ru*

Ключевые слова: Южный берег Крыма, рельеф, породные комплексы, дилювий, палеогидрология, голоцен.

Представлены результаты геоморфологических полевых наблюдений, георадарного профилирования, фотограмметрии, палинологического исследования перемещенных массивов пород Кикенеизского, Понизовско-Кацивельского и Симеизского районов Южного берега Крыма, подтверждающие дилювиальное (флювиально-катастрофическое) происхождение этих массивов в результате мощной гидролого-гидродинамической и сейсмогравитационной катастрофы, которая, по данным ряда литературных источников, произошла в Черноморском бассейне в начале голоцена.

Выполнено оконтуривание этих массивов и их границ с массивами Лименской вулканической группы. Под действием поля

тяготения перенос взвешенных турбидных фракций пород, детритового материала и их итоговая аккумуляция, а также перемещение массивов известняковых отторженцев катастрофическими потоками происходило преимущественно по палеодолинам и палеоруслам рек.

В результате катастрофы произошло кардинальное изменение рельефа берега и формы береговой линии. Заполнение палеорусел перемещенными массивами пород – известняковыми отторженцами, каменно-глинистыми навалами и буграми – создало новые емкости и зоны быстрого транзита подземных вод, что подтверждается современным расположением большинства источников в этих зонах.

Работа выполнена в рамках научной темы № FNNN-2024-0016 государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ 2024 г.

ЛАДОЖСКОЕ ОЗЕРО КАК МОДЕЛЬ ДОЛГОПЕРИОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ МИРОВОГО ОКЕАНА

Д. Ю. Большиянов ✉, А. О. Аксенов, А. С. Макаров

ААНИИ, Санкт-Петербург, Россия
✉ *bolshiyanov@aari.ru*

Ключевые слова: Ладожское озеро, долгопериодные колебания уровня озер и морей.

Долгопериодные колебания уровня рассматриваются на временных интервалах в десятки, сотни, тысячи лет.

Ладожское озеро может быть моделью для рассмотрения долгопериодных колебаний уровня морей исходя из следующих его особенностей: уровень озера составляет около 5 м над уровнем океана, что сказывается на озере даже в результате незначительных повышений уровня моря; современные колебания уровня в озере достигают 4 м и они слабо зависят от режима стока и притока поверхностных вод; активные тектонические движения в северной котловине озера играют роль в изменении объема озерной

ванны и высоты береговых линий; на дне озера обнаружены структуры (покмарки, разломы), свидетельствующие о водообмене с подземными водами, роль которых в водном балансе озера до настоящего времени оценена недостаточно.

На берегах Ладоги и Финского залива о событиях повышенного стояния уровня свидетельствуют террасы, береговые валы и бары, возраст которых определяется радиоуглеродным и ИК-ОСЛ методами датирования, а также болотные массивы между береговыми валами, датирование отложений которых также помогает определить хронологию трансгрессивно-регрессивных событий.

На берегах озера во время падения уровня, достигнутого в течение Ладожской трансгрессии, сформированы три террасы высотой 6–7, 8 и 14–16,5 м. Начало регрессии зафиксировано формированием первых береговых валов на высоте 16,5 м 2900 л. н. Регрессивная фаза продолжалась до 2100 л. н. В этот период сформировалась третья абразионно-аккумулятивная терраса на высоте 14–16,5 м. Последовавшая за ней фаза стагнации в интервале 2100–800 л. н. выразилась в образовании второй 7–8-метровой террасы с большим количеством береговых валов. Заключительный этап снижения уровня Ладожского озера, который привел к формированию первой террасы, начался 800 л. н. Последняя постоянно переформируется в современную эпоху благодаря циклическим колебаниям уровня озера.

Более ранние колебания уровня зафиксированы береговыми валами возрастом 3500 и 5000 лет. Максимальные высотные отметки голоценовых береговых линий Ладожского озера фиксируются на высотах до 21 м. Эта трансгрессия сопрягается с Литориновой трансгрессией Балтийского моря, возраст которой (ИК-ОСЛ возраст 6,9 тыс. лет) определился по морским береговым отложениям Финского залива в районе пос. Чулково, находящимся на высоте 20 м над современным уровнем моря. К настоящему времени найдены береговые линии и отложения плейстоценовых морских и пресноводных бассейнов.

Таким образом, облик рельефа побережий Ладожского озера сформировался благодаря постоянным колебаниям уровня моря, а на заключительных фазах Ладожской трансгрессии – в результате собственных колебаний уровня озера.

Определенные на такой же методологической основе колебания уровня российских арктических морей, морей Южного океана показывают значительные (до 20 м) и неоднократные трансгрессии в ходе голоцена и заставляют задуматься о причинах изменений уровня Мирового океана, которые имеют эвстатическую и тектоническую природу, но слабо связаны с ледниковыми событиями.

Исследование выполняется за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00273 https://rscf.ru/project/23-27-00273/.

ИСТОЧНИКИ И ДИНАМИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОД ЗАЛИВА НАХОДКА И ЕГО БУХТ

Н. Н. Бортин ✉, А. М. Горчаков

ДальНИИВХ, Владивосток, Россия
✉ *nbortin@mail.ru*

Ключевые слова: Экологическое состояние, источники загрязнения вод и донных отложений, антропогенная нагрузка, урбанизированные территории, динамика индекса загрязнения вод.

В докладе представлена краткая характеристика природных условий залива Находка и его бухт (Находка, Врангеля, Козьмина, Новицкого и Лашкевича), анализ качества вод и донных отложений.

Основными источниками загрязнения вод и донных отложений залива являются: городские и промышленные стоки города-порта Находка и г. Партизанска, а также сток реки Партизанской с притоками Сергеевка, Ратная, Мельники, Тигровая и Водопадная.

Выделены некоторые особенности залива Находка по сравнению с другими частями залива Петра Великого, которые обусловливают особое распределение и перенос загрязняющих веществ в заливе.

К числу таких особенностей относятся следующие:

1. Около 34 % общей площади залива Находка относится в мелководной зоне, где глубины ниже 15 м, включая все бухты залива. При этом в мелководной зоне находятся все порты, которые расположены в заливе Находка: Восточный порт в бухте Врангеля; Находкинский морской порт (торговый, рыбный, лесной) в бухте Находка; Находкинский нефтеналивной порт в бухте Новицкого; нефтеналивной порт «Козьмино» (бухта Козьмина).

2. Залив Находка характеризуется сложностью гидродинамических и гидрометеорологических условий, значительным влиянием на динамику водных масс и состояние залива стока реки Партизанской, постоянным течением залива Петра Великого, разнонаправленными ветровыми и приливными течениями, приводящими к неравномерному распределению и разнонаправленному перемещению загрязнения по акватории залива. Движение вод охватывает верхний 20-метровый слой, а в северной части залива – всю толщу воды.

3. Район залива Находка находится в муссонной климатической зоне. Побережье полузакрытых бухт залива Находка подвержено воздействию цунами. При этом подъем уровня в заливе Находка достигал на отдельных участках побережья 2,5 м.

4. К северному берегу залива Находка выходит долина реки Партизанской, приносящей в зависимости от водности года до 40 % всех загрязнений в залив.

Динамика индекса загрязнения вод залива в целом характеризуется положительным трендом, диапазон изменений ИЗВ в целом по заливу от 0,7 до 1,55.

На основании результатов гидрохимических исследований на акватории залива выделены три зоны:

– наиболее загрязненная бухта Находка;

– загрязненная северная часть залива, а также бухты Врангеля и Новицкого;

– относительно чистая южная часть залива.

Распределение концентраций ЗВ в воде залива Находка по глубине и по времени довольно хаотично, без выраженных тенденций.

Загрязнение донных отложений залива Находка и его отдельных бухт характеризуется значительным (более чем в 50 раз) превышением допустимой концентрации отдельных компонентов.

Если загрязнение залива в целом не вызывает социальной напряженности, то загрязнение его бухт требует вмешательства в плане организации мероприятий, направленных на снижение антропогенной нагрузки на эти объекты.

ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ АКВАТОРИИ ЧЕРНОГО МОРЯ В ЛЕТНЕ-ОСЕННИЙ ПЕРИОД 2023 ГОДА

Е. И. Бурдина✉, Т. Е. Баскакова, А. В. Трушков, Т. Б. Картамышева, Е. А. Шевцова

АзНИИРХ, Ростов-на-Дону, Россия
✉helensine@yandex.ru

Ключевые слова: северо-восточная акватория Черного моря, насыщение кислородом, водородный показатель, минеральный азот, антропогенная нагрузка.

В летне-осенний период 2023 г. средняя концентрация растворенного кислорода в деятельном слое Кавказского и Крымского секторов Черного моря составляла 7,40 и 7,77 мг/дм^3 соответственно. Распределение насыщения воды кислородом в поверхностном слое обоих секторов соответствовало сезонному антициклоническому состоянию водной среды: прибрежная зона Кавказского побережья и часть Крымского были повсеместно недонасыщены кислородом, и только локальные акватории выделялись высоким насыщением: в створах Дагомыса (115 %) и Феодосийского залива (112 %). Максимум насыщения воды кислородом отмечался в западном районе Крымского сектора (Симеиз – 120 %) вследствие влияния Основного Черноморского течения. В центре циклона глубоководной зоны Кавказского сектора (г. Геленджик), где температура воды была на 3 °С ниже окружающих вод, интенсивность фотосинтеза оказалась достаточно высокой (108 %).

Значительное снижение насыщения кислородом (< 95 %) в поверхностном слое в створах гг. Туапсе, Сочи и Алушты явилось следствием процессов деструкции органического вещества как природного, так и антропогенного происхождения. В районе влияния прибрежного апвеллинга (Анапа – Дюрсо) насыщение воды кислородом снижалось до минимума (88 %).

Водородный показатель (pH) в деятельном слое северо-восточной акватории Черного моря в летне-осенний период в среднем составлял 8,21 усл. ед. (Кавказский сектор) и 8,12 усл. ед. (Крымский сектор). Следует отметить, что в поверхностном слое исследуемой акватории регистрировалось резкое снижение значения pH в створах г. Сочи и Туапсе до 8,06 и 8,11 усл. ед. соответственно, что могло быть следствием увеличения антропогенной нагрузки в исследуемый период. К природному влиянию можно отнести снижение pH до значения менее 8,25 усл. ед. при развитии прибрежного апвеллинга в створе Утриша. Высокий уровень водородного показателя (> 8,35 усл. ед.) в поверхностном слое (0–50 м) был зафиксирован локально при активном процессе фотосинтеза в прибрежной зоне у м. Дагомыс и в глубоководной зоне циклона (г. Геленджик).

Величина окислительно-восстановительного потенциала (Eh) в деятельном слое в среднем составила в Кавказском и Крымском секторах 163 и 151 мВ соответственно, при варьировании по вертикали в широком диапазоне от 110 до 187 мВ. В целом величина окислительно-восстановительного потенциала, как и pH, отражала влияние Основного Черноморского течения, разграничивающего прибрежные антициклонические воды от вод открытого моря.

Особенностью содержания аммонийного и нитритного азота в летне-осенний период 2023 г. стало значительное его уменьшение в деятельном слое Крымского сектора, что, вероятно, было связано с интенсивным потреблением аммония при снижении температуры воды на 4 °C по сравнению с Кавказским сектором и смене доминантных видов водорослей летней вегетации на доминантные виды водорослей осенней вегетации. Максимальное количество аммония фиксировалось в акватории Феодосийского

залива (0,051 мг/дм^3) и г. Сочи (0,048 мг/дм^3), а нитритов – в акватории г. Туапсе и Новороссийской бухты (0,005 мг/дм^3), что характерно для районов повышенного антропогенного влияния.

Среднее содержание нитратов в деятельном слое обоих секторов составило 0,013 мг/дм^3 при широком варьировании от 0,003 до 0,035 мг/дм^3. Истощение нитратов в результате фотосинтеза до значений < 0,005 мг/дм^3 в поверхностном слое наблюдалось в акваториях прибрежной зоны (Дагомыс, Анапа, Джубга, Феодосийский залив, Симеиз) и в центре циклона (г. Геленджик).

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОД ТАГАНРОГСКОГО И ТЕМРЮКСКОГО ЗАЛИВОВ АЗОВСКОГО МОРЯ РТУТЬЮ В 1991–2023 ГОДАХ

М. В. Буфетова [1] ✉, **А. Н. Коршенко** [2]

[1] *МГРИ, Москва, Россия*
[2] *ГОИН, Москва, Россия*
✉ *mbufetova@mail.ru*

Ключевые слова: ртуть, вода, загрязнение, Таганрогский залив, Темрюкский залив, Азовское море.

Северо-восточная часть Азовского моря представляет собой обширный эстуарий р. Дон – Таганрогский залив, а на юго-востоке расположен эстуарий р. Кубани – Темрюкский залив. С геохимической точки зрения в эстуариях проходит важнейший геохимический барьер, по разные стороны которого существуют различные условия среды осадкообразования, приводящие к резкому изменению интенсивности миграции химических элементов, их концентраций и форм миграции.

К приоритетным загрязняющим веществам относится ртуть, которая относится к I классу опасности и имеет прямое токсическое действие на водные биологические ресурсы. Предельно допустимая концентрация ртути в воде объектов рыбохозяйственного значения составляет для пресных вод 0,01 мкг/л, для морских – 0,1 мкг/л.

Отбор проб воды проводился в устьевой области р. Дон и в Таганрогском заливе. В Темрюкском заливе пробы воды отбирались на устьевом взморье рукава Кубань и рукава Протока, в устьевой области Кубани в гирлах лиманов и в низовьях дельты Кубани у пос. Ачуево и в Петрушином рукаве. Определение содержания растворенных в воде соединений ртути с применением атомно-абсорбционного метода производилось в лаборатории Ростовского ЦГМС.

В устьевой области р. Дон концентрация ртути с 1993 по 2000 г. постоянно превышала ПДК и находилась в диапазоне 0,1–0,9 мкг/л. С 2001 г. отмечается снижение концентраций. В 2020–2023 гг. значения концентрации ртути в устьевой области р. Дон составляли 0,01–0,04 мкг/л (среднее 0,023 мкг/л). Период 1991–2005 гг. характеризуется хроническим загрязнением воды Таганрогского залива ртутью со значениями до 1,8–5,7 ПДК. Далее концентрация снижалась, и в 2010–2023 гг. ее значения находились в диапазоне 0,01–0,03 мкг/л в поверхностном горизонте воды. В придонном слое воды на некоторых станциях в восточной части залива, в частности в прибрежной зоне г. Таганрога и г. Ейска отмечались более высокие концентрации ртути (0,029–0,04 мкг/л).

В Темрюкском заливе превышения ПДК фиксировались в период с 1991–2005 гг. (до 7 ПДК), в последующие годы содержание ртути плавно снижалось и в 2023 г. в среднем оно составило 0,017 мкг/л.

Для установления сезонных трендов изменения концентрации ртути были пересчитаны в относительные единицы по отношению к максимальному их значению. Наибольшие значения средней относительной концентрации ртути в воде Таганрогского и Темрюкского заливов за весь период исследований наблюдались летом (июль – август) и осенью (сентябрь – октябрь). Весной (март – апрель) средние относительные концентрации были ниже. Это можно объяснить тем, что более высокая температура воды в летний и осенний периоды могла способствовать биогенной и абиогенной трансформации органических веществ в донных отложениях и, как следствие, активизации процессов, спо-

собствующих переходу ртути из них в водную толщу. При повышении температуры воды также возможно усиление процессов метилирования ртути.

О СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОД СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

А. А. Валле

Институт природно-технических систем, Севастополь, Россия
✉ *ogorodovaa.a@mail.ru*

Ключевые слова: температура, соленость, кислородный режим, северо-западная часть Черного моря, приустьевой район Дуная.

Северо-западная часть Черного моря (СЗЧМ) представляет собой уникальный регион, в котором благодаря влиянию стока четырех рек: Дуная, Днепра, Днестра и Южного Буга – сформировались особые гидрологические, гидрохимические и гидробиологические условия. Вклад реки Дунай составляет более 75 % среднегодового речного стока в СЗЧМ. С речными водами в СЗЧМ поступают различные отходы десяти государств Европы. В связи с этим район Черного моря испытывает очень интенсивную антропогенную нагрузку.

Как известно, одним из основных гидрохимических параметров, характеризующих экологическое состояние вод, является растворенный кислород, содержание которого зависит от гидрологических и гидробиологических параметров. Анализ содержания растворенного кислорода, температуры и солености в слое 10–30 м в СЗЧМ и в приустьевом районе Дуная, включая их сезонную изменчивость, с учетом данных наблюдений, полученных после 2010 г., актуален и ранее не проводился.

Анализ гидролого-гидрохимических характеристик показал следующее. В СЗЧМ и приустьевом районе Дуная доминирующим является годовой сигнал. Исключение составляет соленость на горизонте 30 м в районе устья Дуная, где преобладает полугодовая гармоника. Последнее связано не только с уменьшением

амплитуды сезонного хода солености с глубиной, но и с меньшей обеспеченностью и большей зашумленностью данных наблюдений на горизонте 30 м. В сезонном ходе температуры и растворенного кислорода годовой сигнал выделяется отчетливее, чем в солености. Внутригодовые колебания растворенного кислорода, температуры и солености в приустьевом районе Дуная имеют большую амплитуду по сравнению с северо-западной частью Черного моря. Значительное влияние на формирование гидролого-гидрохимического режима оказывает ветровой режим. В весенний период преобладают южные ветры, которые «запирают» распресненные и насыщенные кислородом воды у западного побережья.

ВЛИЯНИЕ ПОТЕПЛЕНИЯ И ДЕОКСИГЕНАЦИИ НА ЭКОЛОГИЮ ХОЛОДНОВОДНЫХ КОПЕПОД ГЛУБОКОВОДНЫХ РАЙОНОВ ЧЕРНОГО МОРЯ

Е. Ф. Васечкина [1], В. В. Мельников [2], В. Н. Белокопытов [1], А. В. Масевич [1] ✉

[1] *МГИ, Севастополь, Россия*
[2] *ИнБЮМ, Севастополь, Россия,*
✉ *sevlin@rambler.ru*

Ключевые слова:. Черное море, деоксигенация, потепление, копеподы, рыбы-планктонофаги.

В Черном море сохранилось реликтовое сообщество холодноводных видов, существующее благодаря холодному промежуточному слою, условия образования которого такие же, как и в умеренных и полярных широтах, где вертикальная конвекция ограничена по глубине галоклином. До конца прошлого века считалось, что нижняя граница жизни для этих видов в Черном море должна непременно сочетаться с гарантированным наличием следов сероводорода. Однако, в конце 1980-х – начале 1990-х гг. между кислородной зоной и сероводородными водами был открыт третий, или субкислородный, слой (СКС) толщиной 30–50

м, в котором нет ни кислорода, ни сероводорода в аналитически значимых значениях. Было установлено, что нижняя граница жизни зоопланктона в Черном море четко соответствует верхней границе этого слоя, где при концентрации кислорода 10 мкМ формируются плотные скопления холодноводных копепод в дневное время и где в теплое время года скапливаются их немигрирующие особи в диапаузе.

За последние десятилетия из-за деоксигенации глубин моря верхняя граница СКС поднялась к поверхности почти на 50 м. В середине 1980-х начался период антропогенной эвтрофикации и интенсивного загрязнения моря: в его глубины устремился поток органического вещества, на окисление которого потребовался дополнительный кислород. Вертикальный водообмен не обеспечивал достаточное количество кислорода, чтобы компенсировать растущее его потребление. В итоге за в период с 1955 по 2013 г. запасы кислорода в Черном море сократились на 44 %, а глубина проникновения кислорода уменьшилась со 140 м в 1955 г. до 90 м в 2013 г. После существенного уменьшения интенсивности эвтрофикации в 1995 г. ожидалось, что глубины моря вновь насытятся кислородом, но этого не произошло из-за климатических изменений. К настоящему времени деоксигенация привела к тому, что глубина верхней границы субкислородной зоны (слоя агрегации копепод) в центральных районах моря поднялась до глубины 75–80 м и почти совпала со слоем обитания черноморского шпрота *Sprattus sprattus phalericus*. Поэтому вопрос о возможности выедания рыбами популяции *Calanus euxinus* в результате подъема субкислородного слоя имеет принципиальное значение для понимания перспектив дальнейших изменений жизни в Черном море. С этой целью мы разработали структурированную модель жизненного цикла и изменений популяций калануса для того, чтобы понять, как изменения структуры вод повлияли на распределение копепод и их трофические связи с рыбами планктонофагами. Численные эксперименты показали, что в случае попадания всей популяции *C. euxinus* в слой обитания черноморского шпрота *S. sprattus* начинается постепенное сокращение численности популяции копепод за счет выедания ее резервного фонда, представленного особями в диапаузе. Именно такая ситуация наблюдается на большей части глубоководной зоны моря,

где предельная глубина погружения калянуса, ограниченная изооксигеной 10 мкМ или 0,2 мл/л, в последние годы находится на глубине 75–80 м, т. е. в зоне обитания холодноводных рыб-планктонофагов. Дальнейшее сокращение общей толщины кислородного слоя из-за продолжающейся деоксигенации глубин в глубоководной зоне моря может привести к существенному сокращению запасов кормового зоопланктона, основу которого составляют холодноводные виды копепод.

СПЕЦИФИКА АРХЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ ГЛУБОКОВОДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

В. В. Вахонеев

СевГУ, Севастополь, Россия
vvvkerch@mail.ru✉

Ключевые слова: глубоководная археология, морской шашень, Черное море, кораблекрушение, телеуправляемый подводный аппарат.

Современный этап развития подводной археологии на Черном море характеризуется ускоренным внедрением новых технологий. Все чаще в исследованиях используются аппараты, позволяющие проникать на глубины свыше 2000 м и работать в бескислородном слое. Интенсивно развивается международное сотрудничество, что наряду с применением высоких технологий резко контрастирует с предыдущими этапами развития подводной археологии в данном регионе. Широко применяются технологии фотограмметрии и трехмерного моделирования подводных объектов культурного наследия.

ТНПА успешно использовались для исследования таких кораблекрушений в акватории Крыма, как «Херсонес А», «Форосский византиец», «Балаклава-1» и «Балаклава-2». А история активного применения подобных аппаратов на Черном море началась более четверти века назад. В 1999 г. экспедиция Института

океанографических исследований (США) провела съемку континентального шельфа возле центральной части северного турецкого побережья, на траверзе морского порта Синоп. Одной из задач экспедиции было подтверждение теории о том, что Черное Море 7,5 тыс. лет назад являлось пресноводным озером, а в период голоцена соленые воды Средиземного моря прорвались через Босфор и вызвали смешение слоев, гибель пресноводной экосистемы и образование анаэробного слоя на глубине более 200 м.

В 2015–2017 гг. в рамках крупного международного британско-болгарского проекта «Морская археология Черного моря» (Black Sea MAP) в акватории Болгарии было обнаружено 65 кораблекрушений, датируемых периодом от IV в. до н.э. до XIX в. н. э. Обломки кораблей были обнаружены на глубинах от 40 до 2200 м – затонувшие корабли на больших глубинах показали исключительную археологическую сохранность из-за бескислородного слоя в Черном море ниже глубины 220 м.

Вместе с этим следует отметить, что морская среда в своей фундаментальной основе является крайне агрессивной средой по отношению к затонувшим объектам, будь то деревянные кораблекрушения античной либо средневековой эпохи или железные XIX–XX вв.

Современное научное сообщество пришло к выводу, что приоритетной формой сохранения подводного культурного наследия является его оставление *in situ*. Исследователи согласны с тем, что археологические объекты лучше всего сохраняются под слоями донных отложений или в соленой воде. Обычно все выступающие над грунтом части объекта наиболее активно разрушаются, в то время как погребенная в донных отложениях часть сохраняется гораздо лучше. Увеличившееся в последнее время антропогенное воздействие и даже прогнозируемые климатические изменения, очевидно, необходимо дополнительно учитывать в вопросах сохранения подводных археологических памятников.

Помимо мало изученных химических факторов, основную угрозу могут представлять биологические. В первую очередь это касается ареала обитания морского шашеня (*teredo navalis*). Как

известно, данный моллюск является основным вредителем органики на затонувших объектах, в первую очередь дерева, поселяясь на них.

Таким образом, участки континентального склона и котловина Черного моря, несмотря на возможные климатические изменения в будущем, останутся наиболее благоприятными для сохранения подводных археологических объектов. Тут почти не проникает солнечный свет, температура воды достаточно низкая и постоянная, течения достаточно низкие.

ОБНАРУЖЕНИЕ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПЛЕНОЧНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Н. В. Волкова, Д. С. Лубнин, М. В. Зимин ✉

ГК «СКАНЭКС», Москва, Россия
✉ *nevtushenko@scanex.ru*
ag-privat@mail.ru

Ключевые слова: пленочные загрязнения, машинное обучение, радиолокационная съемка, нефтяные пятна, морские сервисы.

ГК «СКАНЭКС» уже более 10 лет занимается разработкой сервисов оперативного мониторинга морских акваторий в интересах различных государственных и бизнес-структур: нефтяных компаний, ведомств и служб МЧС, Минприроды, Минтранса, экологических организаций и местных администраций России и др.

Одной из основных задач оперативного мониторинга является обнаружение пленочных загрязнений на поверхности акваторий. С опорой на богатый собственный опыт и технологические решения ведется разработка сервиса для детектирования пленочных загрязнений методами машинного обучения. Для этого проведена работа по подготовке первичного набора эталонов. Выде-

лено несколько классов, включающих антропогенные загрязнения с движущихся судов и стационарных объектов (платформ, судов на якорных стоянках и пр.) и пленочные образования природного происхождения. При этом рассматривались не только отдельные характеристики пленочных загрязнений, но и других сликообразующих явлений. Кроме того, при создании эталонов учитывалась контекстная обстановка для каждого объекта. Была использована дополнительная информация о конкретной акватории, которая включала в себя набор различных объективных океанографических, гидрометеорологических, навигационных и индустриальных факторов (в частности, данных навигационных карт, батиметрии, нефтегазового комплекса, полей ветра и ГМУ), а также комплексная информация о водном бассейне, характеризующая место обнаружения пятна, и окружающая судовая обстановка. Была создана карта положения источников естественных нефтепроявлений на основе мультивременного анализа снимков и батиметрических данных.

Использование большого количества дополнительной информации позволило создать качественный набор эталонов, тем самым повысить эффективность машинного обучения. Полученные результаты отличаются высокой точностью распознавания антропогенных пленочных загрязнений.

Работа выполняется в рамках реализации «дорожной карты» «Развитие высокотехнологичного направления «Перспективные космические системы и сервисы» на период до 2030 года». В нее также входят задачи по реализации алгоритмов машинного обучения для автоматизации проводки судов в условиях затрудненной навигационно-судовой обстановки, классификации опасных ледовых явлений, а также для детектирования в акватории нелегальных судов, находящихся в режиме радиомолчания (с выключенной Автоматической идентификационной системой).

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ НА ДИНАМИКУ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ЮГО-ЗАПАДНОГО КРЫМА

Ю. Н. Горячкин, В. Ф. Удовик ✉

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *udovik_uvf@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: динамика береговой зоны, инвестиционные проекты, Юго-Западный Крым, берегоукрепительные сооружения, бюджет наносов.

Расширение объема и спектра услуг в области туризма и рекреации на юго-западном побережье Крымского полуострова, несомненно, является одним из перспективных направлений развития экономики Крыма и Севастополя. Планируемая реализация масштабных инвестиционных проектов естественным образом предполагает комплексное освоение прибрежных территорий и создание новых курортов. Основой рекреационного потенциала и инвестиционной привлекательности застраиваемых территорий выступают существующие широкие природные песчаные пляжи.

Практически во всех проектных решениях предусмотрено комплексное благоустройство пляжных территорий и строительство протяженной прогулочной набережной, которая должна выступать и в качестве берегоукрепительного сооружения. Кроме того, некоторые проекты предполагают строительство поперечных гидротехнических сооружений гравитационного типа и яхтенных марин. При этом в открытых источниках к ознакомлению и возможному обсуждению специалистами предлагается исключительно краткая информация из пресс-релизов и размещаются визуализации различного рода эскизных проектов и архитектурных концепций.

Анализ имеющейся информации показывает, что при выработке отдельных проектных решений не учитывается такой весомый факт, что в случае полной реализации всех запланированных

проектов все возводимые объекты будут расположены в границах единой замкнутой литодинамической системы, простирающейся от Севастополя до Евпатории.

Соответственно, в отдельных проектах необходимо учитывать степень их влияния на динамику береговой зоны не только на смежных участках, но и в рамках всей литодинамической системы, так как природные процессы протекают независимо от территориальных границ и ведомственной принадлежности. При этом прогнозные оценки развития берегов и расчеты эксплуатационных расходов должны охватывать весь запланированный период использования возводимых объектов с учетом долгосрочных трендов и отложенных эффектов.

Рекомендуется проектным организациям, инвесторам и органам власти еще на этапе разработки проектов планировки территории обратить особое внимание на следующие основные положения и прогнозные оценки, полученные в результате научных исследований динамики береговой зоны Юго-Западного Крыма и подкрепленные данными натурных наблюдений.

Морфометрические характеристики пляжей могут изменяться в достаточно широких пределах на масштабах отдельного шторма, а также сезонной и межгодовой изменчивости волнового режима.

Закрепление протяженных участков абразионного берега к югу от оз. Кызыл Яр приведет к увеличению дефицита бюджета наносов и тенденции к сокращению ширины пляжей в границах всей литодинамической системы.

Строительство яхтенных марин и других поперечных гидротехнических сооружений неизбежно приведет к прерыванию вдольбереговых миграций наносов с неизбежным увеличением амплитуды смещений береговой черты на смежных участках береговой зоны после прохождения штормов.

Попытки искусственного увеличения ширины песчаных пляжей не дают желаемого эффекта и приводят к существенному увеличению стоимости проекта.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № FNNN-2024-0016.

ОЦЕНКА КЛИМАТИЧЕСКОГО ТРЕНДА pH В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ ОТКРЫТОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ ЗА ПЕРИОД С 1977 ПО 2022 ГОД

Е. А. Гребнева

Институт Природно-технических систем, Севастополь, Россия
✉ *Lenagrebneva12@gmail.com*

Ключевые слова: глубоководная часть Черного моря, поверхностный слой, величина pH.

Изменение pH в поверхностных водах Мирового океана является одним из ключевых аспектов изменения климата антропогенного происхождения. Значение pH воды зависит от концентрации в ней ионов водорода. Глобальное потепление и влияние антропогенных факторов, таких как выбросы парниковых газов, имеют прямое отношение к изменению pH в морских водах.

Океаны поглощают значительное количество углекислого газа (CO_2) из атмосферы, что приводит к образованию угольной кислоты в воде и снижению ее pH. Это явление получило название ацидификация. Оно становится все более значимым в условиях растущего антропогенного воздействия на климат.

Черное море, как часть Мирового океана, также подвержено антропогенным воздействиям, возникающим в результате роста концентрации CO_2 в приводном слое тропосферы. По имеющимся региональным данным о величине pH первые оценки негативной тенденции pH получены лишь до второй половины XX в. Только с 2019 г. в Институте природно-технических систем (ИПТС) началось формирование регулярно пополняемого массива данных о pH в водах Черного моря. Накопленные за последние годы данные экспедиционных исследований совместно с архивными материалами позволили уточнить скорость подкисления поверхностного слоя вод Черного моря.

В результате применения разработанной методики учета закономерностей пространственного распределения и внутригодового хода pH в условиях ограниченности данных полевых исследований получено, что значения pH снижались за период с 1977

по 2022 г. со средней скоростью около 0,11 ед. pH за 45 лет. Полученный результат соответствует оценкам тенденции к увеличению кислотности поверхностных вод других регионов Мирового океана в эпоху наблюдаемой антропогенной нагрузки.

Работа выполнена в рамках госзадания ИПТС № госрегистрации 124020100120-9.

СОСТОЯНИЕ И ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПОДВОДНОЙ МЕРЗЛОТЫ НА ПРИБРЕЖНОМ ШЕЛЬФЕ МОРЕЙ ЛАПТЕВЫХ И ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО

М. Н. Григорьев
ИМЗ СО РАН, Якутск, Россия
✉ *Grigoriev@mpi.ysn.ru*

Ключевые слова: подводная реликтовая и новообразованная мерзлота, динамика кровли мерзлоты на шельфе, многолетнемерзлые породы, солевое воздействие на мерзлые субаквальные толщи, температурный режим.

В эпохи прошедших морских регрессий арктический мелководный шельф морей осушался, а его толщи промерзали на десятки и сотни метров. Подводная мерзлота или субаквальные многолетнемерзлые породы (СММП) в прибрежно-шельфовой зоне морей Российской Восточной Арктики наблюдалась в ряде относительно неглубоких буровых профилей. Данных о СММП на приглубом шельфе этих морей практически нет. Их мощность и контуры распространения на шельфе достоверно неизвестны.

Особенности эволюции верхних горизонтов СММП зависят от температурного режима и солености придонной воды, темпов отступания или выдвижения берегов, уклонов подводного берегового профиля, морфологии береговой зоны и конфигурации береговой линии, степени открытости к морскому влиянию, характера осадков, слагающих берег и подводный береговой склон, льдистости субстрата, гидро-литодинамических параметров.

Данные, полученные по немногочисленным буровым и геофизическим профилям на прибрежном шельфе, показывают значительные вариации в уклонах поверхности и темпах деградации мерзлоты сверху при довольно «высоких» температурах −1, −2 °С в ее толщах на расстоянии уже в первых километрах от берега. Уклон кровли подводной мерзлоты в прибрежно-шельфовой зоне исследуемых морей в среднем составляет от 1 до 0,1°, а скорость деградации верхних горизонтов реликтовых СММП оценивается в первые десятки сантиметров в верхней части подводного берегового склона и до долей сантиметра в год в нижней его части. Имеющиеся материалы показывают, что в прибрежно-шельфовой зоне морей Лаптевых и Восточно-Сибирского подводная реликтовая мерзлота распространена на большей части подводного склона в прибрежно-шельфовой зоне. Ее мощность оценивается в первые сотни метров. Новообразованные СММП формируются в пределах авандельт и в мелководных заливах, где развит процесс аккумуляции осадков, при глубинах, не превышающих двух метров, где промерзание донных толщ происходит в зимний период через морской лед.

Исследование выполнено при поддержке научного проекта НИОКТР 122011400151-0 «Деградация мерзлоты и трансформация рельефа в береговой зоне и на шельфе арктических морей восточного сектора РФ: Динамика, прогноз и риски».

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА: ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ, ПОТОКИ, УРОВНИ НАГРУЗКИ

К. И. Гуров ✉, Е. А. Котельянец, А. А. Журавлева, Д. А. Кременчуцкий

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *gurov@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: Керченский пролив, донные отложения, радионуклиды, тяжелые металлы, потоки.

Керченский пролив – судоходная артерия, соединяющая Черное и Азовское моря и играющая важную роль

в промысловой, социально-экономической и туристической деятельности. Пространственная неоднородность скоростей осадконакопления, свалки грунта, а также изменение водообмена через пролив привело к перераспределению типов отложений в проливе и изменению их гранулометрического состава. Изменение типов отложений и активное накопление илистого материала способствуют концентрированию различных загрязняющих веществ (например, тяжелых металлов) и их возможному поступлению в придонный слой вод.

Тяжелые металлы (ТМ) попадают в акваторию из атмосферы и с поверхностным стоком, а затем накапливаются в отложениях. Причиной повышенного внимания к изучению тяжелых металлов в донных отложениях является то, что эти вещества в высоких концентрациях вредны как для водных организмов, так и для здоровья человека из-за своей стойкости, биоаккумуляции и токсичности.

Количественные характеристики и закономерности распределения тяжелых металлов в акватории Керченского пролива ранее уже исследовались, однако с учетом особенностей накопления илистого материала в проливе последние данные значительно устарели и требуют обновления. Кроме того, работы по оценке потоков тяжелых металлов в донных отложениях Керченского пролива ранее не проводились.

Данные были получены в июле и сентябре 2020 г. Было отобрано 12 проб поверхностного слоя (0–5 см) и четыре колонки донных отложений. Пробы поверхностного слоя (0–5 см) осадков отбирали с помощью дночерпателя Петерсона. Валовое содержание Cr, Cu, Ni, Pb, Zn Mn, Fe в донных отложениях определялось методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) с применением спектрометра «СПЕКТРОСКАН МАКС-G» НПО «СПЕКТРОН». Количественные значения потока исследуемых ТМ рассчитывались с использованием величины потока вещества в донные отложения (MAR), полученной с учетом скоростей осадконакопления (SAR).

Поверхностный слой отложений Керченского пролива представлен заиленными песками, образованными из фракций мелкозернистого песка (в среднем 47 %) и алеврито-пелитового ила (в среднем 4 %), а также гравийно-песчаными отложениями (в

среднем 9 %) в прибрежной зоне. В вертикальном распределении фракций гранулометрического состава преобладал песчано-илистый материал, гравийная фракция была представлена фрагментарно в виде средней и крупной ракуши.

Отмечено, что средние концентрации исследуемых ТМ, за исключением мышьяка, не превышали значений, полученных для донных отложений шельфа Крыма. Установлено, что высокие концентрации Fe, Mn, Cr, Ni, As и V наблюдались в илистых отложениях юго-западной части Керченского пролива, а Fe, Ni, Zn и Pb -- в отложениях Таманского залива. Минимальные концентрации были отмечены в северо-восточной части пролива. Изменение концентрации большинства ТМ в колонках донных отложений находилось в пределах погрешности определения их содержания, на некоторых станциях наблюдалась тенденция к снижению концентрации от верхнего слоя к нижнему.

Поскольку содержание ТМ на большинстве станций было относительно низким, расчетные индексы загрязнения показали отсутствие обогащения/загрязнения большинством ТМ на этом участке.

Работа выполнена в рамках тем госзадания FNNN-2022-0002, FNNN-2024-0001, FNNN-2024-0016, а также при поддержке проекта РНФ № 22-77-10056.

ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ

Ю. С. Гурова ✉, К. И. Гуров, Н. А. Орехова

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *gurova@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: донные отложения, поровые воды, Eh, pH, органический углерод, Черное море.

Примером наиболее антропогенно нагруженных акваторий шельфа Крымского полуострова являются бухты Севастопольского региона. Среди них особенно выделяется Севастопольская

бухта. С годами происходит интенсивное заиливание донных отложений (ДО) Севастопольской бухты, что приводит к накоплению в них органического углерода, развитию дефицита кислорода в донных отложениях, а в дальнейшем и в придонном слое вод.

Окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) играет важную роль в оценке состояния водных экосистем и ДО. Изменение ОВП может быть вызвано различными антропогенными факторами, такими как загрязнение или изменение условий среды. При преобладании восстановительных процессов ДО могут стать источником вторичного загрязнения вод из-за миграции соединений металлов, азота и фосфора из ДО в воду. Изучение ОВП дает возможность контролировать качество окружающей среды и выявлять уязвимые зоны.

Данные были получены в апреле 2024 г. Отбор проб донных отложений Севастопольской бухты проводился по схеме, состоящей из 15 станций. Пробы поверхностного слоя (0–5 см) осадков отбирали с помощью дночерпателя Петерсона. В свежих пробах донных отложений проводили измерение величин pH и Eh с помощью иономера И-160МИ.

В верхнем (0–5 см) слое ДО Севастопольской бухты преобладала мелкозернистая фракция (в среднем 82 %). В кутовой части Севастопольской бухты и во всей Южной бухте содержание илистой фракции достигало 100 %, что способствовало интенсивному накоплению в них $C_{орг}$. В верхнем слое отложений Севастопольской бухты отмечено максимальное содержание $C_{орг}$ (до 8 %) по сравнению с другими бухтами Севастопольского региона и прибрежными районами Черного моря.

Кислотно-основные условия ДО Севастопольской бухты проявляли слабощелочные свойства, показатель pH колебался в пределах 7,02–7,88. Исключение составила ст. 29 (б. Мартынова), где значение pH снижалось до 6,85 и условия сменялись на слабокислые, что может указывать на повышенное содержание CO_2 и, вероятнее всего, связано с расположением в данном районе мидийной фермы и высокой степенью антропогенной нагрузки.

Значения окислительно-восстановительного потенциала ДО в первую очередь зависят от их гранулометрического состава. На всех исследованных станциях преобладал илистый осадок со

значительным содержанием $C_{орг}$. Стоит отметить, что при отрицательных значениях Eh отмечаются восстановленные условия, а при положительных – окисленные. Восстановительные условия были отмечены в ДО на всех исследуемых станциях, что подтверждается высоким содержанием в них сульфида железа.

Поскольку величина Eh зависит от pH, для получения сравнимых данных в исследуемых отложениях с различной величиной pH был рассчитан показатель водородного потенциала по формуле, предложенной У. И. Кларком:

$$rH_2 = \frac{Eh}{29} + 2pH\,.$$

Показатель водородного потенциала характеризует суммарное окислительно-восстановительное состояние, обусловленное не только концентрацией (парциальным давлением) кислорода и водорода, но и всеми присутствующими окислителями и восстановителями. Таким образом, rH_2 дает представление об окислительной или восстановительной способности среды. В соответствии с градацией при rH_2 выше 27 преобладают окислительные процессы, при 22–25 – восстановительные, а ниже 20 – интенсивные восстановительные. На всех исследованных станциях rH_2 был значительно ниже 20 (5,73–10,63), т. е. были отмечены интенсивные восстановительные процессы.

Таким образом, отмеченные в настоящее время характеристики ДО указывают на формирование восстановленных условий и развитие в будущем зон дефицита кислорода в придонном слое вод, что приведет к ухудшению условий существования живых организмов.

Работа выполнена в рамках тем госзадания FNNN-2022-0002 «Мониторинг карбонатной системы, содержания и потоков CO_2 в морской среде Черного и Азовского морей».

ОЦЕНКА ТЕНДЕНЦИЙ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОД ЗАЛИВА ГРЕНФЬОРД

А. С. Демешкин

Северо-Западный филиал ФГБУ «НПО «Тайфун», Санкт-Петербург, Россия
✉*demeshkin@rpatyphoon.ru*

Ключевые слова: мониторинг, загрязнение, Арктика, Гренфьорд, стойкие органические загрязнители, окружающая среда.

Залив Гренфьорд находится на южном берегу залива Ис-фьорд (о. Западный Шпицберген). Залив ориентирован с юга на север и имеет протяженность около 17 км. Ширина и глубина залива увеличиваются с юга на север (выход в Ис-фьорд) с 1,8 до 5,5 км и с 50 до 170 м соответственно. Порог в горловине Гренфьорда отсутствует, что обеспечивает возможность свободного водообмена с Ис-фьордом, а также интенсивный ледообмен. Глубина варьируется от 30 м на юге до 170 м в северной части. В залив впадает несколько рек. Наиболее крупными из них являются: Грендалсэльва и Альдегонда. В силу географических особенностей залив подвергается значительному влиянию ветровых и приливных явлений. Площадь акватории составляет около 47 км^2. Рельеф дна залива имеет правильную корытообразную форму с уклоном в сторону открытой границы.

Проведенные многолетние исследования по возможному характеру и уровню загрязнения Гренфьорда показали, что характер поступления загрязняющих веществ в морские воды центрального района акватории залива Гренфьорд в районе поселка Баренцбург носит регулярный характер и не имеет выраженной сезонной зависимости.

Распределение по акватории залива поступивших в водную среду залива загрязняющих веществ регулируется такими процессами, как:

– физико-химическая трансформация;

– взаимодействие с окружающими морскими водами и их динамикой;

– таяние весной снежного покрова и термодинамическое разрушение льда, а также поступление с береговой полосы вместе с талыми водами в местах впадения в залив крупных ручьев (ручей Гладдален);

– сток летом и осенью реки Грендалсэльвы и ливневой сток малых ручьев с мест захоронения отходов и угольных отвалов;

– перенос вод от южной оконечности залива Гренфьорд по его восточному краю в северном направлении.

К числу потенциальных источников поступления нефтяных углеводородов, тяжелых металлов, а также различных групп хлорорганических соединений, полиароматических углеводородов, фенолов и синтетических поверхностно-активных веществ следует отнести портовые сооружения, ручей Гладдален, склад горно-шахтного оборудования и золоотвалы.

За период наблюдений на акватории залива Гренфьорд концентрации большинства основных загрязняющих веществ в морских водах не выходили за рамки установленных ПДК для вод рыбохозяйственных водоемов.

Данные о распределении гидрохимических параметров и загрязняющих веществ показывают, что распространение загрязнения в значительной мере определяется направлением течений в исследуемом районе (переносом вод от южной оконечности залива Гренфьорд по его восточному краю в северном направлении) и стоковой составляющей реки Грендалсэльва в летне-осенний период.

Самое высокое загрязнение вод приходится на 2002–2004 гг. – период активной промышленно-хозяйственной деятельности Баренцбурга, его порта и угледобывающего рудника.

Сбор и анализ информации за 2002--2023 гг. позволяет заключить, что концентрации большей части загрязняющих веществ в морских водах залива Гренфьорд имели значения, характерные для прибрежных районов Норвежского и Северного морей со средним или незначительным уровнем воздействия береговых источников загрязнения на морскую акваторию.

СЕТЬ МОНИТОРИНГА МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ НА ТРАССЕ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ КАК ЧАСТЬ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ ФОНОВОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ

Н. Э. Демидов ✉, Ю. В. Угрюмов

ААНИИ, Санкт-Петербург, Россия
✉ *nikdemidov@mail.ru*

Ключевые слова: Арктика, Северный морской путь, многолетняя мерзлота.

Одним из ключевых факторов в проектировании, безаварийной и экологически безопасной эксплуатации наземной инфраструктуры по маршруту Северного морского пути (СМП) является мерзлотный фактор. Климатические изменения в Арктике предопределяют не только необходимость учитывать фактическое температурное состояние грунтов в данный момент времени, но и проводить долговременный мониторинг распределения температуры по глубине в скважинах и составлять прогнозы изменения состояния грунтов и их несущей способности. В 2022 г. ААНИИ был определен исполнителем масштабного проекта создания Государственной системы фонового мониторинга состояния многолетней мерзлоты (ГСМ СММ). Проект предусматривает создание до 2025 г. 140 пунктов мониторинга многолетней мерзлоты в пределах криолитозоны Российской Федерации, в том числе более 20 пунктов на арктических островах и на материковой окраине по трассе СМП. К июню 2024 г. по программе ГСМ СММ уже открыты пункты мониторинга на следующих метеостанциях по трассе СМП: ОГМС им. Э. Т. Кренкеля (о.Хейса), МГ-2 Марресале, МГ-2 им. М.В. Попова (о. Белый), МГ-2 о. Визе, МГ-2 Пролив Санникова, МГ-2 о. Врангеля. Кроме того, ранее, благодаря плану работ российских научных баз ААНИИ на Шпицбергене и Северной Земле и поддержке гранта РНФ № 19-77-10066 «Геокриологические условия архипелагов и прилегающего шельфа западного сектора Евразийской

Арктики», пункты мониторинга созданы в районе ГМО Баренцбург и НИС «Ледовая база Мыс Баранова». Пункты мониторинга включают термометрические скважины и площадки мониторинга сезонно-талого слоя, образующие единый измерительный комплекс с базовыми метеостанциями.

Сравнительный анализ данных по скважинам показывает, что на Шпицбергене велико влияние атлантических океанических и атмосферных масс – температура на подошве слоя годовых теплооборотов составляет всего −3,5…−2 °С. Это единственный из изученных нами на данный момент архипелагов, на котором деградация мерзлых грунтов согласно выполненным модельным прогнозам начнется уже в ближайшие десятилетия. С учетом наличия на Шпицбергене российских поселков Баренцбург и Пирамида с масштабной инфраструктурой этот вывод требует особого внимания. На Земле Франца-Иосифа влияние Атлантики ослабевает, но еще имеет место. Несмотря на то что обустроенная скважина на о. Хейса – это самая северная в сети ГСМ СММ (как и самая северная на данный момент термометрическая скважина в Евразии в целом), температура мерзлоты здесь несколько выше (−9 °С), чем в скважинах, расположенных южнее и восточнее: на о. Визе, Северной Земле и Новосибирских островах (−11…−10 °С). Таким образом, показано, что в высокоширотной Арктике, как и в континентальной части криолитозоны, наблюдается влияние западного переноса. На о. Врангеля влияние Тихого океана и относительно низкая широта месторасположения проявляются в повышении температуры мерзлоты на подошве слоя годовых теплооборотов до −7 °С. Сходные температуры грунтов регистрируются также на побережье п-ова Ямал в юго-западной части Карского моря: −7 °С на МГ-2 им. М. В. Попова (о. Белый) и −5,5 °С на МГ-2 Марресале. Температурные кривые по скважинам имеют тенденцию отклоняться с глубиной в сторону отрицательных температур. Этот эффект говорит о том, что температура верхней толщи мерзлых пород в Арктике повышается вследствие потепления климата, тогда как ниже располагается толща мерзлоты, которая еще не затронута этим процессом. Сформированная в Арктике сеть мониторинга состояния много-

летней мерзлоты уже сейчас дает информацию, которую целесообразно учитывать при проектировании инфраструктуры по трассе Северного морского пути.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОВЕДЕНИЯ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЗАЛИВЕ СИВАШ (АЗОВСКОЕ МОРЕ)

Е. С. Ерёмина ✉, Т. В. Хмара, Е. Е. Совга

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *shchurova88@gmail.com*

Ключевые слова: уровень моря, ветровые условия, численное моделирование, дистанционные методы, залив Сиваш.

В работе обсуждаются возможности применения методов математического моделирования и дистанционного зондирования для исследования современного состояния залива Сиваш в условиях переменной работы Северо-Крымского канала, отсутствия данных наблюдений гидрометеопостов и невозможности проведения натурных наблюдений в современных условиях. При использовании численного моделирования и данных спутниковых наблюдений приведены результаты расчета уровня залива Сиваш и охарактеризовано влияние ветра на структуру циркуляции в сложной гидросистеме акватории залива.

Использование численной гидротермодинамической модели позволило оценить влияние орографии и морфометрических характеристик залива на динамику вод в Восточном Сиваше. Циркуляция вод в исследуемой акватории характеризуется наличием большого числа вихревых образований, расположенных вдоль оси залива, что нашло отражение на спутниковых снимках цифровых многозональных спутников Sentinel-2 L1C.

Установлено, что в зимние месяцы 2013 г. наблюдался большой размах колебаний уровня воды в различных частях залива. Причем в Южном Сиваше уровень в основном понижен, а в акватории Чонгара – повышен. Летом сгонно-нагонные колебания имеют меньшую амплитуду и практически не проявляются.

В сентябре – октябре колебания усиливаются, понижение уровня наблюдается в акватории Чонгара, повышение — в Южном Сиваше. Та же картина наблюдается в декабре. Рассмотрена пространственная изменчивость уровня при реальных ветровых условиях в заливе по данным численного моделирования.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме FNNN-2024-0016.

МИНИМУМ ПРОИЗВОДСТВА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ ЭНТРОПИИ И ДИНАМИКА В МОДЕЛЯХ ОТКРЫТЫХ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ТРОФИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ С ЭФФЕКТОМ ВСЕЯДНОСТИ

Н. Н. Завалишин

ИФА РАН, Москва, Россия
✉ *nickolos@ifaran.ru*

Ключевые слова: экосистема, трофическая цепь, первичная продуктивность, динамические модели, стационарное состояние, аттрактор, бифуркации динамических режимов.

Структура, функционирование, устойчивость динамических режимов и их бифуркации при изменении параметров трофических цепей (ТЦ) в морской биологии представляют собой задачи, породившие множество научных подходов и работ. Классическое представление пищевой цепи, состоящей из последовательности биологических видов, находящихся в отношениях типа хищник – жертва, может быть расширено явным описанием динамики потребляемого ресурса. Получающиеся системы обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) описывают и случай трофических структур, уровнями которых являются целые группы видов, играющих сходную функциональную роль. Этот подход может быть расширен на случай пространственно-неоднородных цепей, приводя к системам нелинейных уравнений в частных производных, стационарные состояния которых могут терять

устойчивость по пути Тьюринга с образованием диссипативных структур. Некоторые бифуркационные свойства динамических режимов таких моделей оказываются связаны с термодинамическим принципом минимума производства энтропии, который помогает в калибровке их коэффициентов и выяснении энергетической роли смены устойчивости равновесий.

В настоящей работе исследуются условия потери устойчивости стационарных состояний ресурсных трофических цепей с эффектом всеядности на втором уровне при изменении интенсивности промысла и скорости притока ресурса. Помимо равновесий, аттракторами систем ОДУ, описывающих такие цепи, могут быть колебательные режимы, переходы между которыми формируют чрезвычайно сложную структуру бифуркационных диаграмм, где границы областей притяжения разных динамических режимов вычисляются только численными методами продолжения по параметру. Для уменьшения сложности параметрических портретов путем отбора биологически значимых аттракторов модели применяется принцип минимума производства энтропии, сходный с термодинамической теоремой И. Пригожина. Для пространственно-неоднородных моделей ТЦ с эффектом всеядности устанавливаются условия появления диссипативных структур при потере устойчивости однородных по пространству стационарных решений под действием увеличения интенсивности промысла. В качестве примера проводится анализ трехуровневой ТЦ пелагиали Охотского моря с «микробиальной петлей», символизирующей эффект всеядности на втором уровне.

Работа выполнена при поддержке темы № 1021032424681-6 «Моделирование влияния изменений климата на экологические процессы и системы (FMWR-2022-015)» государственного задания ИФА им. А.М. Обухова РАН.

РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИЗУЧЕНИЮ ВЛИЯНИЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ПРИЛИВОМ, НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАННИХ СТАДИИ РАЗВИТИЯ МИНТАЯ В ГЛУБОКОВОДНЫХ КАНЬОНАХ АВАЧИНСКОГО ЗАЛИВА В АПРЕЛЕ 2024 ГОДА

А. В. Зимин [1] ✉, **А. И. Варкентин** [1, 2], **А. А. Коник** [1], **Е. И. Свергун** [1], **Д. Я. Саушкина** [1, 2], **О. Б. Тепнин** [1, 2], **О. А. Атаджанова** [1], **Д. А. Романенков** [1], **Е. В. Софьина** [1]

[1] *ИО РАН, Москва, Россия*
[2] *КамчатНИРО, Петропавловск-Камчатский, Россия*
✉ *Zimin2@mail.ru*

Ключевые слова: натурные измерения, температура, соленость, распределение икры, прилив, каньон, Авачинский залив Тихого океана.

Некоторые из основных областей воспроизводства восточно-камчатской популяции минтая находятся в Авачинском заливе Тихого океана в вершинах глубоководных Северного и Центрального каньонов на горизонтах 400–500 м. Пик нереста в них, как правило, приходится на апрель. На основании обобщения многолетних наблюдений было показано, что горизонты основного икрометания минтая при стабильности обычно рассматриваемых абиотических факторов значительно изменяются в межгодовом аспекте, что сказывается на урожайности поколений и последующих объемах промысла. По данным поисковых гидрологических наблюдений было отмечено вертикальное перемещение слоя скачка температуры и солености в вершинах каньонов на горизонтах нереста более чем на 100 м за период, близкий к периоду приливного цикла. Это послужило основанием для выдвижения предположения о значительном влиянии внутренних волн на вертикальные перемещения икры и ихтиопланктона.

С целью проверки указанной гипотезы 12–14 апреля 2024 г. в Центральном каньоне и 27–29 апреля 2024 г. в Северном кань-

оне на НИС МРТК «Инженер Мартынов» были выполнены комплексные эксперименты, сочетающие гидрологические и гидробиологические наблюдения.

Время экспериментов в каньонах было приурочено к периоду максимальных скоростей приливных течений в сизигийно-квадратурном цикле, оцененном по данным моделирования. Работы проводились по единой методике, включающей в себя два этапа: оценку фоновых условий и учащенные наблюдения в течение приливного цикла. На первом этапе выполнялось профилирование гидрологических параметров и послойный облов икры от поверхности до дна по стандартной методике. Они использовались для оценки положения слоя скачка и выбора горизонтов для учащенных обловов икры и измерения течений. На втором этапе с интервалом два часа производились СТД-зондирование от поверхности до дна, облов икры на двух выбранных горизонтах и измерение течений вблизи слоя скачка.

По результатам работ оценивались вертикальные смещения изопикнических поверхностей в ходе приливного цикла, определялось количество и стадии развития икры минтая в пробах, полученных по результатам учащенных обловов.

Установлено, что в период эксперимента в каньонах наблюдался глубоководный нерест минтая, отмечалось перемещение слоя скачка температуры и солености между холодным и теплым промежуточным слоями на 50–150 м по вертикали, при этом как общее количество икры, так и число эмбрионов на первой стадии развития по шкале Д. Блад на облавливаемых горизонтах менялось с периодами, близкими к приливным.

В результате эксперимента впервые получены количественные оценки влияния абиотических факторов приливного происхождения на распределение ранних стадий развития восточно-камчатского минтая.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-17-00174.

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ АТМОСФЕРНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ CO_2 В КАЦИВЕЛИ. ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННОГО ХОДА

В. М. Ивахов [1] ✉, Н. Н. Парамонова [1], Е. В. Медведев [2], Т. С. Анищенко [1]

[1] *ГГО, Санкт-Петербург, Россия*
[2] *МГИ, Севастополь, Россия*
✉ *ivakhooo@mail.ru*

Ключевые слова: климат, диоксид углерода, атмосферная концентрация, измерения, Кацивели.

Вопросам изменения климата уделяется все больше внимания. Особую актуальность приобретают наблюдательные системы за парниковыми газами (ПГ) – основными климатически активными веществами. В настоящее время в Российской Федерации создается система наблюдений за парниковыми газами в рамках проектов «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» и «Карбоновые полигоны».

На глобальном уровне ВМО создает новую программу наблюдений за парниковыми газами «Глобальная служба наблюдения за парниковыми газами» с учетом опыта программ «Глобальная служба атмосферы» и «Интегрированная глобальная информационная система по парниковым газам».

В августе 2020 г. ГГО совместно с МГИ начали пилотные высокоточные измерения концентрации CO_2 и CH_4 с привязкой к шкале ВМО на причале Черноморского гидрофизического полигона РАН, пгт Кацивели (44,39° с. ш.; 33,98° в. д.).

Полученный к настоящему времени ряд наблюдений (август 2020 г. – январь 2024 г.) был аппроксимирован набором гармонических функций и полинома аналогично процедуре, использованной при анализе данных измерений на станции Тикси. Расчеты выполнялись с помощью рекомендованной ВМО программы CCGCRV.

Сглаженный ряд наблюдений сравнивался затем с эмпирической моделью временного хода диоксида углерода в морском пограничном слое MBL (marine boundary layer) для широтного пояса 40–50° с. ш., соответствующего расположению пгт Кацивели. Методика расчета морского фона подразумевает использование данных, имеющих строго «морское» происхождение, поэтому отличие данных станций мониторинга от MBL характеризует вклад прежде всего континентальных источников/стоков, а также региональные особенности расположения источников/стоков и циркуляцию атмосферы.

По результатам измерений для станции Кацивели характерно превышение концентрации CO_2 над фоновым уровнем в зимний период, достигающее 14 млн$^{-1}$, которое, скорее всего, связано с влиянием континентальных источников в условиях зимнего снижения высоты слоя перемешивания.

Небольшой рост содержания CO_2 в атмосфере, наблюдаемый весной (март – апрель) 2021–2022 гг. можно объяснить переходом от поглощения (инвазия) к выделению (эвазия) углекислого газа водами Черного моря в результате весеннего цветения фитопланктона. Второе по значимости летнее увеличение содержания CO_2 в атмосфере, составляющее 6–8 млн$^{-1}$, также связано с прохождением пика летнего цветения фитопланктона в условиях эвазии и началом процесса его разложения.

Со стороны ГГО работа выполнена при поддержке Программы НИТР Росгидромета (тема 4.1 «Развитие и модернизация технологий мониторинга состояния и загрязнения атмосферного воздуха» Плана НИТР на 2020–2024 гг., утвержденного приказом № 745 от 31.12.2019 г.).

Со стороны МГИ работы проводились в рамках государственного задания по теме FNNN-2022-0002 «Мониторинг карбонатной системы, содержания и потоков CO_2 в морской среде Черного и Азовского морей».

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ И ВОДЕ ПРИБРЕЖНО-ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЫ О. САХАЛИН: РЕЗУЛЬТАТЫ ЧЕТЫРЕХЛЕТНЕГО ЦИКЛА МОНИТОРИНГА

В. В. Иванова, А. О. Карташев, В. И. Слинченков ✉

ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург, Россия
✉*sendingletters@mail.ru*

Ключевые слова: Сахалин, прибрежно-шельфовая зона, углеводородные газы, мониторинг.

В настоящей работе представлены статистические данные и аналитические оценки, полученные по результатам ведения мониторинга состояния недр прибрежно-шельфовых зон Японского и Охотского морей Российской Федерации в 2020–2023 гг. по опасным экзогенным геологическим процессам. Наблюдательная сеть мониторинга состояла из 10 полигонов, расположенных в прибрежно-шельфовых зонах Японского (Татарский пролив) и Охотского (залив Анива, Восточносахалинский шельф) морей. При работах применялся традиционный спектр геолого-геофизических методов работ на акватории: эхолотирование с локацией бокового обзора, опробование донных отложений и придонной морской воды, определение состава газовой фазы донных отложений и морской воды, определение геохимических индикаторов грязевого вулканизма в донных отложениях.

Газо-флюидная разгрузка и грязевой вулканизм несут прямую угрозу устойчивости инженерных объектов в прибрежной зоне. Выделены зоны повышенной активности газо-флюидной разгрузки на Охотоморском шельфе и в акватории Татарского пролива. По данным газогеохимических исследований оконтурены зоны устойчивой газо-флюидной разгрузки на участках в заливе Анива (Песчанское, Таранай) и на Восточносахалинском шельфе (Восточное и Взморье), а также впервые в черырехлетнем цикле мониторинга были выделены зоны газо-флюидной разгрузки на участках Пригородное и Соловьевка.

В 2023 г. комплексные аномалии УВ и неорганических газов отмечены в придонных средах участков Ясноморское, Холмск, Восточное, Таранай и Соловьевка. Аномальные и повышенные содержания гелия и водорода, свидетельствующие о современной тектонической активности региона, зафиксированы в донных осадках и придонной воде на участках Татарского пролива (Холмск, Ясноморское) и залива Анива (Таранай и Соловьевка).

Проявления грязевого вулканизма установлены нами впервые на пункте наблюдения Восточное в 2021 г. Здесь отмечаются аномальные содержания метана и его гомологов в донных отложениях и придонной воде, также, кроме газов, в донных отложениях обнаружены индикаторы грязевого вулканизма (ртуть и ПАУ).

Анализ данных мониторинга показывает, что в газовом составе придонных сред преобладают углеводороды миграционной и смешанной природы. Участки повышенных содержаний относятся к зонам влияния разрывных нарушений, причем это распределение коррелирует с распределением гелия и водорода. Лишь в некоторых станциях можно предположить наличие биогенной компоненты.

В 2023 г. в исследуемом регионе наблюдалась активизация геодинамических процессов, приводящих к появлению газовых аномалий миграционной природы. Это связано с более высокой, чем в 2022 г., сейсмической активностью региона [Konovalov et al., 2022; www.eqalert.ru].

ОЦЕНКА ФОНОВЫХ УРОВНЕЙ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ЧЕРНОГО МОРЯ ПЛАСТИКОВЫМИ ОТХОДАМИ

В. А. Кальпа ✉, А. В. Багаев

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *vel.kalpa@gmail.com*

Ключевые слова: Черное море, пластик, микропластик.

В данной работе был выполнен комплексный анализ опубликованных исследований пластикового загрязнения

берегов, шельфа и прибрежной части Черного моря. Это важно для понимания общей картины изученности данного вопроса по Черноморскому бассейну, а также для определения средних уровней «фоновой» антропогенной нагрузки в части пластикового мусора.

Мониторинг микропластикового загрязнения прибрежной зоны юго-западной части Крымского побережья Черного моря проводился в 2016–2017 гг. Выявлены высокие количественные показатели содержания микропластика в грунтах исследуемых пляжей. Максимальные показатели зарегистрированы в мае 2017 г. (6,9 ± 0,26 шт./м^2) на пляже Омега и в августе 2016 г. (3,5 ± 0,088 шт./м^2) на пляже Учкуевка. Средние показатели в летний период составляли: на пляже Омега – 5,12 ± 0,138 шт./м^2 в 2016 г. и 5,82 ± 0,15 шт./м^2 в 2017 г., на пляже Учкуевка – 3,02 ± 0,076 шт./м^2 в 2016 г. и 1,92 ± 0,048 шт./м^2 в 2017 г. Большую часть микропластика составили жесткие фрагменты (60 %), полистирол (25 %) и полиэтилен (15 %). Количество частиц макропластика (5–100 мм) колебалось от 2,35 до 57 шт./м^2 со средней численностью на пляжах Омега и Учкуевка 10,1 ± 0,95 и 7,3 ± 0,95 шт./м^2 соответственно.

Оценка пляжного мусора на 40 пляжах побережья Болгарии с 2018 по 2022 г. показала значительный рост средней численности (на 261 %). Большую часть (84 %) составили искусственные полимерные материалы. Пляжи были отнесены к категории «умеренно» загрязненных.

Исследования румынского побережья показали преобладание искусственных полимерных материалов (80,6 %), наиболее распространенным был мусор в виде сигаретных фильтров.

Количество морского мусора на пляжах возле г. Синоп (Турция) составило 0,29–7,67 шт./м^2 и 3,46–49,09 г/м^2, пляжи классифицировались как умеренно- и крайне загрязненные. Плотность пляжного мусора на побережье лагуны Сарыкум составила 1,512 ± 0,578 шт./м² и 31,875 ± 10,684 г/м². Пляж Сарыкум был классифицирован как чрезвычайно грязный. Плотность мусора на пляжах юго-восточного побережья Черного моря в Турции колебалась от 0,838 ± 0,33 до 4,01 ± 0,55 шт./м^2, основную часть составлял пластик (> 75 %). Годовое накопление мусора составило

19 805 шт., из них 16 690 шт. – искусственные полимерные материалы, в основном окурки и фильтры (29,7 %). Долгосрочный мониторинг пляжей Трабзона показал, что самая высокая плотность мусора составила 22,00 шт./м^2, наиболее распространенным был пластик (79,69 %). Микропластик обнаружен в 83 % проб донных отложений Черного моря, среднее содержание составило 106,7 шт./кг. Анализ проб пляжных отложений юго-восточной части Черного моря показал, что более 70 % частиц микропластика имели длину до 2,5 мм, представляли собой фрагменты и волокна. Среднее содержание составило 108 МП/кг, преобладали полиэтилен (44,9 %), полиэтилентерефталат (27,2 %) и полипропилен (15,2 %). На пляже юго-восточной части Черного моря концентрации макрофрагментов составляли 1,22–4,17 шт./м^2 и 11,78–37,47 г/м^2, пластик составлял 84–91 % от общего количества.

Первые достоверные оценки концентрации микропластика (МП) в прибрежных водах Черного моря (Севастопольская бухта) составляли 0,6–7 шт./м^3 по содержанию и 6–750 мкг/м^3 по массе. Обнаруженный мусор состоял из пластиковых материалов (89,1 %), других искусственных предметов (9,1 %) и пенополистирола (1,8 %). Концентрация МП в донных отложениях Черного моря примерно в два раза выше, чем в Каспийском море. Концентрация фрагментов уменьшалась с глубиной, а концентрация волокон не зависела от глубины. Численность МП в морской воде юго-восточной части Черного моря колебалась от 0,181 до 0,944 шт./м^3, преобладали полиэтилен (44,9 %) и полиэтилентерефталат (25,3 %). Размеры МП варьировали от 118 до 4998 мкм, преобладали фрагменты (56,3 %).

Оценка плавучего макромусора в Черном море показала относительно высокую загрязненность вод, достигающую 81,5 шт./км^2. В восточной части бассейна обнаружено «мусорное пятно», состоящее в основном из пластиковых фрагментов и полистирола. Исследования в районе Синопского полуострова показали, что плотность микрочастиц составила 2,667–2,325 шт./м^3 на поверхности и 24,475–26,153 шт./м^3 в толще воды. Наиболее распространенными были частицы корабельных красок (55,45 % на поверхности, 54,21 % в толще воды). Концентрация пластика вблизи устья реки Дунай была значительно выше, чем в четырех

прибрежных регионах вдоль береговой линии Румынии и Болгарии. Преобладали полипропилен и полиэтилен.

Потоки речного мусора на реках Дон, Сочи и Мацеста составляли 6–101, 1107 и 1–24 шт./ч соответственно.

Плотность распределения мусора на южном шельфе Черного моря в донных отложениях составила 460,70 ± 99,71 шт./км^2 и 80,68 ± 48,06 кг/км^2. Плотность была выше на глубинах 10–20 м. В Восточном Средиземноморье и Черном море количество частиц на дне варьировалось от 24 до 1211 шт./км^2, пластмассы преобладали (45,2–95 %).

Исследование выполнено в рамках госзадания по теме МГИ FNNN-2024-0016 «Прибрежные исследования».

ЛАГРАНЖЕВ ПОДХОД ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЭТАПОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА КАЛКАНА НА ШЕЛЬФЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

Д. С. Красильников [1] ✉, А. И. Мизюк [2], А. Н. Ханайченко [3], А. В. Багаев [2]

[1] *МГУ, Москва, Россия*
[2] *МГИ, Севастополь, Россия*
[3] *ИнБЮМ, Севастополь, Россия*
✉ *krasilnikov.dmitrij@inbox.ru*

Ключевые слова: лагранжевы модели переноса, численное моделирование, OceanParcels, черноморский калкан, камбала, Черное море, NEMO.

Одной из наиболее ценных промысловых рыб Черного моря является черноморский калкан (отряд камбалообразные). Плодовитость черноморского калкана очень высока. Однако выживаемость икры и личинок на ранних стадиях развития как в море, так и в условиях аквакультуры невысока из-за их чувствительности к большому числу негативных внешних и внутренних факторов. Закономерности переноса, распределения и выживаемости калкана в море во время его планктонной стадии, особенно стадии личинки, влияющие на эффективность воспроизводства и размер

годовой генерации калкана, к настоящему моменту неизвестны. Ранее сотрудниками ИнБЮМ был накоплен довольно большой массив экспериментальных данных о физических свойствах и закономерностях развития калкана на разных этапах жизненного цикла при различных вариациях условий внешней среды. Распространение этого вида ограничено шельфовой зоной вдоль всех берегов моря до глубин 120–140 м. Нерест калкана происходит в весенне-летний период на дне до глубин 100 м, но преимущественно на 50 м. Разные стадии развития проходят в разных биотопах моря: пелагическая икра и ранние личинки до возраста 1,5 мес относятся к планктонному сообществу. В процессе метаморфоза личинки переходят к жизни в прибрежной зоне до глубин 2–3 м. Во взрослом состоянии калкан ведет придонный образ жизни, предпочитая слои с температурой 8–9 °С.

Трудность изучения личинок калкана в естественных условиях заключается в том, что они обитают в пелагиали на неизвестных глубинах и не встречаются в пробах ихтиопланктона.

Моделирование дрейфа икры и личинок на ранней стадии позволяет уточнить важные детали жизненного цикла рыбы, а также выделить области наиболее вероятного нахождения его личинок на ранней стадии. Цель настоящей работы – применить методы численного моделирования и имеющиеся данные о зонах вылова икры калкана для выявления наиболее вероятных акваторий нахождения личинок в российском секторе черноморского шельфа с учетом течений и температуры воды.

За основу взята открытая модель лагранжева переноса OceanParcels, реализованная на языке программирования Python. Для задания динамических характеристик используются поля долгопериодных численных расчетов циркуляции Черного моря, выполненных ранее в МГИ на основе региональной конфигурации модели NEMO. Открытость и архитектура модели OceanParcels позволяет разрабатывать собственные вычислительные ядра для описания более сложных траекторий личинок калкана, вызываемых внешними условиями.

Первая серия численных экспериментов позволила установить наиболее вероятные направления переноса икры калкана из акватории Анапской банки в период с 2000 по 2021 г. Показаны

зоны наибольшей плотности скопления икры в момент трансформации в стадию ранней личинки.

Работа по сбору и анализу экспериментальных данных о физико-биологических свойствах и закономерностях развития черноморского калкана на разных этапах жизненного цикла была выполнена А. Н. Ханайченко в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ -124022400152-1.

ВКЛАД РАСТВОРЕННОЙ И ВЗВЕШЕННОЙ ФОРМ В ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ БЕРИЛЛИЯ-7

Д. А. Кременчуцкий ✉, Г. Ф. Батраков, К. И. Гуров, А. А. Журавлева

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *d.kremenchutsky@gmail.com*

Ключевые слова: бериллий-7, торий-234, Черное море, взвешенное вещество, вертикальный транспорт.

Бериллий-7 и торий-234 – природные радионуклиды с периодами полураспада ~ 53 и ~ 24 сут. Бериллий в морскую среду поступает из атмосферы, в то время как торий-234 образуется непосредственно в морской среде. Цель настоящего исследования заключается в оценке вкладов растворенной и взвешенной форм бериллия-7 в вертикальный транспорт этого радионуклида.

Данные для этого исследования были получены в ходе 125-го (зима 2022 г.) и 127-го (лето 2023 г.) рейсов НИС «Профессор Водяницкий». Пробы отбирались в интервале глубин 3–90 м с помощью насоса. Объем единичной пробы был 1–2 м^3. В качестве сорбента использовалось акриловое волокно, модифицированное гидроксидом железа (III). Концентрирование радионуклидов на взвеси проводилось с помощью полипропиленовых картриджей с размером пор 1 мкм. Измерения проводились на гамма-спектрометре с кристаллом NaI(Tl) колодезного типа: кристалл 100 × 100 мм (ø×В), колодец 30 × 60 мм (ø×В).

Используя данные о вертикальном распределении солености и тория-234, были получены оценки потока тория-234 из верхнего перемешанного слоя (ВПС). Поскольку этот поток обусловлен удалением тория-234 в результате седиментации, то по данным о концентрации тория-234 и бериллия-7 на взвеси были получены оценки потока и скорости удаления бериллия-7 на взвеси. Эти оценки составили 1,3–6,3 и 0,3–3,1 Бк/м^2 и 3,0–9,1 и 0,4–2,9 м/сут для зимнего и летнего сезонов соответственно. С использованием боксовой модели были получены количественные оценки вклада вертикального транспорта бериллия-7 на взвеси в его вертикальный перенос. Получено, что в зимний сезон он составлял в среднем 83 %, а в летний – 24 %. Это объясняется особенностями вертикального распределения гидрологических параметров: в летний сезон глубина ВПС была минимальна и составляла в среднем 5 м, а в зимний – 41 м. В результате в летний сезон формировался ярко выраженный градиент концентрации бериллия-7, способствующий росту вклада транспорта растворенной формы этого радионуклида в его вертикальный транспорт.

Данные о концентрации тория-234 были получены в рамках темы государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ № FNNN-2024-0001, данные о концентрации бериллия-7 были получены в рамках проекта РНФ № 22-77-10056. Анализ данных был выполнен по проекту РНФ № 22-77-10056.

ХАРАКТЕРИСТИКА СООБЩЕСТВА ИНФУЗОРИЙ АЗОВСКОГО МОРЯ В ОСЕННИЙ ПЕРИОД 2023 ГОДА

К. В. Кренёва

ЮНЦ РАН, Ростов-на-Дону, Россия
✉ *kreneva@ssc-ras.ru*

Ключевые слова: Азовское море, инфузории, планктон, минерализация, изменение ареала обитания.

Повышение уровня минерализации вод Азовского моря не только расширяет возможности для вселения и натурализации

средиземноморских видов инфузорий, но и создает возможности для изменения ареалов аборигенных видов.

Данными для этой работы послужил материал, собранный 1–13 ноября 2023 г. в Азовском море на НИС «Денеб».

Для фиксации бралась проба объемом 1–2 л. Фиксация проб производилась кислым раствором Утермёлля. Концентрация фиксатора варьировала от 2 до 10 %. Камеральная обработка фиксированного материала представляла собой комбинацию камерного и отстойного методов.

Всего в ноябре 2023 г. на акватории Азовского моря было обнаружено 13 видов инфузорий, из них 6 видов тинтиннидид. На большей части акватории моря доминировали мелкие представители р. *Strombidium*. В районе моря, прилегающем к Керченскому проливу, доминировал крупный вид – *Lohmaniella spiralis* Leegaard, 1915. В центральной части моря и у входа в Таганрогский залив доминировал представитель семейства Tintinnidiidae Kofoid& Campbell, 1929 – *Leprotintinnus pellucidus* (Cleve, 1899).

Количество видов на станции колебалось от 2 до 7 видов, в среднем 4.

Количественные характеристики сообщества инфузорий Азовского моря находились на уровне, характерном для позднеосеннего периода. Осенний пик численности в Азовском море приходится, в зависимости от погодных условий, на август – октябрь. В ноябре здесь обычно наблюдается спад количественных характеристик сообщества планктонных инфузорий. В ноябре 2023 г. диапазон колебаний численности и биомассы не превышал 1–2 порядков. В районе выхода из Таганрогского залива и в районе, прилегающем к Керченскому проливу, наблюдалось повышение биомассы и численности инфузорий.

Численность цилиатопланктона колебалась в диапазоне от 0,1 до 2,2 млн экз./м^3, в среднем составив 0,720 ± 0,227 млн экз./м^3. Доля тинтиннидид в общей численности колебалась от 0 до 74 %. Тинтиннидиды отсутствовали в районе Керченского пролива и на входе в Таганрогский залив. А в центральной и северо-западной части моря их доля численности была наиболее значительна (33–74 %).

Биомасса цилиатопланктона колебалась в диапазоне от 9,3 до 303,7 мг/м^3, в среднем составив 78,10 ± 28,56 мг/м^3.

Ход динамики численности и биомассы был сходен, за исключением района Таганрогского залива, где наблюдается значительное преобладание уровня численности. Здесь комплекс массовых видов представлен в основном мелкими представителями стромбидиид и тинтиннидид.

В ноябре мы наблюдали расширение ареала распространения тинтиннидиды *Leprotintinnus pellucidus* (Cleve, 1899). По данным Гасовського [1960], этот вид является обычным представителем летнего планктона Азовского моря. Однако, по данным наших исследований [Кренева, 2000; 2006] и данным Н. А. Гавриловой [Гаврилова, Довгаль, 2019], в период с 2000 г. этот вид встречался только в прибрежье северо-западной части моря, прилегающей к Крымскому полуострову. В ноябре 2023 г. этот вид встречался на большей части открытой акватории моря. Причем наиболее высокий уровень численности наблюдался в районе, прилегающем к Таганрогскому заливу, – до 221 тыс. экз./м^3.

Работа подготовлена в рамках Государственного задания ЮНЦ РАН №122011900153-9.

РАЗВИТИЕ КУРОРТА АНАПА И ОХРАНА АНАПСКОЙ ПЕРЕСЫПИ – МЕЖОТРАСЛЕВЫЕ ПРОТИВОРЕЧИЯ

В. В. Крыленко ✉, М. В. Крыленко

ИО РАН, Москва, Россия
✉ *krylenko.slava@gmail.com*

Ключевые слова: береговая зона, природопользование, особо охраняемые природные территории.

В последние десятилетия заметен рост капиталовложений в реконструкцию существующих и строительство новых объектов рекреации на Черноморском побережье России. Анапская пересыпь является природной основой рекреационного потенциала курорта федерального значения и одновременно уникальным резерватом биоразнообразия. В 2020 г. часть геосистемы Анапской

пересыпи площадью 30 000 га получила статус особо охраняемой природной территории (ООПТ) регионального значения природного парка «Анапская пересыпь». На территории ООПТ запрещена любая деятельность, которая может нанести ущерб культурно-историческим объектам и природным комплексам. Несмотря на получение статуса ООПТ, вопрос защиты природных комплексов Анапской пересыпи остался актуальным. На основании указания Президента РФ от 12.10.2022 было принято решение о начале реализации проекта туристской территории «Всероссийский пляжный семейный курорт «Новая Анапа». Проект предполагает увеличение турпотока на 2–3 млн человек ежегодно. В границы «Новой Анапы» оказалась включена часть Анапской пересыпи, отнесенная к ООПТ.

Анализ российского и зарубежного опыта показывает, что природные объекты, подобные Анапской пересыпи, могут быть одновременно и ООПТ, и центром развития рекреационных регионов. Например, охрана дюн не исключает использование их и прилегающего пляжа в качестве рекреационного ресурса. Непреодолимых преград для рекреационного использования и одновременной охраны Анапской пересыпи нет. Научно обоснованные требования и ограничения для организации природопользования на Анапской пересыпи были изложены в ряде НИР, разработанных по заказу региональных и федеральных органов власти. Однако проблемой является реализация упомянутых требований и ограничений, а также контроль их исполнения.

Инициаторами и разработчиками проекта «Новая Анапа» было декларировано соблюдение природоохранных требований. В ходе разработки мастер-плана была проделана работа по согласованию проектных решений с режимами охраны всех зон ООПТ. Был снят вопрос об изменении границ или структуры ООПТ для реализации проекта «Новая Анапа», предусмотрены адекватные решения по рациональному использованию охраняемой территории в рекреационных целях. При этом, по настоянию инициаторов проекта, в состав «Новой Анапы» включена портмарина, строительство которой несет угрозу ООПТ и всей геосистеме Анапской пересыпи. Проектными организациями предложены несколько вариантов размещения и конфигурации гавани,

в том числе в прибрежном и островном исполнении. К сожалению, при выборе проектного решения решающую роль играют лица, совершенно неосведомленные о закономерностях развития морских берегов. В таких условиях преимущество имеют проекты, разработчики которых сознательно идут на риск разрушения морского берега, но предлагают дешевые в реализации решения. О высоких эксплуатационных расходах и необходимости компенсации в будущем вызванного строительством порт-марины ущерба в подобных проектных решениях умалчивается. Данная практика позволяет проходить стадию общественных слушаний, поскольку гипотетическое и малопонятное разрушение берега не вызывает отторжения, а картинки с красивыми яхтами и гаванью очень привлекательны.

Предложить действенный выход из сложившейся ситуации сложно. Очевидно, что для пляжного курорта основной ценностью являются пляжи и их сохранению должно уделяться максимальное внимание. Возможно, наиболее рациональным предложением может быть подготовка и размещение в открытом доступе коллективом ученых короткой и простой, но красочной презентации, посвященной изложению основных закономерностей развития аккумулятивных морских берегов.

ПОВТОРЯЕМОСТЬ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ОБЛЕДЕНЕНИЯ СУДОВ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

А. И. Лаврентьева, И. И. Леонов, Н. Н. Соколихина ✉

МГУ, Москва, Россия
✉ *natalia.sokolikhina@gmail.com*

Ключевые слова: Баренцево море, изменения климата, опасные гидрометеорологические явления, обледенение судов.

Целью работы является анализ региональных особенностей повторяемости метеорологических условий морского обледене-

ния в районе Баренцева моря, а также многолетних трендов данных характеристик, наблюдаемых в условиях современных изменений климата.

Для оценок повторяемости морского обледенения был использован метод Д. Оверлэнда, основанный на расчете интенсивности брызгового обледенения с использованием данных о скорости ветра, температуре воздуха, температуре морской воды, а также температуре ее замерзания. В качестве исходных данных использовался реанализ ERA5 за период с 1979 по 2022 г. Также отдельно по значениям индекса обледенения оценивалась повторяемость экстремальных случаев обледенения.

Наибольшее число дней с обледенением наблюдается к западу от островов Шпицберген и Новая Земля, а также к северному побережью Кольского полуострова. Так, в среднем за год в этих районах может быть более 150 дней с обледенением. Вдоль побережья материка среднее за год число дней с обледенением имеет неоднородное распределение. Вдоль береговой линии Архангельской области и Ненецкого автономного округа обледенение судов наблюдается реже, чем вдоль береговой линии Мурманской области. Абсолютные высоты над уровнем моря на Кольском полуострове больше, что может приводить к сильным катабатическим ветрам и увеличению числа случаев с обледенением. Под влиянием теплого Норвежского течения вероятность обледенения судов существенно снижается, его вклад прослеживается до 40° в. д. В этом случае в течение года в среднем наблюдается не более 120 дней с нарастанием льда на поверхности судна в результате брызгового обледенения. Наибольшие значения среднего числа дней с экстремальным обледенением имеют сходное распределение. Так, наиболее часто экстремальное обледенение встречается к западу от архипелага Шпицберген и Новой Земли. В этих районах число дней с условиями для экстремального обледенения примерно в шесть раз меньше среднего числа дней с обледенением в целом и составляет от 21 до 30 дней в году. К северу от островов повторяемость обледенения относительно невелика за счет установления продолжительного ледового покрова, в среднем за год наблюдается не более 10 дней с обледенением судов. А к югу от островов Шпицберген за счет теплого

Норвежского течения наблюдаются более высокие температуры, что также приводит к меньшей повторяемости обледенения.

Работа выполнена в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова при поддержке Российского научного фонда (проект № 24-27-00047) и посвящена памяти Галины Вячеславовны Сурковой, выдающегося ученого в области климатологии, великолепного преподавателя и прекрасного учителя.

ОСОБЕННОСТИ ФЛЮИДНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ХОЛОДНЫХ СИПОВ БУХТЫ ЛАСПИ (ЮЖНЫЙ БЕРЕГ КРЫМА)

В. И. Лысенко [1], **Н. В. Шик** [2] ✉

[1] *МГУ, Филиал МГУ в г. Севастополе, Севастополь, Россия*
[2] *Севастопольский центр туризма, краеведения, спорта и экскурсий учащейся молодежи, Севастополь, Россия*
✉*shik.n@bk.ru*

Ключевые слова: флюид, метан, этан, азот, сероводород, гелий, карбонилсульфид, сероуглерод, водные растворы.

В наши дни мировое сообщество обеспокоено проблемами изменения климата. Главной причиной является антропогенное и эндогенное поступление газов углерода в атмосферу. С ними связано глобальное потепление и развитие катастрофических процессов в атмосфере. В создании потепления участвуют углекислый газ и метан. Поэтому исследования, связанные с поступлениями метана и углекислого газа из недр, являются актуальными.

Участок с выходами газа холодных сипов находится на пересечении Ласпинского и Берегового разломов. Выходы пузырьков флюидов приурочены к трем пляжным бактериальным постройкам. Общие объемы выбросов газа составляют от 67,9 до 459,6 $м^3$/год.

Анализ газов флюидов производился в лаборатории МГУ на стационарных газовых хроматографах «Хроматэк-Кристалл 5000», оснащенных пламенно-ионизационными (ПИД) детекторами и детектором по теплопроводности (ДТП). Всего было проанализировано 16 проб.

Непостоянные объемы выбросов флюидов во времени сопровождаются изменчивым газовым составом. Флюиды в своем составе имеют большой букет углеводородных и неуглеводородных газов. Углеводородные газы представлены в основном CH_4, содержание которого составляет от 47,46 до 60,45 %. Кроме этого, в незначительном количестве присутствуют C_2H_8, C_2H_6, C_3H_8, C_3H_6, C_4H_{10}, iC_4H_{10}, nC_5H_{12} и iC_5H_{12}. Во флюидах находятся N_2 (16,8–40,14 %), O_2 (0,15–13,56 %), CO_2 (0,099–0,375 %) и He (0,018–1,189 %). Кроме этого присутствуют в малых концентрациях сернистые газы: CS_2 (0,162–0/463 %); COS (0,042–0/081 ppm) и H_2S (0,01–0,03 ppm). Содержания газов во флюиде контролируются соотношением их молекулярных весов. Чем оно выше, тем ниже содержание этого газа в растворе. Флюиды бухты Ласпи по разнообразию газов отличаются от подобных из холодных сипов Черного моря, что связано с их генезисом.

По данным гидрохимической съемки дна бухты Ласпи было установлено, что средняя соленость морской воды в ней изменяется в интервале от 18,5 до 18,8 ‰. В двадцати пробах воды, взятой из устьев сипов во время выбросов газа, соленость изменялась от 9,5 до 14,7 ‰. Хаотическое распределение содержания солей в них, предположительно, связано с периодическим поступлением растворов из недр. Объемы их выбросов незначительны, что делает их обнаружение затруднительным. По объемам выбросов и минерализации растворы из сипов бухты Ласпи имеют много общего с сопочными водами грязевых вулканов Керченского полуострова. Анализы проб воды из сипов проанализированы масс-спектральным методом с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS). В результате установленоб что для водных растворов характерен ряд содержаний: Ca > Na > Mg > Sr > Br > B > K > Si > J > Li > Fe > Mn > As > Se > Ni > Rb > Sc > Zn > Ti > Cu > Ba> Ge > Mo > Cr > Pb > Sn >U > Th. Он

значительно отличается от подобных содержаний в морской воде бухты Ласпи.

На глубинный генезис флюидов указывают следующие признаки: непостоянство объемов выбросов и состава газов; присутствие CH_4, C_2H_8, C_2H_6, C_3H_8, N_2, O_2, CO_2, He, CS_2, COS и H_2S; изотопный состав углерода и наличие водных растворов.

В результате установлено, что флюиды, кроме метана, содержат другие газы и водные растворы. Они попадают в атмосферу и гидросферу. Возможно, в наши дни глубинные поступления из недр являются главными контролерами состава атмосферы и гидросферы и их эволюционного изменения.

ВЕРТИКАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ТАКСОЦЕНА КОПЕПОД В ГРАДИЕНТЕ ФАКТОРОВ (СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД)

Т. В. Ляшко ✉, Д. А. Литвинюк, В. С. Муханов

ИНБюМ, Севастополь, Россия
✉ *liashkot@ibss.su*

Ключевые слова: копеподы, вертикальная структура, факторы среды, статистический подход, Черное море.

Исследование особенностей вертикальной зональности мезозоопланктона открытых районов Черного моря проводили на массиве данных (155 проб), полученных с 2019 по 2021 г. в ходе четырех рейсов НИС «Профессор Водяницкий» в летний, весенний, зимний и осенний периоды года.

Пробы мезозоопланктона собирали послойными вертикальными ловами сетью Джеди (Ø 0,37 м, 150 мкм) до нижней границы кислородной зоны (σ_t = 16,2 кг/м^3) по четырем слоям: 1) верхний квазиоднородный слой (AT); 2) слой под термоклином (BT) (ниже ядра термоклина до изопикны 14,5 кг/м^3); 3) слой оксиклина (σ_t = 14,5–15,5 кг/м^3) (OXY) и 4) субкислородный слой (σ_t = 15,5–16,2 кг/м^3) (SO). Также выделили ряд факторов: сезоны (spring, summer, autumn, winter), время суток (день – D, ночь – N), в том числе на суточных станциях, и районы (шельф – SHELF и

глубоководный район – DEEP) работ. Эти параметры были использованы как категориальные переменные. Таким образом, в соответствии с нашей гипотезой, перечисленные факторы (слой, сезон, время суток, район) определяют структуру сообщества копепод, а именно численное соотношение семи массовых видов: *Centropages ponticus*, *Oithona davisae*, *Acartia clausi*, *Paracalanus parvus*, *Calanus euxinus*, *Pseudocalanus elongatus*, *Oithona similis*. Оценку значимости каждого из факторов проводили с помощью двухфакторного перестановочного дисперсионного анализа PERMANOVA, который позволяет включать несколько зависимых переменных и до двух факторов.

Выяснилось, что статистически достоверное влияние на структуру сообщества оказывали два фактора – слой и сезон, а также их взаимодействие. Величины F-статистики отражали их значимость и составляли 16,75; 8,41 и 1,66 соответственно. Кроме того, время суток и район также могли иметь небольшое значение, но только в комбинации с фактором «слой». Таким образом, слой и сезон имели решающее значение в формировании видовой структуры сообщества.

Связь разных видов копепод между собой в сообществе изучали с помощью кластерного анализа всего массива данных. По результатам кластеризации виды группировались по их температурным предпочтениям, образуя пять кластеров (CLASTER 1A, 1B, 1C, 2, 3, 4, 5).

Четко выделялся кластер холодолюбивых видов (*P. elongatus*, *O. similis*, *C. euxinus*), а также теплолюбивый комплекс (*O. davisae*, *C. ponticus*).

В результате статистического анализа можно сделать вывод, что вертикальная структура сообщества копепод шельфовых и открытых районов Черного моря в разное время суток и сезоны года формируется в первую очередь из комплексов теплолюбивых и холодолюбивых видов, которые в разной степени дополняются эвритермными видами копепод.

Кроме того, статистический анализ позволил систематизировать достаточно объемные и разнообразные данные о структурной организации сообщества, которые приурочены к определенным слоям и сезонам и характеризуются доминированием комплекса холодолюбивых (кластеры 3, 4 и 5) и эвритермных видов (кластеры 1 и 2).

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗЛИВОВ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ В МОРСКОЙ АКВАТОРИИ

К. Н. Макаров ✉, И. Л. Макарова

СГУ, Сочи, Россия
✉ *ktk99@mail.ru*

Ключевые слова: буровой раствор, аварийный разлив, гидрометеорологическая ситуация, зоны мутности.

При проектировании поисково-разведочной скважины ООО НК «Приазовнефть» в Темрюкском заливе Азовского моря в рамках ОВОС возникла задача моделирования аварийных разливов буровых растворов.

Азовское море относится к водоемам рыбохозяйственного значения высшей категории с установленным режимом использования и требованиям к составу и свойствам поверхностных вод, условиям сброса загрязнений.

В соответствии с нормативными документами, ПДК взвешенных веществ в местах сброса пульпы, работы гидромеханизированных установок и т.п. составляет 320,0 г/м^3 и более. Фоновые ПДК взвеси в рыбохозяйственных водоемах (требования более жесткие, чем для мест купания) составляют при волнении 3–4 балла 20,0 г/м^3, превышение концентрации взвеси над фоновой на границах районов водопользования средств гидромеханизации не должно быть более чем на 0,25 г/м^3.

Таким образом, предельно допустимая концентрация взвеси для рыбохозяйственных водоемов составляет 20,25 г/м^3 (хотя это требование не учитывает, что в штормовых условиях на песчаных побережьях реальная концентрация взвеси составляет до 120–140 г/м^3). Следовательно, в данной работе необходимо определить границу распространения изолинии концентрации взвеси С = 20,25 г/м^3.

Необходимо было рассчитать распространение дополнительной взвеси при аварийных разливах бурового раствора из емкостей во время штиля и при характерных гидрометеорологических

ситуациях. Характерными гидрометеорологическими ситуациями являются течения юго-западного и северо-восточного направлений со скоростью порядка 30 см/с.

Поскольку диаметр частиц глины в буровом растворе не более 0,0025 мм, их гидравлическая крупность очень мала и при распространении загрязнения раствор можно считать фактически консервативной примесью, для которой имеет место не осаждение, а разбавление.

Разбавление примеси по мере удаления от источника описывается фундаментальным уравнением адвекции – диффузии, которое при определенных аппроксимациях имеет аналитические решения.

В частности, такие решения имеются для расчета проникновения примеси от мгновенного источника с поверхности моря в глубину (например, при разливе бурового раствора, как в рассматриваемом случае) без учета течений (чисто диффузионная задача) и для расчета распространения примеси по площади акватории под воздействием волн и течений. Совместное решение указанных уравнений позволяет получить полное поле растворенной примеси.

В работе рассмотрены шесть вариантов аварийных разливов буровых растворов. Для них определены радиусы зон мутности, ограниченных изолинией 20,25 г/м^3, как для штилевых условий, так и для характерных гидрометеорологических ситуаций.

В частности, было установлено, что время разбавления глинистой примеси (мелкодисперсной взвеси) при наличии течения со скоростью порядка 0,2 м/с составит 6 ч.

ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В ЮЖНОМ ПОЛУШАРИИ ПО ДАННЫМ 68-Й РОССИЙСКОЙ АНТАРКТИЧЕСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ

Е. А. Марчук [1] ✉, И. П. Чунчузов [1], И. А. Репина [1, 2], Б. В. Иванов [3, 4], А. М. Безгрешнов [3]

[1] *ИФА РАН, Москва, Россия*
[2] *МГУ, Москва, Россия*
[3] *ААНИИ, Санкт-Петербург, Россия*
[4] *СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия*

✉ *murchuk-ekaterin@mail.ru*

Ключевые слова: углекислый газ, Антарктида, внутренние гравитационные волны, спектральный анализ, 68 РАЭ.

Углекислый газ является важнейшим парниковым газом, содержание которого в атмосфере регулируется, в том числе, процессами взаимодействия атмосферы и океана. Установлено, что концентрация CO_2 в атмосфере Антарктики увеличилась на 3,7 % с 1957 (315 ppm) по 1971 г. (380 ppm). Настоящая работа посвящена исследованию влияния внутренних гравитационных волн (ВГВ) на вертикальные турбулентные потоки тепла, импульса и концентрации CO_2 в приводном слое атмосферы Антарктики. Эти исследования проводились на основе анализа данных измерений метеопараметров (скорости ветра, температуры воздуха), концентрации углекислого газа и температуры поверхности океана, полученных в периоды стоянки судна на российских антарктических станциях «Прогресс» и «Мирный».

В рамках 68-й Российской антарктической экспедиции (2022–2023 гг.) проводились попутные измерения концентрации углекислого газа и температуры поверхности океана с борта судна НЭС «Академик Федоров» по маршруту «Кейптаун – Антарктические воды – Кейптаун».

Хотя океан и является активным стоком углекислого газа, однако наличие льда останавливает активный обмен углеродом между атмосферой и океаном. Различия в концентрации CO_2 были зафиксированы при переходе судна из зоны открытого моря

в зону припайного льда. В первый заход судна на станцию «Прогресс» (стоянка в районе бухты Тала 01–02 января 2023 г.) четко видно возрастание концентрации CO_2 при смене подстилающей поверхности в среднем на 10 ppm. Во второй заход судна на станцию «Прогресс» 28–29 января 2023 г. также прослеживается увеличение концентрации CO_2 с 355 ppm до значений выше 365 ppm.

Одновременно с этим на станции «Прогресс» в течение обеих стоянок наблюдалось увеличение концентрации CO_2 (при положительных температурах и при восточном, северо-восточном направлениях ветра). При увеличении влажности концентрация CO_2 падает. На станции «Мирный» концентрация углекислого газа выше при южном, западном и северо-западном направлениях ветра. Зависимость от других метеопараметров заметно ниже по сравнению со станцией «Прогресс».

Наряду с описанными выше тенденциями в изменениях концентраций CO_2 в зависимости от скорости ветра, температуры и влажности на станциях «Прогресс» и «Мирный», нами наблюдались суточные, полусуточные и часовые колебания во временных изменениях этих параметров. Путем анализа кросс-спектров метеопараметров (температуры воздуха и скорости ветра), температуры поверхности океана (SST), потоков тепла и концентрации CO_2 были выявлены колебания с периодами 11 мин, 60–67 мин, 80 мин, 2 ч, 5,5 ч. Анализ спектров турбулентных потоков явного (QH) и скрытого (QL) тепла, динамической скорости u* (tau) и кросс-спектра между вариациями параметра стратификации R и концентрации CO_2, полученных за другой длинный промежуток времени стоянки судна на станции «Прогресс» (с 2 по 20 февраля 2023 г.), показывает наличие в них спектральных пиков с суточным (24h) и полусуточным (12h) периодами. Колебания с набором доминантных периодов, найденных нами в спектрах и кросс-спектрах метеопараметров и турбулентных потоков, наблюдались и ранее в вариациях атмосферного давления и скорости ветра на сети разнесенных в пространстве микробарографов и содаров в Московском регионе [Chunchuzov et al. 2021]. Колебания с подобными периодами могут генерироваться регулярным источником ВГВ – солнечным терминатором [Hedlin et al. 2018; Chunchuzov et al. 2021].

РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКА МЕРЗЛЫХ ТОЛЩ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ЭСТУАРИЯ ОБИ

С. Г. Миронюк

МГУ, Москва, Россия
✉ *mironyuksg@gmail.com*

Ключевые слова: Заполярная зона, Обская губа, эстуарий, береговая зона, многолетнемерзлые породы, приповерхностный газ, криогенные процессы, талик.

Эстуарий р. Оби и прилегающая местность – район интенсивного промышленного освоения. Здесь возведены (проектируются) крупные объекты нефтегазового комплекса: «Ямал СПГ», газопровод «Газ Ямала», стационарный морской ледостойкий отгрузочный терминал (СМЛОТ) «Ворота Арктики» (Новопортовское месторождение), «Арктик СПГ-2», ледостойкая стационарная платформа «Каменномысская», порт Саббета и др. Регион, согласно схеме размещения зон с резко различной инженерно-геологической обстановкой в пределах Западно-Сибирской плиты, практически полностью расположен в пределах заполярной зоны. Она охватывает тундру и северную лесотундру и характеризуется практически сплошным распространением многолетнемерзлых льдистых и сильнольдистых четвертичных пород различного генезиса (морских, ледниково-морских, аллювиальнвх и др.). Они представляют собой реликтовые мерзлые толщи, сформированные в субаэральных условиях во время регрессии в эпоху последнего (сартанского) оледенения Западной Сибири (20–18 тыс. л. н.) и затопленные впоследствии в ходе последней трансгрессии (16–5 тыс. л. н.). Общая их мощность изменяется от 150 до 400 м, а среднегодовые температуры от – 2…– 4 до – 8…– 10 °С. Значительная засоленность отложений морского генезиса способствует формированию в толще многолетнемерзлых пород (ММП) талых прослоев (слоистой мерзлоты). Имеются сквозные талики, которые развиты под крупными водотоками. Например,

под акваторией Обской губы сформировался крупный современный талик, который занимает около 90 % и более площади дна водотока.

Инженерно-геологические изыскания, выполненные в последние десятилетия (ОАО «АМИГЭ», ООО «Питер Газ», ООО «Уренгойгеопром», ООО «ЦАСД МГУ имени М. В. Ломоносова», ООО «ЦМИ МГУ имени М.В. Ломоносова» и др.) с привлечением, помимо буровых работ, широкого комплекса геофизических методов (сейсмоакустические, электрические и др. исследования), позволили детализировать геокриологическую обстановку в рассматриваемой зоне. В частности, установлено, что дно эстуария в северной устьевой его части сложено породами, охлажденными ниже 0 °С (минимальные значения −4,1…−4,8 °С). Здесь рядом инженерно-геологических скважин на расстоянии 2,7–15,3 км от берега и при глубине моря около 20 м вскрыты локальные массивы реликтовых ММП. В их строении преобладают пластичномерзлые глины и суглинки, а также твердомерзлые пески и суглинки.

В береговой зоне северной части эстуария ММП грунты были изучены также при изысканиях для обустройства причальных сооружений Салмановского НГКМ, расположенного на западном побережье Гыданского полуострова и частично в пределах акватории Обской губы. В геологическом строении района изысканий до исследуемой глубины 20,0–30,2 м принимают участие аллювиально-морские верхненеоплейстоцен-голоценовые отложения (am III–IV). Мерзлые грунты расположены в береговой части зоны, а талые – в акватории. К ММП отнесены пески мелкие и пылеватые, твердомерзлые, массивной и слоистой криотекстуры. Криогенное строение грунтов во многом определяется влажностью, слоистые криотекстуры преобладают в верхней части разреза, в нижней части разреза песчаные грунты имеют массивную криотекстуру. Суммарная льдистость составляет 0,30–0,40 д. е. В гранулометрическом составе хорошо отмытых мелких песков содержание песчаных частиц – 100 %. Пески пылеватые содержат песчаных частиц – 89 %, пылеватых – 10 %, глинистых – 1 %, Суммарная влажность (д. е.) первых 0,23, плотность грунта составляет 1,93 г/см^3. Эквивалентное сцепление – 0, 426 МПа, модуль общей деформации – 37 МПа. Пески пылеватые

характеризуются следующими значениями параметров физико-механических свойств: суммарная влажность (д. е.) 0,22, плотность грунта –1,95 г/см^3, эквивалентное сцепление – 0, 313 МПа, модуль общей деформации – 30 МПа. Средняя температура грунтов на глубине 10–12 м составляет 2,7 °С. Степень засоленности песков мелких – 0,01–0,10 %; песков пылеватых – 0,03–0,11 %. Тип засоления – хлоридный.

Инженерно-геологические изыскания, включая геофизические исследования, показали, что наиболее сложными геокриологическими условиями характеризуется интенсивно застраиваемая береговая зона эстуария. Типы и конструкции сооружений здесь должны быть приспособлены и надлежащим образом вписаны в условия резкой неоднородности инженерно-геологических условий, высокой активности литодинамических процессов, широкого развития криогенных и посткриогенных процессов и явлений (солифлюкции, пучения, морозобойного растрескивания, нивации, термоэрозии, термокарста), деградации ММП в связи с глобальным изменением климата (в устье Оби среднегодовая температура воздуха за период с 1950 по 2000 г. увеличилась на 1,2–1,4 °С). В осадках зоны содержится приповерхностный биогенный газ (имели место его выбросы в процессе бурения инженерно-геологических скважин), который образовался за счет микробного разложения ранее законсервированного в мерзлоте органического вещества.

Наиболее детально толщи ММП изучены в южной и средней частях Обской губы (месторождения Каменномысское-море, Северо-Каменномысское, Обское) и на прилегающих к ней Ямальской и Южно-Ямальской низменностях (месторождения Каменномысское, Новопортовское и др.). Здесь ММП развиты как на побережье Обской губы, так и в пределах берегового склона акватории вплоть до глубины 10–12 м. На этой глубине происходит выклинивание мерзлых толщ под дном губы. Ширина вдольбереговой зоны распространения ММП изменяется от нескольких десятков до 300–400 м. ММП часто обнажаются или залегают на небольшой глубине на участках, где происходила интенсивная термоабразия (обрывы коренного берега губы, пляжевая зона). Наличие ММП в прибрежной части было подтверждено инженерно-геологическим бурением, выполненным в порту Ямбург.

Объемная льдистость их – 16 %. По результатам работ кровля мерзлых грунтов была вскрыта на глубине 0,5 м от поверхности дна, при этом мощность мерзлой толщи составила более 30 м. Температура грунта, измеренная в керне скважины на глубине 3,2 м была равна −0,5 °С, а на глубине 10,5 м −2,4 °С. Ниже представлена характеристика ММП изученных на площадке изысканий в п. Ямбург.

Аллювиально-морские, озерно-аллювиальные верхненеоплейстоцен-голоценовые отложения (am, la III-IV) распространены с поверхности дна. В пределах площадки изысканий их мощность составляет 3,1 м. Представлены глиной пластичномерзлой. В гранулометрическом составе преобладают пылеватые и глинистые частицы. Содержание пылеватых частиц – 46,4 %, глинистых – 46,4 %, песчаных – 7,2 %. Суммарная влажность 0,51, плотность грунта составляет 1,66 г/см^3. Удельное сцепления и угол внутреннего трения соответственно равны 12 кПа и 14,9°, модуль общей деформации 1,5 МПа.

Аллювиальные верхненеоплейстоценовые отложения (a III2-3) залегают под озерно-аллювиальными осадками. Вскрытая мощность аллювиальных отложений на площадке изысканий – 26,7 м. В составе аллювия выделены песок пылеватый твердомерзлый, супесь твердомерзлая и песок мелкий твердомерзлый. Песок пылеватый твердомерзлый массивной криотекстуры. Преобладают песчаные частицы, содержание которых составляет 69,3 %. Содержание пылеватых частиц – 24,9 %, глинистых – 5,8 %. Суммарная влажность песка (д. е.) 0,22, плотность мерзлого грунта 2,08 г/см^3. Суммарная льдистость – 0,14 д. е.

Супесь твердомерзлая массивной криотекстуры. В гранулометрическом составе преобладают пылеватые частицы, содержание которых составляет 45,9 %. Содержание глинистых частиц – 27,5 %, песчаных – 26,6 %. Суммарная влажность супеси (д. е.) 0,25, плотность мерзлого грунта 1,94 г/см^3. Суммарная льдистость – 0,16 д. е.

Песок мелкий твердомерзлый массивной криотекстуры. В гранулометрическом составе содержание пылеватых частиц составляет 3,6 %, глинистых – 2,7 %. Преобладают песчаные частицы, содержание которых составляет 93,6 %, гравия – 0,1 %. Суммарная влажность песка (д. е.) 0,21, плотность мерзлого грунта

2,03 г/см^3. Суммарная льдистость – 0,19 д. е. Прочностные характеристики песка твердомерзлого определялись в стационарной грунтовой лаборатории в условиях одноосного сжатия на приборе ПИМ-10 при различных температурах. Условно-мгновенное сопротивление одноосному сжатию при t = −1 ºС составило 6,2 МПа, при t = −8 ºС – 22,5 МПа.

В районе м. Каменного среднегодовая температура мерзлых грунтов на коренном берегу составляет −6,5... −5,0 °С, на лайде и пляже от −4 до −2 °С, на мелководье берегового склона −2,0... −0,1 °С и контролируется в основном глубиной воды. Мерзлые грунты береговых участков классифицируются как льдистые. Морские суглинки и супеси до глубины 4–5 м содержат ледяные включения, образующие слоистую и сетчатую текстуру. Все песчаные мерзлые отложения имеют массивную криогенную текстуру; степень заполнения пор льдом и незамерзшей водой находится в пределах единицы; при оттаивании пески переходят в водонасыщенное состояние, а суглинки и супеси испытывают большие осадки.

МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ЗОНЕ ПРОМЫСЛА У ПОБЕРЕЖЬЯ МАРОККО В 2016–2021 ГОДЫ

А. С. Мищенкова

РГГМУ, Санкт-Петербург, Россия
✉ micchenkova01@gmail.com
,

Ключевые слова: рыболовная зона Марокко, промысел, Канарский апвеллинг, океанографические условия среды, улов на усилие.

Настоящее исследование посвящено анализу межгодовой изменчивости океанографических условий в атлантической

рыболовной зоне (АРЗ) Марокко, расположенной в северной части Канарского апвеллинга, за период с 2016 по 2021 г.

Основными материалами послужили данные об уловах Российской Федерации в зоне промысла у побережья Марокко, предоставленные АтлантНИРО, а также значения натурных наблюдений гидрологических и гидрохимических характеристик, дополненные из базы данных Copernicus (Copernicus Global Ocean Physics Reanalysis и Copernicus Global Ocean Biogeochemistry Analysis and Forecast).

Для корректной оценки численности рыбных запасов было выполнено преобразование данных о промысловых уловах в значения улова на усилие с учетом количества судов, осуществлявших промысел в конкретный период. На основании кластерного анализа, проведенного для оценки влияния гидрологических характеристик на изменение промысловой активности, выявлены пять основных типов, определяемых пространственным распределением температуры поверхности океана (ТПО) и солености. Для каждого типа получены характерные распределения гидрохимических параметров.

В прибрежной зоне в основном находятся воды апвеллинга, которые берут свое начало от 21° с. ш. Именно в этой узкой полосе располагаются основные районы промысла, что подтверждается расположением судов в 2016–2021 гг. Наилучшие результаты промыслового усилия соответствуют первому кластеру, в котором наблюдаются самые высокие значения температуры воды и начинают локализоваться два очага: у южной части побережья и у северо-восточной части побережья Марокко. Когда апвеллинг начинает проявляться более интенсивно, то за счет размытости характеристик промысловое усилие оказывается намного менее эффективным.

Статистический анализ данных показал, что за последние шесть лет температура поверхности океана увеличилась. Чередование типовых гидрологических и гидрохимических условий в очагах апвеллинга с 2019 г. значительно нарушается. При этом зафиксированы самые низкие уловы на усилие за исследованный период. Распространение минерального фосфора в очагах характеризуется крайней неоднородностью, проявляющейся в ярко вы-

раженной разнонаправленной тенденции распределения значений, а именно существенное снижение концентрации в юго-западной части исследуемой зоны промысла и увеличение в северо-восточной, что представляет особый интерес, так как раньше в данном регионе такого не было зафиксировано. С этого же года происходит уменьшение внутригодовой амплитуды изменения содержания кислорода и появляется существенный сдвиг по фазе у солености. Данные изменения требуют дальнейшего изучения и учета при управлении промыслом.

ИЗМЕРЕНИЯ pCO_2 В ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ В ПЕРИОД ИНВАЗИИ

И. Н. Мукосеев ✉, Е. В. Медведев

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *igor.mukos@gmail.com*

Ключевые слова: pCO_2, углекислый газ, Черное море, цикл углерода, карбонатная система.

Цикл углерода оказывает фундаментальное влияние на гидрохимию и морские экосистемы Черного моря. Одним из наиболее репрезентативных его показателей является парциальное давление углекислого газа, исследование которого является очень важной задачей в условиях продолжающегося ускорения глобального изменения климата и непрекращающихся выбросов антропогенных парниковых газов, в частности роста из года в год концентрации CO_2.

Отдел биогеохимии моря Морского гидрофизического института на протяжении последних 15 лет занимается изучением карбонатной системы Черного моря и, в частности, измерениями парциального давления углекислого газа в поверхностном слое вод и его содержания в атмосфере. Было проведено 19 экспедиций на НИС «Профессор Водяницкий» и 18 экспедиций на стационарную океанографическую платформу ЧГП МГИ (СОП), в ко-

торых изучались как пространственное распределение углекислого газа в поверхностных водах моря, так и суточная и сезонная изменчивость параметров карбонатной системы. На протяжении этого периода в силу различных обстоятельств измерения pCO_2 проводились в основном в весенний, летний и часть осеннего периода (с апреля по ноябрь). Было лишь три экспедиции на СОП, относящихся к развитию осеннего гидрологического сезона (ноябрь) и одна – к окончанию (декабрь), зимний период до последнего времени вообще не был охвачен исследованиями.

Как известно, парциальное давление углекислого газа вод Черного моря имеет ярко выраженное деление на весенне-летний период с эвазивными условиями (выделение CO_2 из воды в атмосферу) и осенне-зимний период инвазии (когда воды являются стоком для атмосферного CO_2). При этом считается, что примарными факторами, влияющими на содержание углекислого газа в воде весной и летом, являются биологические факторы (фотосинтез, разложение ОВ и т. д.), в то время как осенью и зимой на первую роль выходят физические (гидрологические и гидродинамические) условия.

Таким образом, для более точного анализа состояния карбонатной системы, ее пространственно-временной изменчивости и дальнейшего моделирования необходимо наличие данных прямых измерений, относящихся ко всем сезонам.

Эта задача частично была решена зимой 2023–2024 гг. Осенью 2023 г. в ходе 129-го рейса НИС «Профессор Водяницкий» были получены данные о pCO_2 в воде и атмосфере в период перехода от эвазивных условий к инвазивным. В феврале 2024 г. были получены данные на СОП, относящиеся к середине зимнего периода с глубоко инвазивными условиями и в марте – апреле 2024 г. были получены данные о периоде, предстоящем переходу от инвазии к эвазии.

В ходе проведенных исследований впервые была собрана база параметров карбонатной системы, а также изучена инвазивная структура поверхностных вод северной части Черного моря. Так, минимальные значения pCO_2 (320–332 мкатм) в инвазивных условиях были зарегистрированы в самом конце зимнего гидрологического периода (15–18 марта).

Работы проводились в рамках государственного задания по теме: FNNN-2022-0002 «Мониторинг карбонатной системы, содержания и потоков CO_2 в морской среде Черного и Азовского морей»

ХАРАКТЕРИСТИКИ БИОГЕОХИМИЧЕСКОГО БАРЬЕРА В ЗОНЕ РЕКА ЧЕРНАЯ – СЕВАСТОПОЛЬСКАЯ БУХТА В 2015–2022 ГОДЫ

М. А. Мыслина ✉, Е. В. Медведев, А. В. Вареник, Д. В. Тарасевич

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *myslina@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: река Черная, Севастопольская бухта, биогенные элементы, компоненты карбонатной системы, биогеохимический барьер.

Севастопольская бухта – самая большая бухта города Севастополя. Одним из основных факторов, влияющих на гидролого-гидрохимические характеристики бухты, является сток р. Черной. Повышение уровня загрязнения речного стока приводит к росту концентраций и аккумуляции загрязняющих веществ (ЗВ) в устьевой части реки, а также в прилегающей прибрежной зоне бухты.

В зоне биогеохимического барьера р. Черная – Севастопольская бухта (зона смешения речных (пресных) и морских (соленых) вод с соленостью приблизительно от 0 до 18 ‰) происходит изменение гидрохимических характеристик (величины солености, концентрации растворенных химических элементов и взвешенного вещества и т. д.)

Целью работы являлось определение характеристик биогеохимического барьера р. Черная – Севастопольская бухта.

Градиент биогеохимического барьера между станциями 8 и 10 для разных гидрохимических параметров изменялся в широких пределах. Так, градиент биогенных элементов составил: для неорганического фосфора от −0,756 мкмоль/л·км в апреле 2021 г. до

0,043 мкмоль/л·км в мае 2017 г., для силикатов от −0,208 мкмоль/л·км (февраль 2022 г.) до 13,415 мкмоль/л·км (сентябрь 2015 г.) и для нитратов от −19,756 мкмоль/л·км (февраль 2022 г.) до 6,568 мкмоль/л·км (апрель 2021 г.). Градиент компонентов карбонатной системы составлял для pH от −0,15 ед. pH/км (сентябрь 2016 г.) до 0,04 ед. pH/км (февраль 2015 г.), общей щелочности – от −90,5 мкмоль/л·км (сентябрь 2016 г.) до 221,7 мкмоль/л·км (февраль 2015 г.). В целом четко прослеживается различие градиентов рассматриваемых гидрохимических величин в паводковый и меженный периоды. В сравнении с предыдущим периодом исследований градиенты геохимического барьера для компонентов карбонатной системы уменьшились, при этом можно отметить консервативность этих изменений.

Работа выполнена в рамках темы госзадания ФГБУН ФИЦ МГИ № FNNN-2024-0001 «Фундаментальные исследования процессов, определяющих потоки вещества и энергии в морской среде и на ее границах, состояние и эволюцию физической и биогеохимической структуры морских систем в современных условиях».

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ УСТЬЕВЫХ УЧАСТКОВ РЕК ЮГО-ЗАПАДНОГО КРЫМА

С. В. Наривончик

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *Narivonchik_s@mail.ru*

Ключевые слова: устье реки, морфометрические характеристики, Юго-Запад Крыма, дистальный конец.

Объект исследования – устьевые участки рек Юго-Западного Крыма: Черной, Бельбека, Качи и Альмы.

Цель работы – оценить изменения геоморфологических характеристик устьевых участков рек под влиянием природных и антропогенных факторов.

Предмет исследования – геоморфологические особенности антропогенно-измененных устьевых участков рек Юго-Западного Крыма.

Устьевые участки рек являются конечным звеном речных систем и одним из основных компонентов устьевых областей рек. Они подвержены воздействию реки, моря и хозяйственной деятельности, их побережья в Крыму активно застраиваются. Безопасное природопользование в устьевых регионах зависит от рельефа и динамики его изменений под действием природных и антропогенных факторов. Сели, оползни, осыпи, абразия, размыв берегов и русла, аккумуляция наносов, прорыв новых русел, стариц, существенное антропогенное вмешательство в режим малых рек Крыма (углубление и спрямление русел, изъятие песка и гальки, подсыпка и застройка естественно затапливаемых пойм, аварийные сбросы воды из водохранилищ и другие гидротехнические мероприятия) зачастую негативно сказываются на взаимодействии потока и русла. Это приводит к материальному ущербу, который возмещается из государственного бюджета, способствует росту социальной напряженности. Опасность негативных экзогенных процессов в морских устьях рек увеличивается не только за счет роста населения, стремящегося жить у моря, но и из-за изменения климата.

Одна из причин существующих и возможных в будущем проблем природопользования в низовьях малых рек Крыма – недостаточная изученность геоморфологии их устьевых участков, имеющих свою специфику в устьях разного типа. Существенная изменчивость рельефа этих компонентов устьев при отсутствии систематических наблюдений затрудняет определение вершин морских устьев рек, оценку поступления стока воды и наносов на устьевые взморья.

Дана характеристика пространственно-временной изменчивости основных геоморфологических характеристик устьевых участков рек Альмы, Качи, Бельбек и Черной на основе анализа архивных данных, картографических материалов, спутниковых снимков, а также натурных исследований ОГШ МГИ РАН в последнее десятилетие. Установлено, что все устьевые участки указанных рек подвержены антропогенным изменениям и природ-

ным деформациям. Выявлены общие черты и отличительные особенности в формировании устьевых форм рельефа и происходящих изменениях геоморфологических характеристик.

В наибольшей степени хозяйственная деятельность сказалась на режиме устьевых участков рек Черной, Бельбек и Альмы, что повысило их экономический и рекреационный потенциал, но навсегда изменило их природные особенности, которые сохранились лишь на устьевом участке р. Качи. Влиянию штормов особенно подвержены свободно меандрирующие в песках дистальные концы устьевых участков рек Бельбек и Качи. Они часто, иногда после каждого шторма или паводка, изменяют направление русел и количество устьевых рукавов. На устьевых участках р. Альмы (из-за спрямления русла и сооружения бун) и р. Черной (в 9 км от моря) такие изменения лимитированы и происходят при значительных паводках.

ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ МАКРОВОДОРОСЛЕЙ, СОБРАННЫХ У БЕРЕГОВ СЕВАСТОПОЛЯ (ЧЕРНОЕ МОРЕ)

И. П. Науменко, Е. Ф. Васечкина ✉

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *vasechkina.elena@gmail.com*

Ключевые слова: фотосинтез, макрофитобентос, водоросли, Черное море, *PE*-кривые.

Макароводоросли являются ключевым компонентом морских прибрежных экосистем. Они преобразуют солнечную энергию, поглощают углекислый газ, нитраты, фосфаты и аммонийные соединения из окружающий среды, являясь важным звеном биологической очистки, увеличивают запасы органического вещества и растворенного кислорода.

Скорость фотосинтеза у водорослей пропорциональна интенсивности света и хорошо описывается так называемой *PE*-кривой. Основными ее параметрами являются: максимальная

скорость фотосинтеза P_{max}, затраты кислорода на темновое дыхание R_d, начальный наклон кривой α. Фотосинтетические параметры видоспецифичны. Температура воды является существенным фактором, влияющим на скорость фотосинтеза, помимо интенсивности светового излучения. Существует множество параметризаций *PE*-кривой, для скорости фотосинтеза макроводорослей и морских трав ближе параметризация, предложенная *Jassby*, *Platt* в 1976. Нами был собран архив литературных данных фотосинтетических параметров различных видов макроводорослей и морских трав, полученных в лабораторных условиях при различных температуре и интенсивности света для разных географических регионов. Подобные данные для макроводорослей и морских трав Черноморского региона отсутствуют.

Образцы бурых водорослей *Gongolaria barbata (= Cystoseira barbata)* и *Scytosiphon lomentaria* (= *Scytosiphon simplicissimus*), красных *Vertebrata subulifera* (= *Polysiphonia subulifera*) и зеленых *Ulva intestinalis* (=*Enteromorpha intestinalis*) были взяты 10 марта 2024 г. в прибрежной части г. Севастополя в районе пляжа Парка Победы (Крымский п-ов) на глубине 0,5–1 м. В месте сбора температура морской воды составляла 12–13 °С.

Морская вода, собранная для проведения экспериментов, была пересыщена кислородом до 143 %. Поэтому было принято решение снизить концентрацию кислорода химическим способом путем добавления 80 мг/л сульфита натрия Na_2SO_3 (0,63 мМ). В результате реакции, протекавшей в течение суток, 10 мг/л кислорода было нейтрализовано и стартовые концентрации кислорода варьировались в интервале 2,5±0,5 мг/л, оставаясь выше границы гипоксии. Все эксперименты проводили с использованием морской воды, деаэрированной сульфитом натрия. Повышение солености морской воды в результате химической реакции сульфита натрия и растворенного кислорода было незначительно. Лабораторные эксперименты проводились при температуре 15 °С.

После завершения экспериментов с образцов удалялись излишки жидкости для определения влажного веса (*WW*), а после высушивания в сушильном шкафу при 60 °С определялось отношение сухого веса к влажному (*DW*/*WW*). Отношение сухого веса к сырому у исследуемых образцов водорослей составляло 15–18 %, немного ниже полученных нами ранее величин (Vasechkina

et al., 2023). Различия в значениях сухого веса могут носить сезонный характер.

Если сравнивать результаты этих экспериментов с данными, полученными нами ранее при 15 °C, то скорость фотосинтеза *G. barbata* и *U. intestinalis* в текущих экспериментах оказалась более чем в 2–3 раза выше. Подобные тенденции сохраняются и для скорости темнового дыхания R_d. Различия можно объяснить недоучетом кислорода, выделявшегося в виде пузырьков газа при пересыщении морской воды кислородом.

Полученные результаты могут использоваться при построении математических моделей донных сообществ морских макроводорослей в Черноморском регионе.

Работа выполнена в рамках темы Государственного задания № FNNN-2024-0016 «Прибрежные исследования».

МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОДУЛЬНОГО НАДВОДНОГО АППАРАТА В СИМУЛЯЦИОННОЙ СРЕДЕ UNIGINE

В. В. Никишин [1, 2] ✉, А. В. Багаев [2]

[1] *СевГУ, Севастополь, Россия*
[2] *МГИ, Севастополь, Россия*
✉ *nikishin_v@mail.ru*

Ключевые слова: математическое моделирование, беспилотный аппарат, автопилот, эхолот, кондуктометрия, прибрежные исследования.

Целью работы является разработка алгоритмов автопилота для управления маломерным судном с целью проведения работ в прибрежной зоне моря. Маломерное судно представляет собой надувную лодку, способную перемещать такие приборы, как эхолоты, кондуктометры, измерители растворенного кислорода

и другие. Судно должно обеспечивать движение в автоматическом режиме вдоль заданного маршрута, стоянку в заданной точке без использования якоря и возврат на берег в точку запуска.

Для моделирования автопилота и движения лодки применена симуляционная среда UNIGINE российской разработки. Ее характерной особенностью является большой инструментарий для моделирования различных физических процессов: движения твердых тел под действием сил гравитации, моделирования плавучести, волнения моря, визуализации процессов в трехмерном пространстве. Эта среда применяется для создания различных тренажеров с целью отработки навыков работы со сложными техническими системами.

Модель лодки включает себя такие параметры, как масса, моменты инерции, моменты демпфирования и коэффициенты трения.

Основным режимом автопилота является алгоритм движения вдоль промерного галса, заданного двумя координатами. Но для следования вдоль галса недостаточно удерживать направление судна на конечную точку, под действием ветра и течений лодку будет сносить от линии галса, поэтому алгоритм должен учитывать это отклонение и доворачивать лодку так, чтобы она двигалась по заданной линии галса. В разработанном симуляторе лодки координаты маршрута загружаются в виде текстового файла, что позволяет моделировать различные сценарии, а также готовить оптимальные маршруты для решения задачи перемещения.

Для оценки точности удержания алгоритмом траектории движения параметры автопилота и координаты записываются в текстовый файл, который можно проанализировать в любом редакторе электронных таблиц.

Второй режим автопилота – это удержание лодки в одной точке. В этом случае суть алгоритма заключается в расчете расстояния от координаты лодки к точке удержания, в зависимости от этого расстояния мощность двигателя меняется так, чтобы лодка оставалась в точке. Данный режим важен для случаев отбора проб или для случая замера параметров погружными приборами.

Алгоритм в UNIGINE написан на языке C#. Авторами смоделирован район ЧГПП возле пгт Кацивели с соблюдением реальных размеров на базе спутниковых снимков. Симулятор позволяет управлять лодкой и без автопилота с помощью джойстика.

Разработанный симулятор маломерного судна позволяет решать задачу планирования экспедиции, выбора оптимального маршрута, настройки автопилота, а также проводить тренировки судоводителей в управлении лодкой.

Работа выполнена в рамках госзадания по теме МГИ №FNNN-2024-0016 «Прибрежные исследования».

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОФИЛИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ «АКВАЛОГ» В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

А. В. Новицкий

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *a.novitskiy@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: динамика течений, «Аквалог», прибрежная зона, ЮБК, Черное море.

Сложность динамики и термохалинной структуры вод в прибрежной зоне ЮБК требует привлечения инструментальных средств для мониторинга скорости течений, температуры и солености от поверхности до дна. Поэтому целью работы является исследование динамики и гидрологии вод с помощью профилимера «Аквалог» разработки ИО РАН вблизи стационарной океанологической платформы в п. Кацивели, ЮБК. «Аквалог» перемещается по натянутому тросу между нижним ограничителем у дна и поверхностью воды. Длина рабочего хода составляет примерно 28 м. Трос натягивается электрической лебедкой через блок на вылете стрелы с верхней палубы платформы, на нижнем конце троса установлен груз для натяжения. В «Аквалоге» установлен измеритель скорости течений Nortek ADCP и CTD-зонд RBR Concerto. Профилирование водной толщи осуществлялось

с периодичностью 60 мин. Скорость движения «Аквалога» по тросу составляет примерно 20 см/с, таким образом среднее время одного профилирования составляет около 5 мин. В работе анализируются данные двухдневной постановки 12–13 сентября 2023 г., а также постановки длительностью 3 дня с 31 октября по 02 ноября 2023 г.

Профили скоростей показывают наличие течений у поверхности до 1 м/с. С увеличением глубины скорости убывают до 0,2 м/с. Непосредственно у дна наблюдается северо-восточное течение с пиковой скоростью до 0,6 м/с в период 12–13 сентября 2023 г. В период с 31 октября по 02 ноября 2023 г. наблюдаются течения в придонном слое во всех направлениях с пиковой скоростью до 0,4 м/с.

Термохалинная структура в сентябре показывает прогрев воды до 24 °С до глубины 24 м, в октябре – ноябре температура опустилась до 17,2 °С до глубины 16 м, глубже наблюдается постепенное уменьшение температуры. Сделан вывод о перспективе использования профилирующей системы «Аквалог» для задач мониторинга прибрежной зоны ЮБК.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме FNNN-2024-0016.

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ БЕНГЕЛЬСКОГО АПВЕЛЛИНГА НА ПОЛЕ ХЛОРОФИЛЛА В ЮЖНОЙ АТЛАНТИКЕ

В. А. Павлушин ✉, А. А. Кубряков

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *pavlushin.92@mail.ru*

Ключевые слова: Бенгельский апвеллинг, сезонная изменчивость, спутниковые измерения, межгодовая изменчивость, хлорофилл.

Восточные пограничные апвеллинги являются важной частью глобального океанического конвейера, оказывая значительное

влияние на вертикальный обмен в Мировом океане. Зоны подъема вод являются важнейшими источниками питательных веществ, способствующих развитию фито- и зоопланктона, которые в свою очередь являются кормовой базой для множества видов рыб. Биогенные вещества, поднятые в верхний слой, далее транспортируются на большие расстояния в центральную часть океана под действием ветровой циркуляции. В связи с этим изменчивость интенсивности восточных апвеллингов оказывает значительное влияние на биопродуктивность вод различных районов Мирового океана.

На основе спутниковых оптических и альтиметрических данных исследуется межгодовая и сезонная изменчивость концентрации хлорофилла *a* и ее связь с интенсивностью апвеллинга.

Данные о концентрации хлорофилла *a* получены из бесплатного архива спутниковых данных NOAA Oceancolor (http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/). Данные представляют собой продукты уровня обработки Level 3, полученные с помощью стандартного алгоритма OC-3 по измерениям радиометра MODIS-Aqua в оптическом диапазоне. Данные доступны с 2002 по 2013 гг. и имеют пространственное разрешение 4 км. Временное разрешение составляет 8 сут. Для определения скоростей течений в работе использовались картированные данные об абсолютной динамической топографии, полученные по комбинированным данным спутниковых альтиметров как сумма аномалии уровня морской поверхности (SLA) и средней динамической топографии (Mulet et al., 2013). Пространственное разрешение данных – 0,25°, временная дискретность – 1 сут (delayed-time product).

На основе этих данных были исследованы пространственные особенности, сезонная и межгодовая изменчивость концентрации хлорофилла *a* в районе Бенгельского апвеллинга.

Высокие концентрации Хл (> 1 мг/м^3) наиболее значительно удаляются от берега на широтах 18–20° ю. ш., где находится наиболее широкая часть апвеллинга (максимум – около 400 км). В южной части ширина повышенных концентраций значительно меньше (100–120 км). Такие отличия связаны с выносом вод апвеллинга в Южную Атлантику под действием западных течений.

Отмечается два сезонных пика: первый, слабый приходится на декабрь – январь, а второй – более интенсивный – на июль – сентябрь.

Проведенный анализ межгодовой изменчивости показал, что наиболее интенсивное распространение хлорофилла *a* пришлось на 2004, 2008 и 2010 гг. По данным альтиметрии, в эти годы интенсивность западных течений была максимальна, что способствовало выносу богатых биогенными веществами вод в Южную Атлантику. Усиление западных течений было вызвано интенсификацией апвеллинга и ростом горизонтальных градиентов плотности между апвеллингом и окружающими водами.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В КЕРЧЕНСКОМ ПРОЛИВЕ В АВГУСТЕ 2016 ГОДА

М. П. Погожева [1, 2] ✉, **А. Н. Коршенко** [1], **Е. А. Коршенко** [1], **И. И. Панасенкова** [1], **А. О. Долгова** [1], **С. С. Жугайло** [3]

[1] *ГОИН, Москва, Россия*
[2] *ИО РАН, Москва, Россия*
[3] *АзНИИРХ, Керчь, Россия*
pogojeva_maria@mail.ru ✉

Ключевые слова: Керченский пролив, экспедиционные исследования, характеристики вод и донных отложений, загрязнение, методы экологического мониторинга.

В рамках международного проекта ЭМБЛАС «Усовершенствование методов экологического мониторинга Черного моря» была проведена экспедиционная съемка в Керченском проливе в августе 2016 г. Целью экспедиции было получение максимально подробной картины экологического состояния Керченского пролива, а также расширение и совершенствование региональной системы мониторинга, регулярно проводящейся регио-

нальными управлениями Гидрометеослужбы РФ, за счет увеличения репрезентативности станций и перечня анализируемых параметров.

Съемка выполнялась на НИС «Пеленг», был проведен отбор проб на 19 станциях с глубинами 3,5–16 м от Азовского до Черного моря. На каждой станции был выполнен полный комплекс метеорологических, гидрологических, химических и биологических работ в соответствии с последними международными методиками. Были отобраны пробы воды на стандартные гидрологогидрохимические параметры, включая определение различных форм биогенных элементов, и загрязняющие вещества (ЗВ). В пробах донных отложений определяли гранулометрический состав, а также концентрацию тяжелых металлов и органических загрязняющих веществ. Биологическая часть работ заключалась в отборе и фиксации проб воды для определения концентрации фотосинтетических пигментов, видового состава и структурных характеристик сообществ фитопланктона, мезо- и макрозоопланктона, ихтиопланктона, мейо- и макрозообентоса, макрофитов для оценки состояния донных мест обитаний района Керченского пролива. Были также отобраны пробы биоты (бычков и мидий) для получения информации о содержании тяжелых металлов и стойких органических загрязнителях в их тканях. На восьми станциях был выполнен химический анализ воды на содержание опасных стойких загрязняющих веществ, включенных в европейскую рамочную директиву (MSFD), но ранее не выполнявшийся в рамках российского рутинного мониторинга. Съемка позволила получить наиболее полные комплексные данные об экологическом состоянии морской среды в проливе в летний период времени. Полученные результаты позволили оценить размах изменчивости значений изучаемых характеристик и оценить особенности пространственного распределения гидрохимических, биологических и экологических параметров в Керченском проливе. Выполненная работа позволила сделать рекомендации по расширению списка объектов и параметров наблюдений экологического состояния пролива, а также совершенствованию методик региональной системы мониторинга.

Работа выполнена в рамках международного проекта ЭМБЛАС-2 (EMBLAS-II), финансируемого Программой развития ООН (ПРООН) и Европейским союзом в поддержку реализации Конвенции о защите Черного моря от загрязнения (Бухарестская Конвенция 1992 г.).

МОНИТОРИНГОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОРСКОГО МУСОРА НА ЧЕРНОМОРСКИХ ПЛЯЖАХ

М. П. Погожева [1, 2] ✉, **В. А. Спирина** [1]

[1] *ГОИН, Москва, Россия*
[2] *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г.Москва, Россия*
✉ *pogojeva_maria@mail.ru*

Ключевые слова: морской мусор, загрязнение морей, Черное море, методы экологического мониторинга.

Загрязнение пляжей морским мусором – это растущая глобальная проблема, которая требует комплексного подхода для ее решения. Важным шагом в борьбе с морскими загрязнениями является постоянный мониторинг и исследование масштабов проблемы. Сбор данных о составе, количестве и источниках мусора на пляжах помогает разрабатывать эффективные меры по их устранению. В 2013–2022 гг. на Черном море осуществлялся ряд проектов, нацеленных на усовершенствование методов мониторинга морской среды (ЭМБЛАС-I, ЭМБЛАС-II, ЭМБЛАС-Плюс) и выполняющихся в поддержку реализации Бухарестской конвенции с целью развития системы комплексного мониторинга Черного моря, сбора и управления данными и повышения уровня квалификации профильных специалистов в причерноморских государствах. В рамках этих проектов была проведена первичная оценка загрязненности морским мусором Черного моря в масштабах всего бассейна. Рассматривалось его поступление с водами рек, концентрации пляжного и плавающего мусора, а также микропластика в водной толще и в донных отложениях. Данная

работа посвящена исследованию морского мусора, накапливающегося на пляжах Черного моря. Для этого использовалась международная методика, включающая визуальные наблюдения, классификацию мусора по общепринятому единому перечню и регистрацию мусора с помощью специализированных мобильных приложений и унифицированных протоколов. Такая методика упрощает процесс обработки и анализа данных и позволяет их сравнивать с данными подобного мониторинга в других районах и морях. При регулярных наблюдениях полученные данные дают представление о количестве накапливающегося на берегах мусора, дают возможность проанализировать его состав по категориям, материалам и размеру. Наблюдения проводились силами предварительно обученных наблюдателей на специально выбранных репрезентативных пляжах в разные сезоны четыре раза в год.

Полученные данные свидетельствуют о высоком уровне загрязнения морским мусором исследуемых пляжей. Средняя концентрация пляжного мусора составила 652 шт/100 м (83 % пластик). Подобные мониторинговые исследования необходимы для оценки общего состояния пляжей, источников поступления, путей перемещения и оценки степени воздействия пляжного мусора, в частности пластикового, на живые организмы и существующую экосистему в целом. Подобная информация может способствовать принятию мер, с законодательной и практической стороны способствующих уменьшению производства изделий из пластика и улучшению системы обращения с отходами как на суше, так и в море.

Работа выполнена в рамках международных проектов ЭМБЛАС-I, ЭМБЛАС-II, ЭМБЛАС-Плюс, финансируемых Программой развития ООН (ПРООН) и Европейским союзом в поддержку реализации Конвенции о защите Черного моря от загрязнения (Бухарестская конвенция 1992 г.).

КОСМИЧЕСКИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ФИТОПЛАНКТОНА КАК ПОКАЗАТЕЛЯ СОСТОЯНИЯ МОРСКОЙ СРЕДЫ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ

Т. Д. Ракитин

СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия
✉ *tikhrakitin13@gmail.com*

Ключевые слова: MODIS-Aqua, космический экологический мониторинг, Японское море, береговая зона, ландшафтно-биономическое районирование, морфоструктуры, фитопланктон, хлорофилл *a*, GIS.

Береговая зона и шельф северо-западной части Японского моря – поля с активным цветением фитопланктона. Пространственно-временная динамика продуктивности фитопланктона зависит от: морфоструктурных особенностей морского ландшафта (типа рельефа, грунта, морфоструктурных границ подводного ландшафта), сезонных температур, плотности содержания биогенных веществ (фосфатов, силикатов, нитратов), гидрометеорологических явлений (конвективного перемешивания, волнения моря). Микроводоросли – первичный продуцент морской экосистемы, который служит первопищей для зоопланктона и вторичной пищей для консументов следующих трофических порядков. Тем не менее переизбыток биомассы фитопланктона ведет к эвтрофикации береговой зоны, что впоследствии приводит к массовым заморам рыб и донной биоты.

Морское пространство в береговой зоне, где цветут микроводоросли, ограничивается крупными геоморфологическими структурами – горной системой Сихотэ-Алинь и Западно-Сахалинским хребтом. Они обусловливают экологические условия акватории для гидробионтов. Береговые морфоструктуры, которые слагают материковую отмель и шельф, делятся на два типа берега: продольного (шельф узкий) и поперечного типов (шельф

широкий). Оба типа углубляют континентальную отмель, повышая или понижая роль конвективных процессов в толще воды, которые выносят биогенные соли с дна и морской толщи.

Температура вызывает сезонное цветение у фитопланктона, а также начало или конец периодических гидрометеорологических явлений (апвеллинг/даунвеллинг, ледовитость и т. д.). Дискретная динамика температур находится во взаимной зависимости с концентрациями хлорофилла *a* в фитопланктоне. Этот факт подтверждается историческими спутниковыми данными с MODIS-Aqua, NASA. Результаты космического мониторинга показали, что значения температуры могут коррелировать с цветением фитопланктона в разных ландшафтно-биономических районах моря и сезонах. В этой связи наступают временные интервалы, когда в биотических сообществах фитопланктона происходят процессы первичной и вторичной сукцессии отделов микроводорослей, например смена диатомовых водорослей на динофлагеллят. Последние могут быть «организмами красных приливов», которые населяют определенные районы в северо-западной части Японского моря.

Таким образом, распознавая потенциал как положительный, так и негативный в фитопланктоне, появляется возможность реализовывать космический экологический мониторинг высших водорослей как биоиндикаторов. Их продуктивность может открыть доступ к прогнозированию не только стихийных явлений на море и в море, но и возможность идентификации выделенных районов, где обитают потенциально опасные сообщества и виды микроводорослей.

ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ НА ГИДРОБИОНТОВ ШЕЛЬФА

И. И. Руднева [1] ✉, В. Г. Шайда [2], М. В. Медянкина [3], О. В. Шайда [1]

[1] *МГИ, Севастополь, Россия*
[2] *ООО Экосервис А, Москва, Россия*
[3] *МГУТУ, Москва, Россия*
✉ *svg-41@mail.ru*

Ключевые слова: Черное море, амфиподы, зостера, токсичность, нефтегазовый комплекс.

Стремительное развитие нефтегазового комплекса на шельфе морей и океанов неизбежно сопровождается попаданием продуктов этой деятельности в окружающую среду. Антропогенная нагрузка на прибрежные районы максимальна, что приводит к истощению ресурсов и их загрязнению ксенобиотиками. Для определения негативных последствий и их прогноза, снижения экологического риска все большее значение приобретают экотоксикологические методы, которые в природных и лабораторных условиях по реакциям биоты позволяют оценить влияние нефтегазового комплекса на морскую среду. Добыча нефти и газа связана не только с попаданием нефти в акватории, но и с загрязнением среды буровыми растворами, представляющими сложные многокомпонентные смеси, в состав которых входят тяжелые металлы и органические соединения, часто проявляющие токсические эффекты. Токсичность буровых растворов определяли на представителях бентосных сообществ Черного моря (амфиподах, зостере), а также на икре рыб. Результаты показали разную токсичность исследуемых смесей для изученных организмов, которая зависела от дизайна эксперимента, времени воздействия и концентрации, что может быть полезно для разработки методов мониторинга, анализа качества морской среды в районах добычи нефти на шельфе, а также получения экологически безопасных буровых растворов.

ТРАНСФОРМАЦИЯ СОЛЕНЫХ ОЗЕР КРЫМА В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ И АНТРОПОГЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

И. И. Руднева [1] ✉, П. В. Гайский [1], В. Г. Шайда [2], О. В. Шайда [1]

[1] *МГИ, Севастополь, Россия*
[2] *ООО Экосервис А, Москва, Россия*
✉ *svg-41@mail.ru*

Ключевые слова: сезонные флуктуации, температура, гидрохимические параметры, пересыхание.

Экологическое состояние гипергалинных озер определяется совокупностью природных и антропогенных факторов. Исследование многолетней и сезонной динамики этих водных объектов представляет несомненный интерес с точки зрения эффектов взаимодействия водоема и прилегающих к нему территорий и дает возможность составить прогноз дальнейшей трансформации экосистемы в условиях изменения климата и антропогенной деятельности. Прибрежные соленые озера Крыма являются удобными моделями для изучения влияния моря, совокупности климатических флуктуаций и хозяйственной деятельности. Изучали межгодовую и сезонную динамику климатических параметров и некоторых гидрохимических и гидробиологических показателей соленых озер, расположенных на юго-западном побережье Крыма. Межгодовые изменения гидрометеорологических параметров озер характеризовались повышением температуры воздуха и воды, снижением осадков в летний период, что приводило к резкому повышению солености до 240–350 ‰, падению содержания кислорода до критических величин 0.7–1 мл/л и массовой гибели артемии, пересыханию водоемов. Особенности влияния климатических факторов на экосистемы гиперсоленых озер могут служить моделью для прогнозирования возможных сценариев влияния изменения климата на внутренние водоемы и быть полезными для понимания процессов трансформации водных экосистем в аридных зонах, а также при разработке мероприятий по их охране и рациональному использованию ресурсов.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ОБЪЕКТОВ БЕРЕГОЗАЩИТЫ

Г. Э. Садыкова ✉, Т. А. Иваненко

КФУ, Симферополь, Россия
✉ *sapronovat@mail.ru*

Ключевые слова: экологическая безопасность реконструкции, берегозащита, техническое решение, искусственный риф.

Эффективное освоение прибрежных рекреационных территорий Республики Крым требует внедрения продуманных мероприятий по поддержанию природно-ресурсного потенциала рекреационных объектов, в том числе по реконструкции и строительству сооружений для защиты берега от волнового воздействия и абразии. Одним из предложенных технических решений является комплекс сооружений для воссоздания, расширения и стабилизации пляжей как обязательного элемента. Искусственные пляжи в зависимости от природных условий, рельефа дна и конфигурации береговой линии в плане могут быть свободными, т. е. без пляжеудерживающих сооружений, или в комплексе с ними.

На примере участка побережья в г. Евпатории (западное побережье Крыма) рассмотрим варианты инженерных решений по берегозащите и восстановлению пляжной полосы. Рассматриваемый участок расположен напротив городской набережной имени Терешковой. Общая длина реконструируемых берегозащитных сооружений составляет 1268 м. Выявлены участки, находящиеся в аварийном состоянии, для которых необходима разработка новых вариантов расположения сооружений в связи с их низкой работоспособностью.

Рассмотрены три конструктивных варианта технических решений:

Первый вариант – защита берега с помощью ступенчатого укрепления с применением железобетонных массивов, уложенных на подготовленное основание, аналогичная существующим сооружениям.

Второй вариант – защита берега с помощью откосно-ступенчатого крепления, выполненного из монолитного бетона на

участке выше уровня воды для предупреждения отражения волн от вертикального сооружения, также с целью защиты от подмывов предусмотрена берма шириной 3,7 м из крупного камня массой 300÷500 кг с уклоном откоса 1:4 и размещение в морской части продольных волноломов (искусственных рифов).

Третий вариант – защита берега с помощью сборных конструкций, состоящих из упорного зуба, откосных ступенчатых плит.

На основе технико-экономического сравнения вариантов и результатов научных исследований выявлено, что наиболее оптимальный способ закрепления пляжа на рассматриваемом участке – с помощью продольных пляжеудерживающих сооружений – искусственных рифов (проницаемых волноломов).

Использование продольных проницаемых волноломов, расположенных на глубине 4 м позволяет существенно сократить расход песчаных наносов в пределах участка проектирования до 10 тыс. $м^3$.

Для защиты участка в г. Евпатории предлагается размещение двух искусственных рифов (проницаемых волноломов). Конструктивно риф состоит из металлического каркаса и наброски крупного камня. Риф разделен на секции 10 × 9 м, общая протяженность рифов составляет по 80 м каждый, ширина 9 м. Искусственный риф состоит из 8 секций.

Рифы конструктивно выполняются из крупного камня, уложенного в металлический каркас, заглубленный на 1 м ниже уровня моря. Средняя глубина, на которой размещается тыловая сторона рифа, в среднем составляет 3,5 м. Верх металлического каркаса устраивается на отметке −1,20 м БС, низ – в соответствии с рельефом дна.

Предлагаемые инженерные берегозащитные сооружения направлены на снижение нарушенности в настоящем времени и в будущем, учитывают природные условия и требования экологической безопасности.

К ВОПРОСУ О КОНФЛИКТАХ РЕКРЕАЦИОННОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ДРУГИХ ВИДОВ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ

А. Ю. Санин

ГОИН, Москва, Россия
✉ *eather86@mail.ru*

Ключевые слова: рекреация, конфликты природопользования, прибрежная зона, природопользователи, интересы природопользователей, острота конфликтов.

Конфликты природопользования между туристической и прочими типами деятельности человека возникают из-за их конкуренции за одни территориальные ресурсы и достигают наибольшей остроты в регионах со значительной плотностью населения и интенсивностью хозяйственной деятельности.

Для прибрежной зоны можно выделить следующие категории природопользователей: организованные туристы; самостоятельные туристы; местные жители в целом; местные жители, благополучие которых прямо или косвенно зависит от туристов; органы управления регионального и местного значения; туристический крупный бизнес; нетуристический крупный бизнес, прямо или косвенно зависимый от туризма (например, крупные транспортные компании, получающие значительную часть доходов от перевозок туристов); нетуристический крупный бизнес, не зависящий от туризма или частично зависящий; туристический малый и средний бизнес (турагентства, средства размещения, экскурсионные фирмы и т. д.); нетуристический малый и средний бизнес, который прямо или косвенно зависит от туризма (кафе, транспортные компании и т. д.); нетуристический малый и средний бизнес, не зависимый или частично зависимый от туризма.

В свою очередь, для каждой выделенной категории природопользователей можно выделить достаточно широкий список интересов. Некоторые из них будут общими если не для всех кате-

горий природопользователей, то для их большинства. Для уменьшения количества конфликтов природопользования и их смягчения представляется логичным первоочередное удовлетворение таких интересов. К ним относится спокойная криминогенная обстановка, развитие транспортной и иной инфраструктуры, контроль над потоками рекреантов и в ряде случаев их перераспределение в пространстве и времени.

Для имеющихся конфликтов природопользования может быть выполнена балльная оценка их остроты. Получение такой оценки как суммы оценок для всех конфликтов в туристических центрах позволит выявить некие «точки напряжения», острота конфликтов в которых наибольшая. При прочих равных условиях именно для таких центров в первую очередь необходимо принимать решения, которые позволят достичь смягчения имеющихся конфликтов.

Пример оценки остроты конфликтов природопользования для туристических центров на примере городов Туапсе и Севастополя приводится ниже.

Для каждого выявленного конфликта между типами природопользования была определена степень остроты, от которой зависит бальная оценка для данного конфликта: сильная – 3 балла, средняя – 2 балла, слабая – 1 балл; далее баллы суммируются. Ниже приводится краткое описание результатов осуществления такой оценки. Для Туапсе было выявлено восемь конфликтов, наиболее острые из них между транспортным и рекреационным природопользованием (за счет влияния городского порта) и рекреационным и промышленным (влияние нефтеперерабатывающего завода), суммарная оценка для всех конфликтов – 14 баллов. Для Севастополя было выявлено 12 конфликтов, так как типов природопользования здесь больше, однако степень их остроты преимущественно низкая, суммарная оценка – 16 баллов.

Аналогичные оценки могут быть осуществлены для всех наиболее важных туристических центров конкретного региона. Смягчение конфликтов природопользования там, где они проявляются наиболее остро, окажет благоприятный эффект на туризм и на качество жизни местных жителей.

СОСТОЯНИЕ И УРОВЕНЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ В 2022 ГОДУ

Д. Р. Светашева

ФГБУ Каспийский морской научно-исследовательский центр, Астрахань, Россия
✉ *svetashevadr@yandex.ru*

Ключевые слова: Северный Каспий, Средний Каспий, государственная сеть наблюдений, минеральный азот, минеральный фосфор, индекс загрязненности вод.

Каспийское море является уникальным природным объектом, имеющим высокую экологическую значимость. Состояние и использование природных ресурсов Каспия предъявляют необходимость решения природоохранных задач и возрастающие требования к гидрохимическим характеристикам качества водного объекта. Это ставит в число приоритетных задачу изучения показателей качества водных ресурсов.

Экологическая оценка состояния Каспийского моря проводилась на основании режимных наблюдений за загрязнением морской среды. Наблюдения проводились на вековых океанографических разрезах государственной сети наблюдений в Каспийском море (ВР ГСН III, IIIа и IV), а также и на стационарных пунктах наблюдений Республики Дагестан (Сулак, Махачкала, Избербаш).

Значимость минеральных соединений азота и фосфора для водных экосистем очевидна, они являются основой питания фитопланктона. Нормальное соотношение фосфора и азота в морской воде составляет 1:15 и примерно отражает стехиометрический состав фитопланктона. Нарушение данного соотношения может оказать значительное влияние на условия развития фитопланктона и, как следствие, на динамику свей экосистемы.

В Северном Каспии обнаруживается нарушение азотно-фосфорного баланса в пользу азотсодержащих соединений. В 2021 г. соотношение минеральных форм P и N составило 1:75,

а в 2022 г. – 1:50. Такое распределение биогенов может ограничивать продуцирование фитопланктоном органического вещества. Таким образом формируются условия для развития зеленых водорослей.

В Среднем Каспии в 2021 г. данное соотношение составило 1:17, а в 2022 г. – 1:10, что может свидетельствовать о высоком потреблении биогенов фитопланктоном и о благоприятных условиях для развития сине-зеленых водорослей.

Определение качества воды исследуемой акватории проводилось по гидрохимическим показателям с использованием комплексного индекса загрязненности вод (ИЗВ).

Расчет ИЗВ показал, что воды поверхностного и придонного горизонта Северного Каспия в исследуемых районах относятся ко II классу качества вод «чистые». По сравнению с периодом 2016–2020 гг. в 2022 г. уровень загрязненности снизился более чем в два раза.

Морская среда в поверхностном и придонном горизонтах Среднего Каспия различалась по уровню загрязненности. Акватория поверхностного горизонта в районе пунктов наблюдений Сулак, Махачкала, Избербаш относится к IV классу качества вод «загрязненные», а придонный слой характеризуется как «умеренно загрязненный» (III класс).

Сравнительный анализ комплексной характеристики загрязнения вод исследуемой акватории показал возрастание нагрузки на экосистему в южном направлении. Самыми загрязненными водами оказались воды экосистемы в северном районе Среднего Каспия, наиболее благоприятные условия окружающей среды по ИЗВ формируются в районе условной границы между Северным Каспием и Средним Каспием (ВР ГСН IV).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТОКА НА УСТЬЕВЫЕ ВЗМОРЬЯ И ДОЛИНЫ РЕК ЮГО-ЗАПАДНОГО КРЫМА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

И. А. Свищева

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *irasvishcheva@yandex.ru*

Ключевые слова: гидравлическая модель, устья рек, расход воды, затопление, распреснение, Севастопольский регион.

Путем численного моделирования исследовано влияние речного стока на береговую и прибрежную зоны в условиях климатических вариаций. В качестве объекта выбраны устьевые взморья и активно застраивающиеся долины малых рек Юго-Западного Крыма, подверженные негативному влиянию максимального стока. Цель работы – определение зон экологического риска, обусловленного распресняющим влиянием стока рек на устьевые взморья и затоплением пойменных территорий.

Проблема использования ресурсов устьев малых рек Крыма вызвана недостатком научного обоснования гидротехнических мероприятий, направленных на минимизацию ущерба от паводков. При выносе большого объема пресной воды в море нарушается вертикальный газообмен, что может приводить к дефициту кислорода и гибели гидробионтов. Прогнозные оценки опасных гидрометеорологических явлений в рассматриваемом регионе отсутствуют, что повышает актуальность применения математического моделирования для исследования и прогноза развития паводка и его влияния на устьевые области рек.

С использованием многолетних данных наблюдений сети Росгидромета (1990–2020 гг.) и МГИ РАН (2017–2024 гг.) выполнено моделирование речного стока при средних многолетних и экстремальных осадках, получены гидрологические характеристик в руслах рек (скорость течения, расход, уровень воды), построены карты зон затопления пойм рек Черной, Бельбек, Качи и Альмы.

Для оценки влияния речного стока на устьевые взморья рек Юго-Западного Крыма разработан и использован новый блок гидравлической модели. В основе алгоритма лежит идея сравнения солености плюма распресненной воды устьевого взморья с соленостью морской воды, расположенной за пределами зоны влияния речного стока. Построены карты зон распреснения устьевых взморьев изучаемых рек при средних многолетних и экстремальных осадках. Результаты моделирования согласуются с натурными данными.

В перспективе планируется использовать гидравлическую модель для прогноза паводков различной обеспеченности стока и их влияния на устьевые взморья и затапливаемые территории.

ГОДОВОЙ ХОД УРОВНЯ ТРОФНОСТИ ГОЛУБОГО ЗАЛИВА (ЧЕРНОЕ МОРЕ)

К. А. Слепчук, Т. В. Хмара ✉

МГИ, Севастополь, Россия
✉*xmara@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: индекс трофности, индекс E-TRIX, модель качества воды, Голубой залив.

Одним из неблагоприятных последствий антропогенного воздействия на экологическое состояние акватории является повышение уровня трофности ее вод. В работе воспроизводится годовой ход хлорофилла *a*, азота нитратов и нитритов, аммония, фосфора фосфатов, кислорода для вод Голубого залива с помощью модели качества вод. На основе этих биогеохимических показателей производится дальнейший расчет индекса эвтрофирования. По результатам модельных расчетов акватория обладает хорошим качеством морских вод со средним уровнем трофности. Лишь в холодный период (с января по март и в конце декабря) показатель ниже 4, что соответствует низкому уровню трофности. Максимальное значение индекса приходится на начало сентября (4,39), минимальное – на конец декабря (3,82). Наибольшая

корреляция индекса трофности наблюдается с хлорофиллом *a* (r = 0,84), минеральным азотом (r = 0,80) и общим фосфором (r = 0,78). Расчет относительного вклада компонентов, входящих в расчетную формулу индекса, показал, что основным фактором, определяющим уровень эвтрофикации вод Голубого залива, является концентрация минеральных форм азота. Данное исследование может стать важной поддержкой для деятельности по мониторингу, позволяя распространить индекс трофности на более крупные территории, где деятельность по отбору проб на месте трудно осуществить.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ по теме FNNN-2024-0016.

ВЛИЯНИЕ АПВЕЛЛИНГОВ, ВОЗНИКАЮЩИХ В ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА, НА ЕЕ КИСЛОРОДНЫЙ РЕЖИМ

Е. Е. Совга [1], **Т. В. Хмара** [1] ✉, **И. В. Мезенцева** [2]

[1] *МГИ, Севастополь, Россия*
[2] *СО ГОИН, Севастополь, Россия*
✉ *xmara@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: апвеллинг, кислородный режим, биогенные элементы. Голубой залив.

Район прибрежной зоны Южного берега Крыма характеризуется значительной динамической активностью, о чем свидетельствуют многочисленные случаи проявления апвеллингов на поверхности моря. Из литературных данных известно, что у ЮБК преобладают апвеллинги, возникающие при вдольбереговых ветрах с западной составляющей в векторе скорости – юго-западных, западных и северо-западных – в результате того, что средняя глубина шельфа в данном районе составляет более 50 м, что превышает толщину экмановского пограничного слоя.

На основе анализа многолетних данных из БОД МГИ за два периода 1986–2007 гг. и 2012–2021 гг. приведены характеристики апвеллингов в акватории Голубого залива, включая район расположения океанологической платформы в Кацивели, и Ялтинского залива, их продолжительность и влияние на изменение температурного и кислородного режимов и содержания биогенных элементов. Анализировались данные за май – август, сезон наиболее часто возникающих апвеллингов и легко регистрируемых из-за большой разницы температур поверхностного и глубинного слоев вод.

Для летнего периода 1986–2007 гг. продолжительность апвеллингов изменялась от 5 до 24 ч с перепадом температур ≥ 8 °С (июль 1986 г.) и увеличением содержания кислорода в поверхностном слое вод до 7,76 мл/л, при этом до апвеллинга эта величина на этом же горизонта составляла 5,39 мл/л.

Анализ современной базы данных с 2007–2021 гг. позволил выявить апвеллинги в акватории Голубого залива в мае 2012 г., мае 2013 г. и июне 2021 г. Показано, что в мае 2012 г. наблюдалось несколько апвеллингов с продолжительностью от 6 ч до суток и перепадом температур от 9 до 10 °С. Апвеллинг сопровождался увеличением содержания кислорода в поверхностном слое вод до 7,36 мл/л при его содержании до апвеллинга на уровне 5,86 мл/л. Можно отметить, что в мае 2013 г. по сравнению с маем 2012 г. наблюдался более слабый апвеллинг, перепад температур составлял меньше 8 °С, что отразилось и на содержании кислорода в поверхностном слое вод. В период апвеллинга его значение составило 6,9 мл/л (до апвеллинга 6,54 мл/л). Еще более слабый апвеллинг имел место в июне 2021 г., поскольку его продолжительность составила около 7 ч, а перепад температур изменялся от 6,5 °С на глубине 1 м до 5,5 °С на глубине 5 м, поэтому с большим сомнением это можно назвать апвеллингом, что отразилось на довольно равномерном распределении содержания кислорода на всех горизонтах.

С учетом важного значения апвеллингов для оценки экологического состояния прибрежных акваторий дальнейшее его изучение, особенно сезонной динамики с подробной

информацией о содержании кислорода и биогенных элементов, является особо актуальным.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ по теме FNNN-2024-0016.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ ДИАТОМОВЫХ И ДИНОФИТОВЫХ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ НА ПРИСУТСТВИЕ В СРЕДЕ ГЕРБИЦИДА ГЛИФОСАТА

Е. С. Соломонова ✉, Н. Ю. Шоман, А. И. Акимов

ИнБЮМ, Севастополь, Россия
✉ *solomonov83@mail.ru*

Ключевые слова: микроводоросли, загрязнение, гербицид глифосат, проточная цитометрия, бактерии, фотосинтетическая активность.

Загрязнение окружающей среды в настоящее время является серьезной проблемой всего мирового сообщества как побочный эффект урбанизации и индустриализации. А развитие сельскохозяйственной деятельности, которая сопровождается интенсивным использованием различных химических веществ, выдвигает данную проблему в ряд первостепенных задач в экотоксикологических исследованиях. Среди загрязняющих веществ, активно используемых в аграрной промышленности по масштабам применения выделяются гербициды, в частности занимающий первое место в мире по объемам производства глифосат. Проведено комплексное экспериментальное исследование влияния гербицида глифосата на морфологические, структурно-функциональные, цитометрические и флуоресцентные параметры микроводорослей. Показано, что водоросли разных систематических групп по-разному реагируют на действие глифосата. Глифосат ингибирует рост диатомовых водорослей, снижая выход конечной биомассы. Цитотоксическое действие глифосата проявляется в увеличении продукции реактивных форм кислорода, деполяризации митохондриальных мембран, дисбалансе ферментативной (эсте-

разной) активности клеток, снижении эффективности работы фотосинтетического аппарата клеток. Также наблюдается ряд других специфических реакций: увеличение сложности клеток водорослей, снижение автофлуоресценции хлорофилла и процента живых клеток. Противоположный эффект был обнаружен у динофитовых водорослей. Глифосат стимулировал рост динофлагеллят. Гормезисный рост потенциально токсичной динофитовой водоросли *P. cordatum* объяснялся способностью этого вида расти за счет глифосата как единственного источника фосфора. При этом у водоросли наблюдалось повышение эффективности фотосинтетического аппарата клеток и их ферментативной (эстеразной) активности. Причина гормезисного роста *P. micans* при концентрации глифосата 100 мкг·л$^{-1}$ до конца не ясна. Возможно, это связано с интенсивным ростом бактерий в культурах, что способствовало быстрой минерализации глифосата и увеличению биодоступности фосфора для микроводорослей. Гербицид в концентрациях 150 и 200 мкг·л$^{-1}$ оказывал цитотоксическое действие на *P. micans*.

Таким образом, видовая специфичность микроводорослей к воздействию глифосата в природных условиях потенциально опасна изменением видовой структуры биоценозов, в частности уменьшением численности диатомовых водорослей и увеличением вклада потенциально токсичных видов динофитовых водорослей.

КАРБОНАТНАЯ СИСТЕМА АЗОВСКОГО МОРЯ ВЕСНОЙ 2024 ГОДА

В. В. Сорокина ✉, В. В. Кулыгин, А. С. Михалко, Е. Г. Алешина

ЮНЦ РАН, Ростов-на-Дону, Россия, Россия
✉ *v.sorok@mail.ru*

Ключевые слова: карбонатная система, Азовское море.

Комплексные исследования восточной части Таганрогского залива проведены в период 12–17 апреля 2024 г. на

НИС «Профессор Панов», Азовского моря – 22–27 апреля 2024 г. на НИС «Денеб». Всего было выполнено 23 гидрохимических станции.

На основе гидрохимических наблюдений проанализировано состояние карбонатной системы вод Азовского моря. В качестве карбонатных параметров были измерены щелочность и pH. Расчет параметров карбонатной системы выполнен с использованием программы PyCO2SYS, двух алгоритмов, наиболее подходящих по условиям среды.

Для мелководного Азовского моря характерно неконсервативное поведение общей щелочности (Alk) и растворенного неорганического углерода (DIC). В апреле 2024 г. донская вода (дельта Дона) отличалась относительно более высокими значениями DIC (более 4 ммоль/кг), чем вода в Таганрогском заливе. В заливе в диапазоне солености 1–6 Е.П.С. концентрация DIC в среднем составила 3,4 ммоль/кг, измеренные величины pH отличались самыми высокими значениями в Азовском море, что свидетельствует о наличии фотосинтеза в поверхностном горизонте. В придонном горизонте преобладали процессы минерализации ОВ. В диапазоне солености 7–14 Е.П.С. значения DIC понижались (от 3,5 до 2,3 ммоль/кг). При дальнейшем увеличении солености в открытой части моря значения указанных параметров карбонатной системы незначительно увеличивались (до 2,6 ммоль/кг).

В Азовском море в силу его природных особенностей (относительной распресненности речными водами и мелководности) создаются благоприятные условия как для продукции, так и для деструкции органического вещества. Наиболее интенсивно продукционные процессы протекают в Таганрогском заливе в диапазоне солености 4–6 Е.П.С., о чем свидетельствуют повышенные значения pH. Наличие в Азовском море локальных областей с низким значением pH и высоким парциальным давлением углекислого газа в поверхностном слое вод можно объяснить локальным преобладанием процессов деструкции.

В целом Таганрогский залив, по сравнению с речными водами Дона и открытой частью моря, отличается относительно пониженными концентрациями CO_2 и парциального давления CO_2 (pCO_2). В апреле 2024 г. в донской воде концентрации CO_2 были

высокими, изменяясь в пределах 30–60 мкмоль/кг, pCO_2 – в пределах 600–1400 мкатм, в это время в Таганрогском заливе в поверхностном горизонте они не превышали 15 мкмоль/кг и 370 мкатм соответственно; в открытой части моря – были в пределах 11–22 мкмоль/кг и 230–480 мкатм. Минерализация органического вещества в придонном слое приводила к обогащению придонной воды углекислотой.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛИКАТОВ В МОРСКОЙ ВОДЕ ПОСЛЕ ЗАМОРОЗКИ

Д. В. Тарасевич ✉, **Д. С. Хоружий**

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *d.tarasevich@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: силикаты, кремний, заморозка, погрешность, метод добавок.

Кремний входит в число ключевых биогенных элементов водных экосистем. Главными его потребителями в морских сообществах являются диатомовые водоросли и радиолярии, в значительной степени определяющие величину первично-продукционного потенциала морских биоценозов. Роль кремния в функционировании биоты фотического слоя моря позволяет рассматривать этот элемент в качестве индикативного показателя при оценке экологического состояния того или иного участка акватории.

Интерес к изучению поступления и круговорота кремния в морских экосистемах обусловлен тесной связью экологического метаболизма этого элемента с глобальным циклом углерода, в частности с поглощением CO_2 из атмосферы диатомовыми водорослями.

Круговорот кремния в значительной степени зависит от интенсивности биогеохимических циклов других биогенных элементов. Эвтрофирование акваторий, сопровождающееся поступ-

лением соединений азота и фосфора, способствует росту численности фитопланктона, в том числе диатомовых водорослей, что приводит к дефициту растворимых силикатов в фотическом слое.

Главным поставщиком соединений кремния в водоемы является речной сток (до 80 % от суммарного поступления), а также эоловый перенос, выщелачивание донных отложений и разрушение скальных пород.

Определение концентрации растворенных соединений кремния осуществляется в рамках гидрохимических исследований, выполняемых как в акватории Севастопольской бухты, так и во время экспедиций в глубоководную часть Черного моря.

Во время экспедиционных исследований определение концентрации силикатов непосредственно на борту судна в ряде случаев не представляется возможным. Для последующего анализа в береговой лаборатории пробы воды фильтруют и замораживают. При обработке проб после их разморозки необходимо учитывать способность кремния образовывать полимерные формы, что может искажать результаты анализа.

Для определения влияния заморозки проб на поведение растворенных форм кремнекислоты была воспроизведена последовательность действий, осуществляемых при отборе проб в условиях рейса. Была отобрана проба воды у берега Артиллерийской бухты. Концентрацию растворенных силикатов определяли как в натуральной профильтрованной пробе, так и в модельных пробах, приготовленных на ее основе методом добавок. Для этого к морской воде добавляли известное количество растворенного кремния в виде раствора, приготовленного из стандартного образца.

Часть объема исходной пробы, а также проб с добавкой была заморожена в нальгеновых флаконах при −18.0 °С, как это происходит в условиях экспедиций. Замороженные пробы хранились в морозильном ларе в течение 20 дней. В целях обеспечения единства условий обработки разморозку проб осуществляли в термостате при температуре 20 °С: после полного оттаивания проб их экспонировали в тех же условиях в течение 12 ч.

Статистический анализ результатов, полученных в ходе анализа проб, проведенных через процедуру заморозки, показал, что

относительная ошибка определения концентраций кремния не превышает значений, предусмотренных нормативными документами. Таким образом, пробы морской воды для определения растворенных силикатов можно отбирать и замораживать на борту судна, а последующую обработку выполнять на берегу.

Работа выполнена в рамках темы госзадания ФГБУН ФИЦ МГИ № FNNN-2024-0001 «Фундаментальные исследования процессов, определяющих потоки вещества и энергии в морской среде и на ее границах, состояние и эволюцию физической и биогеохимической структуры морских систем в современных условиях».

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШКАЛЫ АНОРМАЛЬНОСТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЗООБЕНТОСА КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА

А. С. Терентьев

АзНИИРХ (Отдел Керченский), Керчь, Россия
✉ *iskander65@bk.ru*

Ключевые слова: Черное море, Азовское море, Керченский пролив, бентос, шкала аномальности.

Керченский пролив соединяет Азовское и Черное моря. На его берегу расположен такой крупный город, как Керчь, и это очень активная судоходная артерия. Изучение состояния зообентоса пролива имеет как научный, так и практический интерес.

В качестве способа оценки состояния зообентоса использована шкала аномальности, в которую входят такие важнейшие характеристики, как видовое богатство, численность и биомасса зообентоса.

Функция, описывающая состояние зообентоса, имеет вид: $\Ф = \frac{\frac{a-6{,}17}{4{,}56} + \frac{b-533{,}09}{1076{,}34} + \frac{m-301{,}02}{814{,}73}}{3}$, где Ф – показатель аномальности; a – плотность видов; b – численность зообентоса; m – его биомасса. Между значением Ф и плотностью видов наблюдается заметная

положительная связь ($r^2 = +0,62 \pm 0,04$). Высокая положительная связь наблюдалась между значением Ф и численностью зообентоса ($r^2 = +0,75 \pm 0,04$), а также между Ф и биомассой зообентоса ($r^2 = +0,77 \pm 0,03$).

В зависимости от значения Ф выделено пять классов уровня развития зообентоса:

- Очень высокий уровень развития наблюдается, когда значение Ф более 1,5. В этом случае плотность видов в среднем равняется $10,9 \pm 1,6$ вид / 0,1 м^2 и не опускается ниже 4 вид / 0,1 м^2. Средняя численность равняется 3680 ± 880 экз./м^2, средняя биомасса – 2660 ± 760 г/м^2.
- Высокий уровень. Значение Ф находится в диапазоне 0,3–1,5. Среднее значение плотности видов $11,68 \pm 0,47$ вид / 0,1 м^2, численность – 935 ± 90 экз./м^2, а биомасса – 451 ± 41 г/м^2.
- Средний уровень. Значение Ф изменяется от −0,3 до +0,3. Среднее значение плотности видов $6,81 \pm 0,21$ вид / 0,1 м^2, численность – 392 ± 30 экз./м^2, биомасса – 217 ± 21 г/м^2.
- Низкий уровень. Значение Ф колеблется от −0,6 до −0,3. Среднее значение плотности видов равняется $2,78 \pm 0,10$ вид / 0,1 м^2, численность – 147 ± 13 экз./м^2, биомасса – 57 ± 12 г/м^2.
- Очень низкий уровень. Значение Ф менее −0,6. Среднее значение плотности видов $0,65 \pm 0,07$ вид / 0,1 м^2, но не более 1 вид / 0,1 м^2. Средняя численность равняется $21,4 \pm 3,7$ экз./м^2, при средней биомассе – $5,5 \pm 1,9$ г/м^2. При Ф меньше −0,73 макрозообентос практически полностью отсутствует.

В 1986 г. наиболее высоким уровнем развития зообентоса отличалась северо-западная часть пролива. Высокий уровень развития наблюдался северо-восточнее косы Тузла, а также в центральной и южной части пролива.

В 1990 г. участок с наиболее высоким уровнем развития остался на прежнем месте. Значительно сократилась площадь, занимаемая зообентосом с высоким уровнем развития. Возле Керченского полуострова, а также на входе в Азовское море находились участки с очень низким уровнем развития.

В 1994 г. участок с наиболее высоким уровнем развития наблюдался в западной части залива. На значительной части акватории уровень развития зообентоса был низким.

В 1998 г. в целом уровень зообентоса был низким. От северной оконечности косы Тузла до Крымского побережья располагался участок с очень низким уровнем развития.

В 2010 г. на большей части акватории пролива уровень развития зообентоса был средним. Наиболее высокого уровня развития зообентос достигал на участке западнее оконечности косы Чушка. Низкий уровень развития наблюдался возле северной оконечности косы Тузла и на выходе в Азовское море.

В 2016 г. на большей части акватории пролива уровень развития зообентоса был высоким. Наиболее высокий уровень развития зообентоса наблюдался в южной и центральной части пролива.

ФОРМИРОВАНИЕ МАССИВОВ ГЛУБИН ДЛЯ РАСЧЕТА ДЕФОРМАЦИЙ РЕЛЬЕФА ДНА В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ ЛИМЕНСКОЙ БУХТЫ (КРЫМ, КАЦИВЕЛИ)

В. Ф. Удовик ✉, В. В. Никишин, А. В. Багаев

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *udovik_uvf@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: береговая зона, деформации рельефа дна, Лименская бухта, динамика наносов, массив глубин, EFT Boat-3, автопилот, цифровая модель рельефа.

Получение количественных оценок деформаций рельефа дна подводного берегового склона является одним из наиболее информативных методов изучения региональных и локальных особенностей динамики наносов береговой зоны в результате штормового воздействия. Решение данной задачи требует уделять особое внимание точности планово-высотной привязки исходных данных эхолотирования при формировании комплекта массивов глубин, используемых при построении сравниваемых профилей

дна на контрольных створах и цифровых моделей рельефа для различных моментов времени.

В работе рассматриваются методические аспекты использования стандартных и инновационных средств измерения и обработки исходных данных при формировании комплекта массивов глубин для получения достоверных количественных оценок деформаций рельефа дна на контрольном полигоне в береговой зоне Лименской бухты.

Контрольный полигон площадью около 3,75 Га (180 × 210 м) обустроен в 2022 г. и расположен в акватории, примыкающей к муниципальному пляжу в пгт Кацивели. Конфигурация пляжеудерживающих сооружений и состав наносов характерны для пляжной зоны курортов ЮБК.

Получение исходных данных о распределении глубин осуществляется с использованием беспилотного гидрографического комплекса EFT Boat-3 со встроенной функцией автопилота и эхолота Lowrance Elite FS 7, размещаемого на надувной лодке Инзер 2. Реализована возможность проведения промерных работ с лодки Инзер 2 в автоматическом режиме с судоводителем на борту. Для этого был разработан и внедрен электронно-механический блок автопилота, управляющего электромотором при движении по заданной схеме галсов.

При работе EFT Boat-3 осуществляется высокоточное планово-высотное обеспечение по данным GNSS-приемника EFT S1 в режиме RTK. При использовании Lowrance Elite FS 7 возможна только плановая привязка по данным GPS-модуля, встроенного в картплоттер эхолота. Для контроля возможного возникновения систематических ошибок определения места для отдельных съемок на берегу закреплены две реперные точки, координаты которых зафиксированы в WGS-84 с использованием GNSS-приемника геодезического класса.

Основной объем повторных промеров производится с использованием EFT Boat-3 в режиме автопилота. Полигон разбит на пересекающиеся участки, для которых составлены курсовые задания с расстоянием между галсами 5 м. Сравнение фактических траекторий движения EFT Boat-3 при повторном запуске одного и то же курсового задания показало, что максимальные отклонения между галсами не превышают 0,3 м. В приурезовой полосе

и на участках с навигационными опасностями основной массив данных дополняется короткими галсами в режиме дистанционного управления оператором.

Возможность фиксации мгновенной высоты ровера EFT S1 на водной поверхности позволяет осуществлять фильтрацию волновых движений для приведения данных эхолота к единому среднему уровню воды на период проведения измерений.

Вычисление поправки за уровень производится по данным стационарного мареографного поста ЧГПП МГИ, расположенного на расстоянии около 0,5 км к ЮЗ от полигона.

Искомые массивы глубин сформированы на регулярной сетке с использованием методов интерполяции.

Работы выполнены в рамках государственного задания по теме № FNNN-2024-0016.

ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ДОННЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ БУХТЫ КРУГЛОЙ (СЕВАСТОПОЛЬ)

Т. А. Филиппова ✉, А. В. Пархоменко, Е. Ф. Васечкина

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *filippovata@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: бухта Круглая, углеродный баланс, фотосинтез, цистозира, филлофора, зостера.

По состоянию морских фитоценозов можно оценивать качество воды, степень эвтрофикации и загрязненности водоемов. Морские растения играют важную роль в углеродном цикле, так как являются «поглотителями» углекислого газа из атмосферы, связывая его в процессе фотосинтеза. Проводить оценку фиксируемых фитоценозами потоков углерода и выделяемого кислорода позволяет математическое моделирование.

Целью данного исследования является оценка биологической продуктивности донных фитоценозов с применением численной

модели роста макроводорослей и морских трав на примере прибрежных морских районов бухты Круглой (Севастополь).

По опубликованным данным гидробиологической съемки было выделено три вида фитоценоза донной растительности бухты Круглой: цистозировый, филлофоровый, фитоценоз морских трав, представленный зостерой и руппией. Моделирование динамики роста макроводорослей и морских трав проводилось для периода один год, шаг моделирования составлял 3 ч. Управляющими параметрами модели выступали температура воды, освещенность на поверхности воды, концентрация нитратов, аммония и фосфатов в воде, концентрация аммония в донных осадках.

Согласно расчетам, в зимний период не происходит прирост биомассы растений. Математически это отражается в отрицательных скоростях фиксации потока углерода. В этот период растения всех фитоценозов тратят накопленный углерод на поддержание своей структуры. С повышением температуры и увеличением интенсивности ФАР растения достигают баланса между ассимилированным и выделяемым углеродом. Макроводоросли увеличивают удельные скорости роста в летний период, пик биомассы регистрируется в начале осени. Морские травы интенсифицируют рост в весенне-летний период, достигая пика биомассы в середине лета. Полученная с помощью математического моделирования сезонная динамика биомассы растений соответствует литературным данным.

Суммарный поток углерода приходящийся на 1 квадратный метр, занятый цистозировым фитоценозом, составил 3,3 кг/(м^2·год), филлофоровым – 0,3 кг/(м^2·год), на морские травы приходится 0,8 кг/(м^2·год). Объемы выделенного в процессе фотосинтеза кислорода составили: цистозировый фитоценоз – 5,2 кг/(м^2·год), филлофоровый – 0,7 кг/(м^2·год), травы – 1,4 кг/(м^2·год).

Карта распределения донных фитоценозов позволяет оценить площадь, занимаемую рассматриваемыми фитоценозами б. Круглой. Математическое моделирование позволяет рассчитать объемы углерода и кислорода с каждого квадратного метра, занятого фитоценозами. Сопоставляя эти величины,

можно оценить общую биологическую продуктивность донных фитоценозов в течение года.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания № FNNN-2024-0016.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙНОГО РАЗЛИВА НЕФТИ В ОРМУЗСКОМ ПРОЛИВЕ

В. Ю. Чанцев ✉, Г. Р. Шашини

РГГМУ, Санкт-Петербург, Российская Федерация
✉ *val@rshu.ru*

Ключевые слова: Разлив нефти, Ормузский пролив, моделирование, GNOME, ADIOS2.

Ормузский пролив является одним из наиболее важных, но узких мест для танкерной транспортировки нефти, что делает его крайне уязвимым местом для возможных аварий танкеров, которые могут угрожать прибрежным экосистемам, экономическим и туристическим инфраструктурам.

Представленное исследование направлено на то, чтобы показать оперативные возможности выявления прибрежных районов, которые могут пострадать от разлива нефти при различных гидрометеорологических и океанологических условиях, а также рассчитать последствия нефтяного загрязнения морских вод и береговой зоны в пределах судоходного маршрута в Ормузском проливе.

В качестве численного эксперимента было предположено, что в случае инцидента в море разливается 1000 метрических тонн нефти марки Arabian Light.

Рассматриваемый сценарий моделировался с использованием операционной среды моделирования распространения нефтяного разлива GNOME. Трансформация и деградация нефти моделировалась с использованием системы ADIOS2.

Выполненные расчеты показали, что в случае инцидента в заданном сценарием районе Ормузского пролива при характерных

для моделируемого периода времени гидрометеорологических и океанологических условий район к югу от порта Шахид Бахонар, где расположено множество туристических курортов и коралловых рифов, вероятно, будет наиболее уязвим к загрязнению в результате разливов нефти.

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ГИДРОХИМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ВОД ПРОЛИВА БЬЕРКЕЗУНД ВЫБОРГСКОГО ЗАЛИВА

Д. И. Шарипова ✉, В. М. Егорова, П. О. Адамовская, Н. С. Фролова, Т. Р. Еремина, Е. Н. Романова, К. В. Кравцова, С. А. Романюкина

Казанский федеральный университет, Казань, Россия
✉ *shr.diliara@gmail.com*

Ключевые слова: Балтийское море, Выборгский залив, Финский залив, пролив Бьёркезунд, гидрохимический режим, эвтрофикация.

Выборгский залив представляет собой уникальный природный комплекс. Здесь расположены места обитания балтийской нерпы, природный заказник на Березовых островах. Вместе с тем в заливе находятся фермы по разведению рыб (аквакультурные хозяйства), порт Высоцк, где перегружают уголь и зерно, на побережьях разместились яхт-клубы и туристические базы отдыха, т. е. потенциальные загрязнители водной среды. Загрязнение биогенными элементами (в основном соединениями азота и фосфора) вызывает особую озабоченность, поскольку Выборгский залив, так же как и восточная часть Финского залива, подвержен эвтрофированию. Однако изучению гидрохимического режима вод Выборгского залива уделяется недостаточное внимание, в частности исследованиям гидрохимических характеристик, таких как содержание биогенных соединений, избыточное количество которых является причиной эвтрофирования вод как Выборгского залива, так и Финского залива в целом.

Для восполнения пробела в изучении гидрохимических характеристик вод Выборского залива в рамках Всероссийской научной школы Плавучего университета, проводимой на базе Российского государственного гидрометеорологического университета в городе Приморск в июне 2024 г. был выполнен сбор и первичный анализ данных о содержании растворенного кислорода, концентрации неорганических форм фосфора и азота в проливе.

В результате проведенных исследований установлено, что высокие концентрации кислорода (~ 11–13 мг/л) более выражены на поверхности, в особенности за мысом Северного Березового острова. Ветреная погода и сильное волнение за мысом способствовали насыщению поверхностных слоев кислородом. Глубже на всех профилях наблюдается постепенное снижение концентрации O_2 с глубиной ($\Delta \approx 3$–6 мг/л), у г. Приморск на глубине 10 м наблюдаются минимумы кислорода (6 мг/л).

Средние концентрации фосфатов у поверхности в фотическом слое малы (~ 5–7 мкг/л). Фосфаты в этих слоях потребляются фитопланктоном, что приводит к уменьшению их концентраций. Есть выборочные максимумы (~ 21 мкг/л), в частотности у г. Приморска с его инфраструктурой и антропогенной нагрузкой. Содержание фосфатов в направлении г. Выборга увеличивается, что, возможно, связано с ростом антропогенной нагрузки на воды залива. Области повышенного содержания кислорода соответствуют областям с низкими концентрациями фосфатов, что обусловлено удержанием фосфатов в донных отложениях.

ПОДХОДЫ К ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ФИКОЭРИТРИНСОДЕРЖАЩИХ ЦИАНОБАКТЕРИЙ РОДА *SYNECHOCOCCUS*

Н. Ю. Шоман, Е. С. Соломонова, А. И. Акимов ✉

ФИЦ ИнБЮМ, г. Севастополь, Россия
✉ *n-zaichencko@yandex.ru*

Ключевые слова: цианобактерии, *Synechococcus*, фикоэритрин, проточная цитометрия, PAM-флуориметрия, биоиндикация.

Пикофитопланктон – это исключительно важная и разнообразная группа фотосинтезирующих микроорганизмов, включающая прокариотные цианобактерии и мелкие фотосинтезирующие эукариотные микроводоросли размером до 2 мкм. Пикофитопланктон вносит решающий вклад в первичную продукцию Мирового океана и играет ключевую роль в глобальных циклах углерода и биогенных элементов. В олиготрофных районах океана на долю фикоэритринсодержащих одноклеточных цианобактерий рода *Synechococcus* приходится до 30 % фотосинтетической фиксации углерода, а в северной части Тихого океана данная величина фиксируется на уровне 64 %. Создание системы оперативного контроля функционирования цианобактерий, в частности рода *Synechococcus*, основанной на совершенствовании существующих и развитии новых методов прямой детекции состояния клетки/сообщества, является важной и актуальной задачей. Выявление чувствительных индикаторов физиологического состояния пиководорослей позволит прогнозировать процессы формирования первичной продукции в море как при изменении абиотических условий роста, так и в условиях все возрастающего антропогенного воздействия на морские биоценозы.

В представленном исследовании разработан комплекс индикаторов для оценки физиологического состояния фикоэритринсодержащих цианобактерий рода *Synechococcus* на базе применения методов проточной цитометрии, переменной флуоресценции

и спектрального анализа. Показана высокая эффективность использования ключевых флуоресцентных параметров (квантовая эффективность фотосинтеза, относительная скорость электронного транспорта) и метода регистрации «быстрых» световых кривых флуоресценции для экспресс-оценки функционального состояния фотосинтетического аппарата цианобактерий. Установлены диапазоны изменчивости данных флуоресцентных параметров у *Synechococcus* sp. BS 9001 в зависимости от интенсивности действия стресс-фактора. Установлен ряд корреляционных зависимостей, позволяющих в текущем режиме без применения трудоемких методов анализа оценивать содержание и соотношение пигментов у цианобактерий по изменению флуоресцентных (проточная цитометрия) и оптических (спектры поглощения живых клеток) показателей их клеток. Предложены модифицированные протоколы оценки жизнеспособности клеток и уровня окислительного стресса цианобактерий с применением проточной цитометрии в комбинации с витальными красителями диацетатом флуоресцеина и 2–7-дихлорфлуоресцеиндиацетатом. Предложенный комплекс индикаторов и подходов позволяет проводить оперативный контроль физиологического состояния и изменения структурно-функциональных характеристик фикоэритринсодержащих цианобактерий как в лабораторных экспериментах, так и *in situ* в естественной среде.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда и г. Севастополя в рамках научного проекта № 24-24-20052, https://rscf.ru/en/project/24-24-20052/.

ПЕРЕЧЕНЬ ОРГАНИЗАЦИЙ

ААНИИ – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт», г. Санкт-Петербург.

АзНИИРХ – Азово-Черноморский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», г. Ростов-на-Дону.

АКИН – Акционерное общество «Акустический институт им. академика Н.Н. Андреева», г. Москва.

ВНИИГМИ-МЦД – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных», г. Обнинск.

ВНИИОкеангеология – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана имени академика И.С. Грамберга», г. Санкт-Петербург.

ВНИРО – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», г. Москва.

ГГО – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова», г. Санкт-Петербург.

ГОИН – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова», г. Москва.

ДальНИИВХ – Дальневосточный филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», г. Владивосток.

Дальрыбвтуз – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет», г. Владивосток.

ИАПУ ДВО РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Владивосток.

ИВМ РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт вычислительной математики Российской академии наук», г. Москва.

ИМЗ СО РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова Сибирского отделения Российской академии наук», г. Якутск.

ИнБЮМ – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь.

ИО РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук», г. Москва.

ИПМ РАН – Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук», г. Москва.

ИПТС – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт природно-технических систем», г. Севастополь.

ИФА РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук», г. Москва.

Казанский федеральный университет – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань.

КамчатНИРО – Камчатский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», г. Петропавловск-Камчатский.

КаспМНИЦ – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Каспийский морской научно-исследовательский центр», г. Астрахань.

КФУ – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», г. Симферополь.

Марлин-Юг – Общество с ограниченной ответственностью «Марлин-Юг», г. Севастополь.

МГИ – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН», г. Севастополь.

МГУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», г. Москва.

МГУТУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)», г. Москва.

МИРЭА – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет», г. Москва.

ММБИ – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Мурманский морской биологический институт Российской академии наук», г. Мурманск.

МФТИ – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», г. Долгопрудный, Россия.

НПО «Тайфун» – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-производственное объединение “Тайфун”», г. Санкт-Петербург.

РГГМУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург.

Российские космические системы – Акционерное общество «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем», г. Москва.

СГУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сочинский государственный университет», г. Сочи.

Севастопольский центр туризма, краеведения, спорта и экскурсий учащейся молодежи – Государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного образования города Севастополя «Севастопольский центр туризма, краеведения, спорта и экскурсий учащейся молодежи», г. Севастополь.

СевГУ – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь.

СКАНЭКС – Группа компаний «СКАНЭКС», г. Москва.

СПбГУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург.

ТюмГУ – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский государственный университет», г. Тюмень.

ТОИ ДВО РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук», г. Владивосток.

ЮНЦ РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук», г. Ростов-на-Дону.

Фонд «Нансен-центр» – Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена», г. Санкт-Петербург.

Филиал МГУ в г. Севастополе – Филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» в г. Севастополе, г. Севастополь.

Экосервис А – Общество с ограниченной ответственностью «Экосервис А», г. Москва.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Аверкиев А. С. 106
Адамовская П. О. 335
Акимов А. И. 323, 337
Алатарцева О. С. 117
Алескерова А. А. 41, 42, 225
Алешина Е. Г. 324
Алиев Г. М. 75, 105
Андрулионис Н. Ю. 38
Анищенко Т. С. 264
Антоненков Д. А. 226
Артамонов А. Ю. 196, 227
Артамонов Ю.В. 76, 108, 183
Артамонова К. В. 123
Архипкин В. С. 88, 164, 166
Атаджанова О. А. 125, 127, 262
Багаев А. В. 128, 267, 270, 300, 330
Багатинская В. В. 130, 131
Багатинский В. А. 130, 131
Базюра Е. А. 132
Байкова Т. В. 75
Барабанов В. С. 151, 222
Баскакова Т. Е. 235
Баталкина С. А. 44
Батраков Г. Ф. 272
Башарин Д. В. 134, 198
Башмачников И. Л. 199
Баянкина Т. М. 198
Безгин А. А. 39
Безгрешнов А. М. 285
Белов С. В. 140
Белова К. В. 140
Белоконь А. Ю. 128,135
Белокопытов В. Н. 79, 91, 157, 240
Берзова И. Г 229
Богуславский А. С. 110, 229, 230

Большиянов Д. Ю. 231
Бортин Н. Н. 233
Булыгин А. М. 44
Букатов А. А. 136
Бурдина Е. И. 235
Буфетова М. В. 237
Бухарев А. А. 138, 215
Валле А. А. 239
Вареник А. В. 295
Варенцов М. И. 196
Варкентин А. И. 262
Васечкина Е. Ф. 240, 298, 332
Василенко Н. В. 41, 42, 82, 102
Вахонеев В. В. 242
Вецало М. П. 158
Волкова Н. В. 244
Воронцов А. А. 44, 140
Гавриков А. В. 57
Гайко Л. А. 45
Гайский П. В. 47, 48, 312
Галковская Л. К. 158
Гармашов А. В. 49, 151
Герасюк В. С. 51
Гладышев С. В. 123
Глитко О. В. 98
Глухов В. А. 98
Глухов Л. А. 141
Глушаков Г. Д. 106
Годин Е. А. 158
Голенко М. Н. 189
Гордеева С. М. 145
Горчаков А. М. 233
Горячкин Ю. Н. 246
Гребнева Е. А. 248
Греков А. Н. 53
Греков Н. А. 53
Григоренко К. С. 36, 56
Григорьев А. В. 54

Григорьев М. Н. 249
Губарев А. В. 132
Гуров К. И. 250, 252, 272,
Гурова Ю. С. 252
Гусев А. В. 130
Давидович А. Р. 47, 48
Демешкин А. С. 255
Демидов Н. Э. 257
Демышев С. Г. 143
Даньшина А. В. 142
Дешова Д. В. 145
Дианский Н. А. 130, 131
Довгая С. В. 147
Долгова А. О. 305
Дорофеев В. Л. 149
Дулов В. А. 151
Дымова О. А. 141, 143, 152, 168
Евстигнеева Н. А. 152, 154
Ежова Е. А. 57
Еремина Т. Р. 335
Ерёмина Е. С. 259
Егорова В. М. 335
Ефимов В. В. 156, 224
Ефимова Н. Н. 232
Ефремов О. И. 113
Жамойда В. А. 253
Жугайло С. С. 305
Жук В. Р. 59
Жук Е. В. 157, 158
Журавлева А. А. 250, 272
Журбас В. М. 189
Завалишин Н. Н. 260
Захарчук Е. А. 213
Зацепин А. Г. 160, 162, 189
Зимин А. В. 61, 100, 125, 244, 262
Зубов А. Г. 61, 114
Иваненко Т. А. 313
Иванов Б. В. 285

Иванова В. В. 266
Ивахов В. М. 264
Ильин В. И. 164, 166
Ингеров А. В. 158
Исаев А. В. 169
Исаева Е. А. 158
Казаков Д. А. 65
Казаков С. И. 110, 229, 230
Кальпа В. А. 128, 267
Каменев О. Т. 151, 222
Карпелянский А. О. 167
Картамышева Т. Б. 235
Карташев А. О. 266
Касьяненко Т. Е. 158
Козлов И. Е. 47, 60, 61, 63, 73, 87, 127
Коник А. А. 87, 125, 127, 169, 262
Копышов И. О. 61, 63
Корж А. О. 189
Коржуев В. А. 61, 65, 114
Кориненко А. Е. 66
Коровушкин А. И. 49
Коротаев Г. К. 179
Корчёмкина Е. Н. 80
Коршенко А. Н. 237, 305
Коршенко Е. А. 305
Котельянец Е. А. 250
Кочергин В. С. 171
Кочергин С. В. 171
Кравцова К. В. 335
Краевская Н. Ю. 221
Красильников Д. С. 270
Кременчуцкий Д. А. 250, 272
Кренёва К. В. 273
Крыленко В. В. 275
Крыленко М. В. 275
Кубряков А. А. .. 41, 42, 59, 67, 96, 102, 103, 173, 174, 181, 225, 303
Кубрякова Е. А. 174

Кудинов О. Б. 69, 121

Кудрявцев В. Н. 192, 219, 222
Кузнецов А. С. 73
Кузьмин А. В. 73
Кузьмичёва Т. Ф. 74
Куликовский К. В. 75
Кулыгин В. В. 51, 324
Куранов Д. Ю. 182
Крыль М. В. 69
Лаврентьева А. И. 277
Лазоренко Д. И. 135, 147, 176
Латушкин А. А. 69, 76
Лемешко Е. Е. 78, 230
Лемешко Е. М. 185, 217
Леонов И. И. 277
Литвинюк Д. А. 281
Лихачева М. В. 75
Лишаев П. Н. 69, 174
Лубнин Д. С. 244
Лукашова О. А. 79
Лунёв Е. Г. 39
Лукьянова О. Н. 123
Лысенко В. И. 279
Ляшко Т. В. 281
Майборода С. А. 110
Макаров А. С. 231
Макаров К. Н. 283
Макарова И. Л. 283
Малиновский В. В. 66
Манилюк Ю. В. 128, 147, 176
Маньковская Е. В. 80, 81
Маркова Н. В. 141, 157
Марчук Е. А. 285
Марчукова О. В. 178
Марюшкин Ю. А. 49, 94
Масевич А. В. 240
Матишов Г. Г. 36

Маховиков А. Д. 100
Медведев Е. В. 264, 293, 295
Медведев И. П. 88, 166, 193
Медведева А. В. 41, 42, 82, 102, 103, 127
Медянкина М. В. 312
Мельников В. В. 240
Мельников Д. А. 140
Метик-Диюнова В. В. 84, 110
Мизюк А. И. 167, 173, 174, 179, 181, 195, 270
Миронюк С. Г. 287
Михайличенко С. Ю. 182
Михайличенко Т. В. 103
Михалко А. С. 324
Мищенкова А. С. 291
Мороз А. А. 106
Морозов А. Н. 81
Морозов Е. Г. 130, 131
Морозова М. И. 54
Мукосеев И. Н. 293
Мурзакова Ю. В. 160, 162
Муханов В. С. 281
Мыслина М. А. 295
Наривончик С. В. 296
Науменко И. П. 298
Нефедова Г. И. 44
Никишин В. В. 300, 330
Никольский Н. В. 183, 218
Новиков Б. А. 86
Новицкий А. В. 302
Новицкая В. П. 185
Орехова Н. А. 252
Орлов А. Н. 67
Островский А. Г. 104
Павленко Е. А. 136
Павленко О. И. 114
Павлов М. И. 61, 65, 114
Павлушин А. А. 186, 188
Павлушин В. А. 303

Пака В. Т. 189
Панасенкова И. И. 305
Папкова А. С. 115, 190
Парамонова Н. Н. 264
Пархоменко А. В. 332
Паутова Е. М. 106
Петренко Л. А. 87
Пиваев П. Д. 192
Пилик Д. И. 88, 193
Планкина М. Б. 75
Пластун Т. В. 158
Плотников Е. В. 127
Погожева М. П. 305, 307
Погребной А. Е. 90, 91
Подобедова А. В. 51
Подымов О. И. 38, 160, 162
Полозок А. А. 92
Полонский А. Б. 132
Посошков В. Л. 198
Пузина О. С. 179, 195
Разувай Т. А. 201
Ракитин Т. Д. 309
Ратнер Ю. Б. 216
Репина И. А. 196, 285
Романенков Д. А. 262
Романова Е. Н. 335
Романюкина С. А. 335
Рубакина В. А. 94, 96
Рубан О. А. 105
Руднева И. И. 311, 312
Рябоконь Д. А. 69
Рябченко В. А. 169
Рябцев Ю. Н. 217
Садыкова Г. Э. 313
Санин А. Ю. 315
Саушкина Д. Я. 262
Свергун Е. И. 98, 100, 262
Светашева Д. Р. 317

Свищева И. А. 319
Сизов А. А. 198
Силеверстова О. С. 199
Сильвестрова К. П. 160, 162
Симонова Ю. В. 94
Скрипалева Е. А. 76, 108, 183
Слепчук К. А. 320
Слепышев А. А. 201
Слинченков В. И. 266
Смоляницкий В. М. 39
Совга Е. Е. 259, 321
Соловей Н. М. 136
Соловьев В. А. 38
Соколихина Н. Н. 277
Соломонова Е. С. 323, 337
Сорокина В. В. 324
Софьина Е. В. 262
Спирина В. А. 307
Станичная Р. Р. 103
Станичный С. В. 41, 42, 67, 82, 96, 102, 103, 225
Степанов Д. В. 104
Стерлядкин В. В. 105
Суслин В. В. 117
Сухих Л. И. 149
Сухонос П. А. 203
Сушкевич Т. А. 205
Стельмах Л. В. 117
Татаренко Ю. А. 106
Тарасевич Д. В. 295, 326
Тепнин О. Б. 262
Терентьев А. С. 328
Тихонова Н. А. 213
Толокнов Ю. Н. 49
Тонг Т. Т. 178
Травкин В. С. 213
Трушков А. В. 235
Угрюмов Ю. В. 257
Удовик В. Ф. 246, 330

Федирко А. В. 76, 108
Филиппова Т. А. 332
Фокина К. В. 215
Фомин В. В. 135, 147, 151, 176, 217
Фомина И. Н. 92
Фролова Н. С. 335
Хамицевич Н. В. 84, 110, 229
Ханайченко А. Н. 270
Хмара Т. В. 259, 320, 321
Холод А. Л. 179, 216
Хоружий Д. С. 326
Цуканова Е. С. 193
Цыганова М. В. 217
Чанцев В. Ю. 334
Чечин Д. Г. 196
Чепыженко А. А. 112
Чернышова Е. Д. 218
Чешм Сиахи В. 219
Чунчузов И. П. 285
Чухарев А. М. 65, 114
Шайда В. Г. 311, 312
Шайда О. В. 47, 48, 311, 312
Шарипова Д. И. 335
Шашини Г. Р. 334
Шевцова Е. А. 235
Шевчук О. И. 106
Шибанов Е. Б. 115
Шик Н. В. 279
Шокуров М. В. 151, 221, 222
Шокурова И. Г. 134, 218
Шоларь С. А. 117
Шоман Н. Ю. 323
Шоман Ю. С. 337
Шукало Д. М. 119
Шульга Т. Я. 119
Юровская М. В. 151, 219, 222
Юровский Ю. Ю. 121, 128, 151, 222
Яровая Д. А. 156, 224

Научное издание

МОРЯ РОССИИ: СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ

Тезисы докладов

VIII Всероссийской научной конференции

(Севастополь, 23–27 сентября 2024 г.)

Перевод *Н. А. Конопляниковой*

Дизайн обложки *П. В. Поликарпова*

Верстка *Н. Б. Мороз*

Подписано в печать 26.08.2024. Формат 60×84 1/6. Тираж 160 экз.
Заказ 16.

Отпечатано в типографии СРОО «Дом солнца»
299020, Севастополь, ул. Хрусталева, 143, тел. +(8692) 65-60-11.