

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК



ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ
ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
МОРЯ РОССИИ:
ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ
ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



Российская Академия Наук



СЕВАСТОПОЛЬСКОЕ ГОРОДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ



г. Севастополь
25–29 сентября 2023 года

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ
ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**МОРЯ РОССИИ:
ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ
ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

(Севастополь, 25–29 сентября 2023 года)

Севастополь

2023

**MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION
OF THE RUSSIAN FEDERATION**

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

**MARINE HYDROPHYSICAL INSTITUTE
OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES**

**ALL-RUSSIAN
SCIENTIFIC CONFERENCE**

**THE SEAS OF RUSSIA:
FROM THEORY TO PRACTICE
OF OCEANOLOGICAL
RESEARCH**

(Sevastopol, 25–29 September 2023)

PROCEEDINGS

Sevastopol

2023

УДК 551.46:061.3

М79

Моря России: от теории к практике океанологических исследований = Seas of Russia: From theory to practice of oceanological research : тезисы докладов Всероссийской научной конференции, Севастополь, 25–29 сентября 2023 г. – Севастополь : ФГБУН ФИЦ МГИ, 2023. – 336 с. ; 21 см. – 50 экз. – ISBN 978-5-6043409-6-7. – Текст : непосредственный.
ISBN 978-5-6043409-6-7

В сборнике представлены тезисы докладов Всероссийской научной конференции «Моря России: от теории к практике океанологических исследований». Тематика докладов охватывала следующие вопросы: экспериментальные и теоретические исследования гидродинамических, термохалинных и биогеохимических процессов; современные технологии и методы расчетов основных океанологических параметров в морях и океанах; исследование влияния изменений климата и антропогенного воздействия на состояние морской среды; современные перспективные методы и средства контактных и дистанционных наблюдений; математическое моделирование океанологических процессов; информационно-ресурсное обеспечение океанологических исследований и морехозяйственной деятельности; методы и средства защиты морской среды и обеспечения рационального природопользования; проблемы береговой зоны моря.

УДК 551.46:061.3

Редколлегия: чл.-корр. РАН, д. г. н. *С. К. Коновалов*, д. ф.-м. н. *А. И. Кубряков*, д. г. н. *Е. Ф. Васечкина*, д. г. н. *Ю. Н. Горячкин*, 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. г. н. *А. А. Латушкин*, к. ф.-м. н. *Н. В. Маркова*, 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 978-5-6043409-6-7

© Коллектив авторов, 2023

© ФГБУН ФИЦ МГИ, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

<i>Иванов В. В., Гусев А. В., Дианский Н. А.</i> О возможности быстрых изменений океанской циркуляции в атлантическом сегменте системы глобального циркуляционного конвейера: модельный эксперимент.....	36
<i>Кортаев Г. К., Мизюк А. И., Холод А. Л., Ратнер Ю. Б., Иванчик А. М., Жук Е. В.</i> Развитие системы оперативных морских прогнозов в ФГБУН ФИЦ МГИ	39
<i>Кубряков А. А., Алескерова А. А., Лишаев П. Н., Медведева А. В., Пузина О. С., Мизюк А. И., Станичный С. В.</i> Применение спутниковых методов и дронов для исследования субмезомасштабной динамики вод Черного моря	41
<i>Матишов Г. Г., Григоренко К. С.</i> Пресный сток Дона в условиях антропогенного воздействия и маловодья.....	43
<i>Репина И. А., Чечин Д. Г.</i> Баланс парниковых газов в дельте Лены.....	45
<i>Филатов Н. Н., Баклагин В. Н., Исаев А. В., Кондратьев С. А., Савчук О. П.</i> О разработке информационно аналитической системы «водоем – водосбор» для поддержки принятия управленческих решений	46

СЕКЦИЯ 1
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ
И АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
МОРСКИХ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

<i>Антоненков Д. А.</i> Методы и средства экспедиционных исследований морских устьев малых рек	49
<i>Артамонов А. Ю.</i> Измерения концентраций парниковых газов в акватории Финского залива и Балтийского моря	50
<i>Артамонова К. В., Коломейцев В. В., Горин С. Л., Коваль М. В.</i> Первые сведения о гидрологическом режиме залива Корфа (Берингово море) летом 2022 и 2023 годов	52
<i>Атаджанова О. А., Козлов И. Е., Коник А. А.</i> Динамика вихревых структур к юго-востоку от архипелага Шпицберген и вблизи острова Надежды по спутниковым данным с января по декабрь 2018 года	54
<i>Бабич М. С., Крашенинникова С. Б., Бабич С. А., Артамонова К. В., Демидов А. Н., Гиппиус Ф. Н.</i> Гидрологическая и гидрохимическая структура и динамика поверхностных вод Тропической Атлантики	56
<i>Гайко Л. А.</i> Изменчивость температуры воды вдоль побережья Приморского края в 2021–2022 годах в аспекте климатических норм	57
<i>Гайский П. В., Шайда О. В., Давидович А. Р.</i> Разработка экспериментального измерителя гидростатического давления на базе датчика XIAN	59
<i>Гайский П. В., Шайда О. В., Давидович А. Р.</i> Результаты испытаний мобильного погружного комплекса биомониторинга на океанографической платформе	60
<i>Гармашов А. В., Марюшкин Ю. А., Толокнов Ю. Н., Коровушкин А. И.</i> Штормовое волнение в районе Южного берега Крыма по измерениям на стационарной океанографической платформе	61
<i>Греков А. Н., Греков Н. А., Сычев Е. Н.</i> Метрологическая оценка точности методов и средств измерения для косвенного определения солености морской воды <i>in situ</i>	63

<i>Дешова Д. В., Гордеева С. М.</i> Водный, тепловой и солевой баланс Печорского моря	64
<i>Долгушев Т. В.</i> Влияние климатических изменений уровня режима акватории порта на параметры волнения в мелководной зоне	65
<i>Жук Е. В., Маркова Н. В.</i> Сезонная изменчивость скорости в разных слоях Черного моря на основе данных ARGO.....	67
<i>Зацепин А. Г., Елкин Д. Н.</i> Влияние подводного хребта на перемещение антициклонических вихрей над наклонным дном под действием топографического бета-эффекта (лабораторный эксперимент).....	68
<i>Зацепин А. Г., Елкин Д. Н.</i> Эволюция нефронтальных вихрей в двуслойной вращающейся жидкости над гладким, шероховатым и наклонным дном (лабораторный эксперимент).....	70
<i>Зацепин А. Г., Подымов О. И.</i> Апвеллинги и даунвеллинги, обусловленные мезомасштабной динамикой вод в шельфово-склоновой зоне северо-восточной части Черного моря	72
<i>Зимин А. В., Коник А. А.</i> Малые вихревые структуры в Карском море по данным Sentinel-1A/B за август 2015–2021 годов	74
<i>Капустина М. В., Зимин А. В.</i> Многолетняя изменчивость характеристик апвеллинга в юго-восточной части Балтийского моря	75
<i>Козлов И. Е., Копышов И. О., Фрей Д. И., Морозов Е. Г., Медведев И. П., Сильвестрова К. П., Соловьев Д. М., Плотников Е. В., Жук В. Р., Гайский П. В., Осадчиев А. А., Степанова Н. Б.</i> Структура и динамика короткопериодных внутренних волн в проливе Карские Ворота по данным мультисенсорных измерений.....	77
<i>Коник А. А., Зимин А. В., Атаджанова О. А., Круглова К. А.</i> Изменчивость характеристик субмезомасштабных вихрей Берингова моря и Курило-Камчатского региона с июня по сентябрь 2020–2021 годов.....	79
<i>Копышов И. О., Козлов И. Е.</i> Пространственные характеристики поля пакетов короткопериодных внутренних	

волн в летне-осенний период 2021 года в Карском море по РЛИ.....	80
<i>Кориненко А. Е., Малиновский В. В.</i> Натурные исследования геометрических размеров обрушений гравитационных волн.....	81
<i>Корчёмкина Е. Н., Сысоев А. А., Ли Р. И., Сысоева И. В.</i> Концентрация хлорофилла <i>a</i> в водах Черного моря по данным натурных и спутниковых измерений	83
<i>Кузнецов А. С.</i> Особенности мезомасштабной циркуляции прибрежных вод при сезонной изменчивости ветровых условий у Южного берега Крыма	85
<i>Латушкин А. А., Салюк П. А., Пономарев В. И.</i> Гидрооптические исследования на шельфе северо-западной части моря Уэдделла.....	87
<i>Лис Н. А., Тимохов Л. А.</i> Прогноз ледовитости морей Северо-Европейского бассейна	89
<i>Марчук Е. А., Иванов Б. В., Безгрешнов А. М., Ивлев М. О.</i> Анализ теплобалансовых и ледовых наблюдений в сезон 68-й Российской антарктической экспедиции	91
<i>Марчук Е. А., Репина И. А., Козлов И. Е., Сильвестрова К. П., Осадчиев А. А., Степанова Н. Б.</i> Анализ температуры поверхности Карского моря на основе спутниковых данных и данных экспедиции «Плавучий университет-2021»	93
<i>Метик-Дионова В. В., Хамицевич Н. В., Майборода С. А.</i> Характеристики морского волнения и штормовых нагонов у мыса Кикинеиз.....	95
<i>Морозов А. Н., Маньковская Е. В.</i> Особенности пространственного распределения гидрофизических параметров вод Черного моря в различные сезоны 2021 года.....	97
<i>Новиков Б. А., Кубряков А. А., Козлов И. Е.</i> Динамическая структура плюма Бельбека после обильных осадков по данным БПЛА.....	98
<i>Планкина М. Б., Куликовский К. В.</i> Особенности обработки сигналов лазерных волнографов	100
<i>Рудых Н. И.</i> Межгодовые колебания солености воды в проливах Японского моря	101

<i>Свергун Е. И., Зимин А. В., Лунёв Е. Г., Толстошеев А. П., Безгин А. А.</i> Метод оценки характеристик короткопериодных внутренних волн по данным массива дрейфующих буев	102
<i>Селезень Я. Ю.</i> Распределение подрайонов поиска между поисково-спасательными средствами	103
<i>Стерлядкин В. В., Куликовский К. В., Планкина М. Б.</i> Натурные измерения спектра капиллярных волн и его связи со скоростью ветра.....	105
<i>Турко Н. А., Лобашев А. А., Ушаков К. В., Кауркин М. Н., Кальницкий Л. Ю., Ибраев Р. А.</i> Влияние расположения измерителей на точность оперативного прогноза состояния Мирового океана	106
<i>Федирко А. В., Артамонов Ю. В., Скрипалева Е. А.</i> Внутригодовая изменчивость термохалинной структуры вод в северной части Черного моря в 2022 году по данным измерений на НИС «Профессор Водяницкий».....	108
<i>Чепыженко А. А., Чепыженко А. И.</i> Результаты инструментального измерения обратного рассеяния в районе Черноморского подспутникового полигона. Установление взаимосвязей с дисперсным составом и концентрацией взвешенного вещества	110
<i>Чечин Д. Г., Репина И. А., Артамонов А. Ю., Марчук Е. А.</i> Использование миниатюрной инерциальной навигационной системы для учета влияния качки судна на измерения скорости ветра и турбулентные потоки тепла и импульса	112
<i>Чухарев А. М., Ефремов О. И., Павленко О. И., Зубов А. Г., Павлов М. И., Коржуев В. А.</i> Роль крупномасштабных структур в турбулентном взаимодействии моря и атмосферы.....	113
<i>Шукало Д. М., Шульга Т. Я.</i> База данных «Термохалинный электронный атлас Азовского моря».....	115

СЕКЦИЯ 2
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПРОЦЕССОВ В МОРСКИХ СИСТЕМАХ,
МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ МОДЕЛИ

<i>Анкудинов Н. О., Слепышев А. А.</i> Влияние геострофических течений на генерацию тонкой структуры внутренними волнами	117
<i>Антипов Н. Н., Кашин С. В., Молчанов М. С.</i> Влияние глобальных климатических изменений на процессы, формирующие структуру вод на шельфе и материковом склоне в заливе Прюдс (Восточная Антарктида).....	118
<i>Баширин Д. В., Шокурова И. Г.</i> Атмосферные условия при возникновении устойчивых ветров над Черным морем в теплый период года.....	120
<i>Белоконь А. Ю., Лазоренко Д. И., Фомин В. В.</i> Особенности распространения длинных волн в разветвленных бухтах	122
<i>Бирюкбаев Э. К., Макаров К. Н.</i> Численное моделирование прохождения волн через сквозные сооружения.....	123
<i>Булатов В. В., Владимиров И. Ю., Ильичева М. А.</i> Дальние поля волновых возмущений на поверхности раздела глубокого океана и ледяного покрова	125
<i>Бусев В. В., Чанцев В. Ю., Клячкин С. В.</i> Аппроксимация распределения толщины льда в Восточно-Сибирском море.....	127
<i>Василенко Н. В., Кубряков А. А., Станичный С. В., Медведева А. В.</i> Проявление плюма Кубани по спутниковым данным	128
<i>Вержевская Л. В., Багаев А. В., Лазоренко Д. И., Удовик В. Ф., Долотов В. В.</i> Массив данных о переформировании рельефа дна бухты Круглой для задач численного моделирования.....	129
<i>Власова Г. А., Ле Динь Мау, Нгуен Тхай Зунг, Марченко С. С.</i> Особенности распределения тайфунов над Юго-Восточной Азией и их влияние на Дальневосточный регион	131

<i>Головин П. Н., Молчанов М. С.</i> Моделирование структуры и динамики шельфовых вод при интенсивном ледообразовании в полыньях различного типа	133
<i>Григоренко К. С., Фролова А. Д.</i> Проявление сейшевых течений в разных районах Азовского моря	135
<i>Григорьев А. В., Кубряков А. И.</i> Результаты анализа внутригодовой изменчивости подповерхностных течений в регионе Новороссийск – Геленджик на основе численного моделирования	136
<i>Демышев С. Г., Дымова О. А., Маркова Н. В.</i> Оценка энергетики климатической циркуляции Черного и Мраморного морей	138
<i>Дорофеев В. Л., Сухих Л. И.</i> Оценка влияния параметризации вертикального турбулентного обмена на результаты моделирования динамики биомассы фитопланктона в Черном море	139
<i>Дорофеев В. Л., Сухих Л. И.</i> Ретроспективный анализ долговременной изменчивости гидрологических полей Черного моря	141
<i>Дулов В. А., Скиба Е. В., Кубряков А. А.</i> Эволюция доли морской поверхности, покрытой пеной, при разгоне волн от берега	142
<i>Евстигнеева Н. А., Демышев С. Г., Дымова О. А.</i> Анализ динамики и энергетики вод в прибрежной зоне Черного моря на основе численной модели и данных наблюдений в летний сезон 2017 года	144
<i>Евстигнеева Н. А., Дымова О. А.</i> Особенности поля течений в прибрежной зоне Крыма летом 2016 года по результатам моделирования с высоким пространственным разрешением	146
<i>Ефимов В. В., Яровая Д. А.</i> Численное моделирование апвеллинга в области Южного берега Крыма	148
<i>Завьялов Д. Д., Соломаха Т. А.</i> Влияние дискретизации региональной термодинамической модели на воспроизведение эволюции толщины льда	149
<i>Ильин В. И., Архипкин В. С.</i> Особенности приливных явлений в Курильских проливах по данным моделирования	151

<i>Казаков Д. А., Самодуров А. С.</i> Параметризация вертикального турбулентного обмена в стратифицированных слоях Черного моря вблизи наклонного дна	153
<i>Коржуев В. А.</i> Параметризация влияния основных физических механизмов генерации турбулентности и разномасштабных динамических структур на турбулентный обмен в верхнем квазиоднородном слое.....	154
<i>Коробченкова К. Д., Александров С. А.</i> Пространственное распределение концентрации хлорофилла <i>a</i> и температуры поверхности моря в Вислинском и Куршском заливах Балтийского моря по данным дистанционного зондирования	155
<i>Кочергин В. С., Кочергин С. В.</i> Вариационная идентификация начального поля концентрации хлорофилла <i>a</i> в модели переноса по данным дистанционного зондирования	157
<i>Кубряков А. А., Кубряков А. И.</i> Влияние горизонтальной адвекции на эволюцию вихрей в неоднородном океане ...	158
<i>Кузьмин А. В., Козлов И. Е.</i> Пространственно-временная изменчивость характеристик короткопериодных внутренних волн в море Лаптевых по данным спутниковых радиолокационных наблюдений в 2018–2020 годах.....	160
<i>Кузьмичёва Т. Ф.</i> Заполнение восточной части бывшего Аральского моря водами Северного Арала по результатам анализа снимков, полученных со спутников Aqua/Terra (2000–2022).....	161
<i>Лемешко Е. Е.</i> Изменчивость уровня и течений Северного Ледовитого океана на основе спутниковых данных ...	163
<i>Макаров К. Н., Катлине Коблев А. Х.</i> Эффекты отражения волн от препятствий в прибрежной зоне моря	164
<i>Медведева А. В., Василенко Н. В., Станичный С. В.</i> Особенности изменчивости температуры Мраморного моря по спутниковым данным.....	166
<i>Миклашевская Н. А., Дымова О. А.</i> Оценка точности термохалинных характеристик Черного моря, восстановленных с учетом данных атмосферных форсингов SKIRON и ERA5	168

<i>Михайличенко С. Ю., Куранов Д. Ю.</i> Исследование взаимодействия поверхностного волнения с берегозащитными сооружениями в районе пересыпи озера Сакского ...	170
<i>Мороз В. В., Шатилина Т. А.</i> Формирование аномальных термических режимов вод в северной части Японского моря (Татарский пролив) под воздействием атмосферных процессов.....	171
<i>Никольский Н. В., Артамонов Ю. В., Скрипалева Е. А.</i> Климатическая сезонная изменчивость термохалинных полей и концентрации морских льдов в районе котловины Пауэлл.....	173
<i>Новицкая В. П., Лемешко Е. М.</i> Оценка стерической компоненты уровня Черного моря по спутниковым данным	175
<i>Павлушин А. А.</i> Особенности переходов механической энергии между динамическими процессами различного масштаба в восточной и западной частях Черного моря...	176
<i>Павлушин В. А., Кубряков А. А.</i> Изменчивость Бенгельского апвеллинга по спутниковым измерениям солености	178
<i>Петренко Л. А., Козлов И. Е.</i> Волнообразные деформации ледовой кромки в проливе Фрама по спутниковым данным.....	180
<i>Пиваев П. Д., Кудрявцев В. Н.</i> Верхний квазиоднородный слой океана в ураганах по спутниковым данным.....	181
<i>Погребной А. Е.</i> Характеристики уединенных внутренних волн в Арктике по спутниковым данным	183
<i>Полозок А. А., Фомина И. Н.</i> Характеристика условий возникновения штормовых ситуаций в районе морской станции Темрюк	185
<i>Пузина О. С., Павлушин А. А.</i> Компоненты энергетического баланса для различных районов Черного моря.....	186
<i>Пятов И. М.</i> Использование спутниковых снимков для определения типов берегов Ладожского озера.....	188
<i>Ратнер Ю. Б., Холод А. Л.</i> Статистические характеристики высот значительных волн в Севастопольском регионе, рассчитанных по модели SWAN.....	189

<i>Рубакина В. А., Кубряков А. А., Станичный С. В.</i> Инерционные колебания в Черном море на основе результатов расчета с использованием модели NEMO	191
<i>Рубакина В. А., Симонова Ю. В., Станичный С. В.</i> Исследование межгодовой изменчивости температуры поверхности моря в районе Южного берега Крыма с использованием данных сканера SEVIRI	193
<i>Садовский И. Н.</i> Проблемы использования спектрального описания ветрового волнения в задачах оценки уходящего излучения системы океан – атмосфера	195
<i>Сапрыкина Я. В., Кузнецов С. Ю., Айдоган Б., Аят Айдоган Б., Штремель М. Н.</i> О связи возвышений свободной поверхности и орбитальных скоростей в нелинейных волнах	197
<i>Сизов А. А., Баянкина Т. М., Посошков В. Л., Юровский А. В.</i> Роль циркумполярного вихря в изменчивости барического поля, влияющего на структуру гидрометеорологических полей в субрегионах Атлантико-Европейского сектора, включая Черное, Баренцево и Норвежское моря	199
<i>Слепчук К. А., Хмара Т. В.</i> Численное моделирование зимнего пика цветения фитопланктона в Севастопольской бухте	201
<i>Слепышев А. А., Шадт М. А., Разувай Т. А.</i> Влияние приближения f-плоскости на вертикальный перенос импульса внутренними волнами	202
<i>Соколов А. А., Иванов В. В.</i> Переносы воды, тепла и соли через Северо Европейский бассейн по данным океанских реанализов	203
<i>Соколов А. А., Иванов В. В.</i> Тепломассообмен на границах Арктического бассейна	205
<i>Сухонос П. А.</i> Способность региональных климатических моделей из проекта CORDEX воспроизводить суммы зимних и летних осадков над Черным морем	207
<i>Глявлин А. Р.</i> Математическое моделирование для решения задач гидротехники и гидродинамики	209

<i>Фокина К. В., Булгаков К. Ю., Чаликов Д. В.</i> Представление результатов спектрального моделирования ветровых волн с помощью фазо-разрешающей модели	210
<i>Цыганова М. В., Лемешко Е. М., Рябцев Ю. Н.</i> Особенности взаимодействия речного плюма и апвеллинга на северо-западном шельфе Черного моря	211
<i>Чернышова Е. Д., Никольский Н. В., Шокурова И. Г.</i> Сезонная изменчивость термохалинных фронтов в Северной Атлантике	212
<i>Чернявская Е. А.</i> Взаимосвязь термохалинных характеристик перемешанного, подповерхностного и атлантического слоев Северного Ледовитого океана	214
<i>Чешиш Сиахи В., Кудрявцев В. Н., Юровская М. В.</i> Эволюция зыби, излучаемой из внетропического циклона.....	216
<i>Шокуров М. В., Краевская Н. Ю.</i> Теория подобия для дневной бризовой циркуляции на экваторе	217
<i>Шокурова И. Г., Пластун Т. В., Касьяненко Т. Е., Станичная Р. Р., Крашенинникова С. Б., Симонова Ю. В.</i> Сезонная и межгодовая изменчивость повторяемости и скорости благоприятных для апвеллинга ветров у южного побережья Крыма	219
<i>Юровская М. В., Кудрявцев В. Н., Заболотских Е. В.</i> Интерпретация измерений спутниковой радиометрии при сильных ветрах	221
<i>Юровский Ю. Ю., Кудрявцев В. Н., Юровская М. В., Пиваев П. Д.</i> Доплеровские образы тропических циклонов ..	222
<i>Яровая Д. А., Ефимов В. В.</i> Численное моделирование взаимодействия в системе атмосфера – море для Новороссийской боры.....	224

СЕКЦИЯ 3
ВОПРОСЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ОСВОЕНИЯ
И РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
РЕСУРСОВ МОРСКОЙ СРЕДЫ

<i>Андрулионис Н. Ю., Завьялов И. Б., Рождественский С. А.</i> Основной ионный состав вод Керченского пролива и прилегающих акваторий.....	226
<i>Анциферова М. А.</i> Оценка загрязнения микропластиком вод Нижнего Дона, Цимлянского водохранилища и Волги	227
<i>Бакунов Н. А., Макаров А. С., Большианов Д. Ю., Правкин С. А., Аксенов А. О.</i> Миграция ^{239, 240} Pu глобальных выпадений в донных отложениях морских водоемов и Ладожского озера.....	229
<i>Богуславский А. С., Удовик В. Ф., Казаков С. И., Берзова И. Г., Хамицевич Н. В., Нуриев С. А.</i> Исследование породных комплексов Южного берега Крыма на примере кацивельского участка.....	231
<i>Букатов А. А., Глазунов В. В., Ефимова Н. Н., Панченко В. В.</i> Методические аспекты изучения палеоландшафта прибрежной территории Карантинной бухты на основе геолого-геофизической и археологической информации	232
<i>Бурдина Е. И., Картамышева Т. Б., Шевцова Е. А.</i> Влияние динамических процессов на гидрохимические параметры северо-восточной акватории Черного моря в осенний период 2022 года	234
<i>Буфетова М. В.</i> Загрязнение свинцом абиотических компонентов Азовского моря в 1991–2020 годах	236
<i>Валле А. А.</i> О причинах изменчивости концентрации растворенного кислорода и солености в области холодного промежуточного слоя Черного моря	237
<i>Василевская Л. Н., Бортин Н. Н., Василевский Д. Н., Лисина И. А.</i> Оценка выпадения закисляющих веществ с атмосферными осадками на акваторию залива Петра Великого	238

<i>Гребнева Е. А.</i> О влиянии Восточно-Атлантического колебания на формирование аномалий рН в верхнем слое открытой части Черного моря.....	240
<i>Григорьев А. Г., Буданов Л. М., Чекулаев А. В., Дронь О. В.</i> Проявление опасных экзогенных геологических процессов на подводных береговых склонах.....	242
<i>Григорьев М. Н., Алексеева О. И.</i> Формирование береговых термотеррас на северо-востоке Российской Арктики.....	244
<i>Гурова Ю. С., Якушев Е. В., Березина А. В., Новиков М. О., Гуров К. И., Орехова Н. А.</i> Численное моделирование динамики окислительно-восстановительных условий на границе вода – донные отложения в Южной бухте	246
<i>Демешкин А. С.</i> Мониторинг состояния загрязнения залива Гренфьорд архипелага Шпицберген.....	248
<i>Денисова А. П., Еременко Е. А., Мороз Е. А., Кохан А. В., Ермаков А. В.</i> Влияние дегазации на распределение взвеси и морской седиментогенез в Баренцево-Карском регионе	249
<i>Ерёмина Е. С., Станичный С. В., Совга Е. Е.</i> Особенности использования методов дистанционного зондирования Земли при оценке экологического состояния залива Сиваш	251
<i>Жамойда В. А., Буданов Л. М., Рябчук Д. В., Сергеев А. Ю.</i> Изменение геологической среды в прибрежной зоне Финского залива в результате подводной добычи полезных ископаемых	253
<i>Жук Е. В.</i> Пользовательский интерфейс ГИС «Черное море».....	255
<i>Кальна В. А., Багаев А. В.</i> Изучение антропогенного полимерного загрязнения в зоне сопряжения суши и моря на примере пляжей Юго-Западного Крыма.....	256
<i>Каталандзе М. Р.</i> Состояние и видовое разнообразие зоопланктона в абхазской акватории Черного моря.....	259
<i>Ключанцева А. П., Лукашева Т. А., Фёдоров А. В.</i> Зоопланктон Голубой бухты в 2021–2022 годах	261

<i>Коршенко А. Н.</i> База данных по гидрохимии и загрязнению прибрежных вод Крыма	262
<i>Котельянец Е. А., Совга Е. Е.</i> Использование корреляционного анализа для оценки уровня накопления тяжелых металлов в донных отложениях бухт Севастополя	264
<i>Кременчуцкий Д. А., Батраков Г. Ф.</i> Распределение бериллия-7 в Черном море в зимний сезон	266
<i>Кузнецов С. Ю., Сапрыкина Я. В.</i> Идентификация волновых режимов, препятствующих экстремальным размывам берегов	267
<i>Ласкина Д. Н., Дорохова Е. В.</i> Влажность и содержание свинца в донных осадках Гданьской впадины (Юго-Восточная Балтика) по данным портативного рентгенофлуоресцентного анализатора OLYMPUS VANTA-C.....	268
<i>Леонов И. И., Соколичина Н. Н.</i> Гололедно-изморозевые отложения на побережье Карского моря полуострова Ямал.....	270
<i>Лысенко В. И., Шик Н. В.</i> Опытные работы по методике опробования газовых флюидов бухты Ласпи (Южный берег Крыма).....	271
<i>Медведев Е. В., Орехова Н. А.</i> Сравнение значений pCO_2 , полученных различными методами (прямые измерения и расчет на основании pH и Alk)	273
<i>Миньковская Р. Я., Наривончик С. В., Антоненков Д. А.</i> Влияние бассейновых факторов на сток в устья рек Юго-Западного Крыма.....	275
<i>Мукосеев И. Н., Гурова Ю. С., Орехова Н. А.</i> Потоки углерода со взвешенным веществом в Черном море.....	276
<i>Мыслина М. А., Вареник А. В., Тарасевич Д. В.</i> Динамика концентраций биогенных элементов в водах реки Черной.....	278
<i>Навроцкий В. В.</i> Внутренние волны и их воздействие на биогеоморфологические процессы в шельфовой зоне моря	279
<i>Навроцкий В. В.</i> Мировой океан и климат Земли.....	280
<i>Наривончик С. В.</i> Изменчивость концентрации биогенных веществ в воде устьевоего взморья реки Черной (Севастопольский регион).....	282

<i>Науменко И. П., Васечкина Е. Ф.</i> Изменчивость кинетических параметров ассимиляции биогенных веществ водными растениями.....	284
<i>Нуриев С. А., Багаев А. В., Щербаченко С. В., Удовик В. Ф., Никишин В. В.</i> Методика оценки запасов пляжного материала на основе данных георадарного зондирования пляжей западного побережья Крымского полуострова.....	286
<i>Нуриев С. А., Карцан И. Н.</i> Организация оперативного получения и передачи информации в импортозамещающей системе морского исследования	287
<i>Огородов С. А., Красильников П. В., Сергиенко Л. А., Баранская А. В., Белова Н. Г., Кажукало Г. А., Шишов А. В.</i> Эволюция лагунных берегов Печорского моря и бюджет органического углерода.....	289
<i>Огородов С. А., Шабанова Н. Н., Кажукало Г. А., Новикова А. В., Мысленков С. А., Белова Н. Г., Богатова Д. М.</i> Динамика берегов Карского моря на фоне изменений климата и ледовитости.....	291
<i>Орехова Н. А.</i> рСО ₂ в поверхностном слое вод Черного моря	293
<i>Пионтковский С. А.</i> Многомасштабная изменчивость и взаимодействие физических, химических и биологических полей тропической зоны Индийского океана	294
<i>Погожева М. П., Гонзалес-Фернандес Д., Третьяк И. П., Котельникова Ю., Мачидадзе Н., Билашвилли К., Ханке Г.</i> Комплексная оценка загрязненности морским мусором Черного моря.....	296
<i>Ракитин Т. Д.</i> Пространственно-временная динамика фитопланктона как биоиндикатора состояния морской среды северо-западной части Японского моря.....	298
<i>Руднева И. И., Гайский П. В., Шайда О. В., Шайда В. Г.</i> Мониторинг Сакского соленого озера: влияние природных и антропогенных факторов.....	300
<i>Санин А. Ю.</i> Рекреация в Крыму и Северном Приазовье в современных условиях.....	301

<i>Свищев С. В., Кубряков А. А.</i> Пространственная и сезонная изменчивость содержания растворенного кислорода в Черном море на основных изопикнических горизонтах.....	303
<i>Слизченко Е. В., Разина В. А., Шибеецкая Ю. Г., Бежин Н. А.</i> Потоки и распределение $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$ в Черном море.....	305
<i>Суркова Г. В., Лаврентьева А. И.</i> Метеорологические условия образования гололеда на российском побережье Баренцева моря в условиях меняющегося климата....	307
<i>Сушкевич Т. А.</i> Наука о морях и океанах: от шлюпок и парусников до флагмана научного судна «Академик Мстислав Келдыш», аэрокосмического ДЗЗ и «цифровизации». Стратегии и приоритеты	309
<i>Тарбаева В. М.</i> Оценка качества водной среды обитания в контексте развития аквакультуры.....	313
<i>Удовик В. Ф., Петроченко А. В.</i> Обновленные данные о динамике клифов на участках береговой зоны Западного Крыма	314
<i>Филиппова Т. А., Васечкина Е. Ф.</i> Определение параметров фотосинтеза основных видов макрофитов прибрежной зоны Крыма.....	316
<i>Шибеецкая Ю. Г., Козловская О. Н., Разина В. А., Кременчуцкий Д. А., Бежин Н. А.</i> Поверхностное и вертикальное распределение долгоживущих изотопов радия в Черном море.....	318
ПЕРЕЧЕНЬ ОРГАНИЗАЦИЙ	320
АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ	327

CONTENTS

PLENARY REPORTS

<i>Ivanov V. V., Gusev A. V., Liansky N. A.</i> On the possibility of rapid changes in ocean circulation in the "Atlantic" segment of the Global Circulation Conveyor System: a model experiment.....	36
<i>Korotaev G. K., Mizyuk A. I., Kholod A. L., Ratner Yu. B., Ivanchik A. M., Zhuk E. V.</i> The development of marine forecast system at FSBSI FRC MHI.....	39
<i>Kubryakov A. A., Alskerova A. A., Lishaev P. N., Medvedeva A. V., Puzina O. S., Mizyuk A. I., Stanichny S. V.</i> Application of satellite methods and unmanned aerial vehicles to study the submesoscale dynamics of the Black Sea waters	41
<i>Matishov G. G., Grigorenko K. S.</i> Don fresh flow in the conditions of an anthropogenic impact and lack of water	43
<i>Repina I. A., Chechin D. G.</i> Greenhouse gas balance in the Lena Delta	45
<i>Filatov N. N., Baklagin V. N., Isaev A. V., Kondratyev S. A., Savchuk O. P.</i> On development of informational and analytical system "reservoir - catchment area" to support management decision-making	46

SECTION 1
STATE OF THE ART AND CURRENT ISSUES
IN MARINE EXPEDITIONARY RESEARCH

<i>Antonenkov D. A.</i> Methods and means of expeditionary research of sea estuaries of small rivers	49
<i>Artamonov A. Yu.</i> Measurements of greenhouse gas concentrations in the Gulf of Finland and the Baltic Sea	50
<i>Artamonova K. V., Kolomeitsev V. V., Gorin S. L., Koval M. V.</i> First results about the hydrological regime of Korfa Bay (Bering Sea) in summer 2022 and 2023	52
<i>Atadzhanova O. A., Kozlov I. E., Konik A. A.</i> Dynamics of eddy structures southeast of the Svalbard Archipelago and near Nadezhda Island according to satellite data from January to December 2018	54
<i>Babich M. S., Krasheninnikova S. B., Babich S. A., Artamonova K. V., Demidov A. N., Gippius F. N.</i> Hydrological and hydrochemical structure and dynamics of surface water in the Tropical Atlantic.....	56
<i>Gayko L. A.</i> Variability of water temperature along the coast of Primorsky Krai in 2021-2022 in terms of climatic norms ...	57
<i>Gaisky P. V., Shaida O. V., Davidovich A. R.</i> Development of the experimental hydrostatic pressure meter based on the XIAN sensor.....	59
<i>Gaisky P. V., Shaida O. V., Davidovich A. R.</i> Test results of mobile submersible biomonitoring complex on the oceanographic platform.....	60
<i>Garmashov A. V., Maryushkin Yu. A., Toloknov Yu. N., Korovushkin A. I.</i> Storm waves in the region of the Southern coast of the Crimea according to measurements on a stationary oceanographic platform.....	61
<i>Grekov A. N., Grekov N. A., Sychov E. N.</i> Metrological evaluation of the accuracy of methods and measuring instruments for in situ indirect determination of sea water salinity	63
<i>Deshova D. V., Gordeeva S. M.</i> Water, heat and salt balance of the Pechora Sea	64

<i>Dolgushev T. V.</i> The climatic changes of port's aquatorium level regime's influence on wave parameters in the shallow water area	65
<i>Zhuk E., Markova N.</i> Seasonal velocity variability in different layers of the Black Sea based on ARGO data	67
<i>Zatsepin A. G., Elkin D. N.</i> Influence of an underwater ridge on the movement of anticyclonic eddies over a sloping bottom under the action of a topographic beta effect (laboratory experiment).....	68
<i>Zatsepin A. G., Elkin D. N.</i> Evolution of non-frontal vortices in a two-layer rotating fluid over a smooth, rough and sloping bottom (laboratory experiment)	70
<i>Zatsepin A. G., Podymov O. I.</i> Upwellings and Downwellings Caused by Mesoscale Water Dynamics in the Shelf-Slope Zone of the North-Eastern Part of the Black Sea	72
<i>Zimin A. V., Konik A. A.</i> Small eddies structures in the Kara Sea according to Sentinel 1-A/B data for August 2015-2021	74
<i>Kapustina M. V., Zimin A. V.</i> Long-term variability of upwelling characteristics in the southeastern Baltic Sea	75
<i>Kozlov I. E., Kopyshov I. O., Frey D. I., Morozov E. G., Medvedev I. P., Silvestrova K. P., Soloviev D. M., Plotnikov E. V., Zhuk V. R., Gaisky P. V., Osadchiev A. A., Stepanova N. B.</i> Structure and dynamics of short-period internal waves in the Kara Gates based on multi-sensor observations	77
<i>Konik A. A., Zimin A. V., Atadzhanova O. A., Kruglova K. A.</i> Variability of characteristics of submesoscale eddies of the Bering Sea and the Kuril-Kamchatka region from June to September 2020-2021.....	79
<i>Kopyshov I. O., Kozlov I. E.</i> Spatial characteristics of the field of packets of short-period internal waves in the summer-autumn period of 2021 in the Kara Sea by satellite radar image	80
<i>Korinenko A. E., Malinovsky V. V.</i> Field studies of geometric characteristics of gravitational wave breaking	81

<i>Korchemkina E. N., Sysoyev A. A., Lee R. I., Sysoyeva I. V.</i> Chlorophyll <i>a</i> concentration in Black Sea waters from in situ and satellite measurements	83
<i>Kuznetsov A. S.</i> Features of mesoscale coastal water circulation under seasonal variability of wind conditions near the Southern coast of Crimea	85
<i>Latushkin A. A., Salyuk P. A., Ponomarev V. I.</i> Hydroptical investigations on the shelf of the northwestern part of the Weddell Sea.....	87
<i>Lis N. A., Timokhov L. A.</i> Forecast of the ice coverage of the North European basin seas	89
<i>Marchuk E. A., Ivanov B. V., Bezgreshnov A. M., Ivlev M. O.</i> Analysis of heat balance and ice observations in 68 Russian Antarctic Expedition.....	91
<i>Marchuk E. A., Repina I. A., Kozlov I. E., Silvestrova K. P., Osadchiev A. A., Stepanova N. B.</i> Analysis of the surface temperature of the Kara Sea based on satellite data and measured data from “Floating University-2021”	93
<i>Metik-Diyunova V. V., Khamitsevich N. V., Mayboroda S. A.</i> Characteristics of sea waves and storm surges at Cape Kikineiz	95
<i>Morozov A. N., Mankovskaya E. V.</i> Features of spatial distribution of the Black Sea waters hydrophysical parameters in different seasons 2021	97
<i>Novikov B. A., Kubryakov A. A., Kozlov I. E.</i> Dynamic structure of the Belbek plume after heavy precipitation according to UAV data	98
<i>Plankina M. B., Kulikovskiy K. V.</i> Features of signal processing of laser wave recorders	100
<i>Rudykh N. I.</i> Salinity water Interannual Fluctuations in the Straits of the Sea of Japan	101
<i>Svergun E. I., Zimin A. V., Lunyov E. G., Tolstosheev A. P., Bezgin A. A.</i> A method for estimating the characteristics of short-period internal waves based on the data of an drifting buoy array.....	102

<i>Selezen Ya. Yu.</i> Distribution of search sub-areas among search-and-rescue aids.....	103
<i>Sterlyadkin V. V., Kulikovskiy K. V., Plankina M. B.</i> Field measurements of the spectrum of capillary waves and its relationship with wind speed.....	105
<i>Turko N. A., Lobashev A. A., Ushakov K. V., Kaurkin M. N., Kalnitskii L. Y., Ibrayev R. A.</i> Sensor location influence on Global ocean forecast accuracy.....	106
<i>Fedirko A. V., Artamonov Yu. V., Skripaleva E. A.</i> Intra-annual variability of the thermohaline structure of waters in the northern part of the Black Sea in 2022 according to measurements at the R/V <i>Professor Vodyanitsky</i>	108
<i>Chepyzhenko A. A., Chepyzhenko A. I.</i> The results of backscattering instrumental measurement in the area of the Black Sea satellite polygon. The relationship establishing between the particle-dispersed composition and suspended matter concentration.....	110
<i>Chechin D. G., Repina I. A., Artamonov A. Yu., Marchuk E. A.</i> Using miniature inertial navigation system to reduce the effect of wave-induced pitching on the measured wind speed and fluxes of heat and momentum.....	112
<i>Chukharev A. M., Efremov O. I., Pavlenko O. I., Zubov A. G., Pavlov M. I., Korzhuev V. A.</i> The role of large-scale structures in turbulent air-sea-interactions.....	113
<i>Shukalo D. M., Shulga T. Ya.</i> Database "Termohaline electronic atlas of the Sea of Azov".....	115

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

<i>Ankudinov N. O., Slepyshev A. A.</i> The influence of geostrophic currents on the generation of fine structure by internal waves	117
<i>Antipov N. N., Kashin S. V., Molchanov M. S.</i> The influence of global climate changes on the processes that form the water structure on the shelf and continental slope in Prydz Bay (East Antarctica).....	118
<i>Basharin D. V., Shokurova I. G.</i> Atmospheric conditions under stable winds over the Black Sea in the warm period of the year	120
<i>Belokon A. Yu., Lazorenko D. I., Fomin V. V.</i> Peculiarities of long wave propagation in forked bays	122
<i>Biryukbaev E. K., Makarov K. N.</i> Numerical simulation of wave passage through flow-through constructions	123
<i>Bulatov V. V., Vladimirov I. Yu., Iljicheva M. A.</i> Far fields of wave perturbations at the interface of the deep ocean and ice cover	125
<i>Busev V. V. Chantsev V. Y. Klyachkin S. V.</i> Approximation of ice thickness distribution in the East Siberian Sea.....	127
<i>Vasilenko N. V., Kubryakov A. A., Stanichny S. V., Medvedeva A. V.</i> Manifestation of the Kuban plume according to satellite data.....	128
<i>Verzhevskaya L. V., Bagaev A. V., Lazorenko D. I., Udovik V. F., Dolotov V. V.</i> Data array on reforming of the bottom relief of Kruglaya Bay for numerical simulation problems.....	129
<i>Vlasova G. A., Le Dinh Mau, Nguyen Thi Thuy Dung, Marchenko S. S.</i> Particular distribution of typhoons over Southeast Asia and their influence on the Far East region.....	131
<i>Golovin P. N., Molchanov M. S.</i> Modeling the structure and dynamics of shelf water during intense ice formation in various polynyas types	133
<i>Grigorenko K. S., Frolova A. D.</i> Seishe currents manifestation in the different areas of the Sea of Azov	135

<i>Grigoriev A. V., Kubryakov A. I.</i> Results of the analysis of intra-annual variability of subsurface currents in the Novorossiysk-Gelendzhik region based on numerical simulation ..	136
<i>Demyshev S. G., Dymova O. A., Markova N. V.</i> Estimation of climatic circulation energy of the Black Sea and the Sea of Marmara.....	138
<i>Dorofeyev V. L., Sukhikh L. I.</i> Evaluation of the influence of vertical turbulent exchange parameterization on the results of simulation of phytoplankton biomass dynamics in the Black Sea	139
<i>Dorofeyev V. L., Sukhikh L. I.</i> Reanalysis of the long-term variability of the Black Sea hydrological fields	141
<i>Dulov V. A., Skiba E. V., Kubryakov A. A.</i> Sea foam coverage under fetch-limited wave development.....	142
<i>Evstigneeva N. A., Demyshev S. G., Dymova O. A.</i> Analysis of the dynamics and energy of waters in the Black Sea coastal zone on the basis of the numerical model and observational data in the summer season of 2017.....	144
<i>Evstigneeva N. A., Dymova O. A.</i> Features of the field of currents in the coastal zone of Crimea in the summer of 2016 according to the results of modeling with high spatial resolution...	146
<i>Efimov V. V., Iarovaia D. A.</i> Numerical modelling of upwelling near the Southern coast of Crimea.....	148
<i>Zavyalov D. D., Solomakha T. A.</i> Influence of regional thermodynamic model resolution on the simulation of ice thickness evolution	149
<i>Ilin V. I., Arkhipkin V. S.</i> Features of tidal phenomena in the Kuril straits according to modeling data	151
<i>Kazakov D. A., Samodurov A. S.</i> The vertical turbulent exchange model parameterization in the stratified layers of the Black Sea near the bottom slope	153
<i>Korzhuev V. A.</i> Parameterization of the influence of the main physical mechanisms of turbulence generation and multi-scale dynamic structures on the turbulent exchange in the upper mixed layer	154
<i>Korobchenkova K. D., Aleksandrov S. V.</i> Spatial distribution of chlorophyll a concentration and sea surface temperature in the Vistula and Curonian Lagoons of the Baltic Sea according to remote sensing data.....	155

<i>Kochergin V. S., Kochergin S. V.</i> Variational identification of the initial field of chlorophyll a concentration in the transport model based on remote sensing data	157
<i>Kubryakov A. A., Kubryakov A. I.</i> Influence of horizontal advection on the evolution of eddies in a nonhomogeneous ocean.....	158
<i>Kuzmin A. V., Kozlov I. E.</i> Spatial and temporal variability of the short period internal waves characteristics in the Laptev Sea by the satellite radar observations in 2018-2020	160
<i>Kuzmichyova T. F.</i> Results of analysis of images obtained from Aqua/Terra satellites (2000-2022) on filling the eastern part of the former Aral Sea with the waters of the northern Aral Sea.....	161
<i>Lemeshko E. E.</i> Variability of the Arctic Ocean level and currents based on satellite data.....	163
<i>Makarov K. N., Katline Koblev A. H.</i> Effects of wave reflection from obstacles in the coastal zone of the sea	164
<i>Medvedeva A. V., Vasilenko N. V., Stanichny S. V.</i> Features of Marmara Sea temperature variability by satellite data.....	166
<i>Miklashevskaya N. A., Dymova O. A.</i> Estimation of the Black Sea thermohaline characteristics reconstructed with the SKIRON and ERA5 atmospheric forcing	168
<i>Mikhailichenko S. Yu., Kuranov D. Yu.</i> The study of surface wave interaction with coastal protective structures in the area of Lake Saks koye's bay-bar.....	170
<i>Moroz V. V., Shatilina T. A.</i> The abnormal water thermal regimes forming in the north Sea of Japan (Tatar Strait) under the atmosphere processes influence	171
<i>Nikolskii N. V., Artamonov Yu. V., Skripaleva E. A.</i> Climatic seasonal variability of thermohaline fields and sea ice concentrations in the Powell Basin area.....	173
<i>Novitskaya V. P., Lemeshko E. M.</i> Estimation of the steric component of the Black Sea level from satellite data	175
<i>Pavlushin A. A.</i> Features of mechanical energy transformation for movements of different scale in the eastern and western parts of the Black Sea	176
<i>Pavlushin V. A., Kubryakov A. A.</i> Variability of the Bengala upwelling according to satellite salinity data	178

<i>Petrenko L. A., Kozlov I. E.</i> Wave-like ice edge deformations in the Fram Strait from satellite data	180
<i>Pivaev P. D., Kudryavtsev V. N.</i> Oceanic mixed layer in hurricanes based on satellite data	181
<i>Pogrebnoi A. E.</i> Characteristics of sole internal waves in the Arctic from satellite data	183
<i>Polozok A. A., Fomina I. N.</i> Characteristics of the conditions for the occurrence of storm situations in the area of the sea station Temryuk.....	185
<i>Puzina O. S., Pavlushin A. A.</i> Elements of the energy balance for various areas of the Black Sea.....	186
<i>Piatov I. M.</i> Using satellite images to determine the types of shores of Lake Ladoga	188
<i>Ratner Yu. B., Kholod A. L.</i> Statistical characteristics of significant wave heights in the Sevastopol region calculated using the SWAN model	189
<i>Rubakina V. A., Kubryakov A. A., Stanichny S. V.</i> Inertial oscillations in the Black Sea by NEMO modeling results	191
<i>Rubakina V. A., Simonova Yu. V., Stanichny S. V.</i> Study of SST interannual variability in the Southern coast of Crimea region by SEVIRI data	193
<i>Sadovsky I. N.</i> Some problems of using wind-waves spectral description in calculating of ocean-atmosphere system's outgoing radiation.....	195
<i>Saprykina Ya. V., Kuznetsov S. Yu., Aydogan B., Ayat Aydogan B., Shtremel M. N.</i> On the relationship of the free surface elevations and orbital velocities in nonlinear waves...	197
<i>Sizov A. A., Bayankina T. M., Pososhkov V. L., Yurovskiy A. V.</i> The role of the circumpolar vortex in the variability of the baric field that affects the structure of hydrometeorological fields in the subregions of the Atlantic-European sector, including the Black, Barents and Norwegian Seas.....	199
<i>Slepchuk K. A., Khmara T. V.</i> Numerical simulation of the winter peak of phytoplankton blooming in Sevastopol Bay ...	201
<i>Slepyshhev A. A., Shadt M. A., Razuvay T. A.</i> Effect of the f-plane approximation on vertical momentum transfer by internal waves.....	202

<i>Sokolov A. A., Ivanov V. V.</i> Transfers of water, heat, and salt through the North European Basin according to ocean reanalysis data	203
<i>Sokolov A. A., Ivanov V. V.</i> Heat and mass transfer at the borders of the Arctic Basin.....	205
<i>Sukhonos P. A.</i> The ability of regional climate models from the CORDEX project to represent the sums of winter and summer precipitation over the Black Sea.....	207
<i>Tlyavlin A. R.</i> Mathematical modeling for solving problems of hydroengineering and hydrodynamics	209
<i>Fokina K. V., Bulgakov K. Yu., Chalikov D. V.</i> Representation of the results of spectral wind wave modeling using a phase-resolving model.....	210
<i>Tsyganova M. V., Lemeshko E. M., Ryabtsev Yu. N.</i> Features of the interaction of river plume and upwelling on the northwestern Black Sea shelf.....	211
<i>Chernyshova E. D., Nikolskii N. V., Shokurova I. G.</i> Experimental determination of surface wave contribution to turbulent exchange	212
<i>Cherniavskaya E. A.</i> Correlation of thermohaline characteristics of the mixed layer, halocline and Atlantic water layer of the Arctic Ocean.....	214
<i>Cheshm Siyahi V., Kudryavtsev V. N., Yurovskaya M. V.</i> Evolution of a wave radiated from an extratropical cyclone...216	
<i>Shokurov M. V., Kraevskaya N. Yu.</i> Similarity theory for sea breeze circulation at the equator.....	217
<i>Shokurova I. G., Plastun T. V., Kasyanenko T. E., Stanichnaya R. R., Krasheninnikova S. B., Simonova Yu. V.</i> Seasonal and interannual variability of frequency and speed of upwelling favorable winds near the Southern coast of Crimea	219
<i>Yurovskaya M. V., Kudryavtsev V. N., Zabolotskikh E. V.</i> Interpretation of satellite radiometry measurements in strong wind conditions	221
<i>Yurovsky Yu. Yu., Kudryavtsev V. N., Yurovskaya M. V., Pivaev P. D.</i> Doppler signatures of tropical cyclones	222
<i>Iarovaia D. A., Efimov V. V.</i> Numerical modelling of air-sea interaction during bora in Novorossiysk	224

SECTION 3
PLANNING FOR THE DEVELOPMENT
AND SUSTAINABLE USE OF
THE MARINE ENVIRONMENT

Andrulionis N. Yu., Zavialov I. B., Rogdestvenskiy S. A. Major ionic composition of the waters of the Kerch Strait and adjacent water areas.....226

Antsiferova M. A. Assessment of microplastic pollution contamination in the water of the lower Don, Tsimlyansk Reservoir and the Volga.....227

Bakunov N. A., Makarov A. S., Bolshiyarov D. Yu., Pravkin S. A., Aksenov A. O. Migration of ^{239,240}Pu in marine sediments and in Ladoga Lake sediments from global fallout229

Boguslavsky A. S., Udovik V. F., Kazakov S. I., Berzova I. G., Khamitsevich N. V., Nuriev S. A. Investigation of rock associations of the Southern coast of Crimea (the case of the Katsiveli site)231

Bukatov A. A., Glazunov V. V., Efimova N. N., Panchenko V. V. Methodological aspects of studying the paleolandscape of the coastal territory of Karantinnaya bay on the basis of geological-geophysical and archaeological information232

Burdina E. I., Kartamysheva T. B., Shevtsova E. A. Influence of dynamic processes on hydrochemical parameters of the north-eastern Black Sea in autumn 2022234

Bufetova M. V. Lead contamination of abiotic components of the Sea of Azov in 1991-2020.....236

Valle A. A. On the causes of dissolved oxygen concentration and salinity variability in the cold intermediate layer of the Black Sea.....237

Vasilevskaya L. N., Bortin N. N., Vasilevsky D. N., Lisina I. A. Estimation of deposition of acidifying substances with atmospheric precipitation on the water area of Peter the Great Bay.....238

Grebneva E. A. On the influence of the East Atlantic Oscillation on the formation of pH anomalies in the upper layer of the open part of the Black Sea240

<i>Grigoriev A. G., Budanov L. M., Chekulaev A. V., Dron' O. V.</i> Evidence of hazardous exogenous geological processes on the underwater coastal slopes.....	242
<i>Grigoriev M. N., Alekseeva O. I.</i> Formation of coastal thermal terraces in the northeast of the Russian Arctic	244
<i>Gurova Yu. S., Yakushev E. V., Berezina A. V., Novikov M. O., Gurov K. I., Orekhova N. A.</i> Numerical modelling of redox condition dynamics at the water-sediment interface in Yuzhnaya Bay	246
<i>Demeshkin A. S.</i> Pollution monitoring of Grenford Bay, Spitsbergen Archipelago	248
<i>Denisova A. P., Eremenko E. A., Moroz E. A., Kokhan A. V., Ermakov A. V.</i> Influence of degassing on suspended matter distribution and marine sedimentogenesis in the Barents-Kara region.....	249
<i>Eremina E. S., Stanichny S. V., Sovga E. E.</i> Special aspects of using Earth remote sensing methods for environmental impact assessment of Sivash Bay	251
<i>Zhamoida V. A., Budanov L. M., Ryabchuk D. V., Sergeev A. Yu.</i> Transformation of the geological environment in the coastal zone of the Gulf of Finland as a result of underwater mining.....	253
<i>Zhuk E. V.</i> Black Sea GIS user interface	255
<i>Kalpa V. A., Bagaev A. V.</i> Research of anthropogenic polymer pollution in the coastal zone (the case of the beaches of southwestern Crimea).....	256
<i>Katalandze M. R.</i> Status and species diversity of the zooplankton in the Abkhazian water area of the Black Sea	259
<i>Klyuchantseva A. P., Lukashева T. A., Fedorov A. V.</i> Zooplankton of Golubaya Bay in 2021-2022	261
<i>Korshenko A. N.</i> Database on hydrochemistry and pollution of the Crimean coastal waters	262
<i>Kotelyanets E. A., Sovga E. E.</i> The use of correlation analysis to assess the level of accumulation of heavy metals in the bottom sediments of Sevastopol bays	264
<i>Kremenchutskii D. A., Batrakov G. F.</i> Distribution of beryllium-7 in the Black Sea in the winter season	266

<i>Kuznetsov S. Yu., Saprykina Ya. V.</i> Identification of wave regimes preventing extreme coast erosion	267
<i>Laskina D. N., Dorokhova E. V.</i> Wet content and Pb concentrations in the bottom sediments of the Gdansk Deep (south-eastern Baltic Sea) according to the portable X-ray fluorescence analyzer Olympus VANTA-C.....	268
<i>Leonov I. I., Sokolikhina N. N.</i> Ice and frost deposits on the Kara Sea coast of the Yamal Peninsula.....	270
<i>Lysenko V. I., Shik N. V.</i> Experimental works on the method of sampling gas fluids of Laspi Bay (coast of Crimea)	271
<i>Medvedev E. V., Orekhova N. A.</i> Comparison of pCO ₂ values obtained by different methods (direct measurements and calculation based on pH and Alk)	273
<i>Minkovskaya R. Ya., Narivonchik S. V., Antonenkov D. A.</i> The influence of basin factors on the flow into the estuaries of the rivers of southwestern Crimea.	275
<i>Mukoseev I. N., Gurova Yu. S., Orekhova N. A.</i> Flows of carbon with suspended matter in the Black Sea	276
<i>Myslina M. A., Varenik A. V., Tarasevich D. V.</i> Dynamics of nutrient concentrations in the waters of the Chernaya River... ..	278
<i>Navrotsky V. V.</i> Internal waves and their impact on biogeomorphological processes in the shelf region of sea	279
<i>Navrotsky V. V.</i> World ocean and climate of Earth.....	280
<i>Narivonchik S. V.</i> Variability of the concentration of biogenic substances in the water at the estuary of the Chernaya River (Sevastopol region).....	282
<i>Naumenko I. P., Vasechkina E. F.</i> Variability of the kinetic parameters of nutrient assimilation by aquatic plants	284
<i>Nuriev S. A., Bagaev A. V., Shcherbachenko S. V., Udovik V. F., Nikishin V. V.</i> Methodology for estimating stocks of beach material based on GPR data for beaches on the west coast of the Crimean peninsula	286
<i>Nuriev S. A., Kartsan I. N.</i> Organization of prompt receipt and transfer of information in the import-substituting system of marine research	287

<i>Ogorodov S. A., Krasilnikov P. V., Sergienko L. A., Baranskaya A. V., Belova N. G., Kazhukalo G. A., Shishov A. V.</i> Evolution of the lagoon coasts of the Pechora Sea and the organic carbon budget.....	289
<i>Ogorodov S. A., Shabanova N. N., Kazhukalo G. A., Novikova A. V., Myslenkov S. A., Belova N. G., Bogatova D. M.</i> Dynamics of the Kara Sea coasts under climate and ice cover change.....	291
<i>Orekhova N. A.</i> pCO ₂ in the surface waters of the Black Sea ...	293
<i>Piontkovski S. A.</i> Multiple-scale variability and interaction of physical, chemical and biological fields of the Indian Ocean tropical zone.....	294
<i>Pogojeva M. P., González-Fernández D., Tretiak I. P., Kotelnikova Yu., Machitadze N., Bilashvili K., Hanke G.</i> Comprehensive assessment of the Black Sea pollution with marine litter	296
<i>Rakitin T. D.</i> Spatial-temporal phytoplankton pattern as bioindicator of the marine environment condition in the northern-west of the Sea of Japan.....	298
<i>Rudneva I. I., Gaisky P. V., Shaida O. V., Shaida V. G.</i> Monitoring of Saky salt lake: the influence of natural and anthropogenic factors	300
<i>Sanin A. Yu.</i> Recreation in Crimea and the Northern Azov region in modern conditions.....	301
<i>Svishchev S. V., Kubryakov A. A.</i> Spatial and seasonal variability of dissolved oxygen content in the Black Sea at the main isopycnal surfaces.....	303
<i>Slizchenko E. V., Razina V. A., Shibetskaia Iu. G., Bezhin N. A.</i> Fluxes and distribution of ²¹⁰ Pb/ ²¹⁰ Po in the Black Sea	305
<i>Surkova G. V., Lavrentjeva A. I.</i> Meteorological conditions of icing on the Russian coast of the Barents Sea in a changing climate.....	307
<i>Sushkevich T. A.</i> The science of the seas and oceans: from dinghies and sailboats to the flagship of the research vessel “Academician Mstislav Keldysh”, aerospace remote sensing and “digitalization”. Strategies and priorities.....	309
<i>Tarbaeva V. M.</i> Assessment of aquatic habitat quality in the context of aquaculture development	313

<i>Udovik V. F., Petrochenko A. V.</i> Updated data on the dynamics of cliffs in sections of the coastal zone of Western Crimea	314
<i>Filippova T. A., Vasechkina E. F.</i> Determination of the parameters of photosynthesis of macrophytes widely spread in the coastal zone of Crimea	316
<i>Shibetskaia Iu. G., Kozłovskaia O. N., Razina V. A., Kremenchutskii D. A., Bezhin N. A.</i> Surface and vertical distribution of long-lived radium isotopes in the Black Sea.....	318
LIST OF ORGANIZATIONS	320
AUTHOR INDEX	327

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

О ВОЗМОЖНОСТИ БЫСТРЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ОКЕАНСКОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ В АТЛАНТИЧЕСКОМ СЕГМЕНТЕ СИСТЕМЫ ГЛОБАЛЬНОГО ЦИРКУЛЯЦИОННОГО КОНВЕЙЕРА: МОДЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

В. В. Иванов ¹✉, А. В. Гусев ^{2,3,4}, Н. А. Дианский ^{1,2,3},

¹ МГУ, Москва, Россия

² ИВМ РАН, Москва, Россия

³ ГОИН, Москва, Россия

⁴ ИО РАН, Москва, Россия

✉ vladimir.ivanov@aari.ru

Ключевые слова: глобальный циркуляционный конвейер, морские течения, водные массы, морской лед, климатические изменения, термохалинная катастрофа.

С нисходящей ветвью Глобального циркуляционного конвейера (ГК) связывают гипотетическую возможность так называемой термохалинной катастрофы – быстрого (в течение первых десятков лет) ослабления вертикальных движений в этой ветви вследствие аномального распределения верхнего слоя вод в субполярной Атлантике. Спусковым механизмом блокирования вертикальной циркуляции вод предполагается аномально мощный сброс распределенных вод из Арктического бассейна Северного Ледовитого океана (СЛО) в субполярную Северную Атлантику через пролив Фрама и Датский пролив. Источником такого сброса может стать избыток пресной воды, сформировавшейся

к настоящему времени в круговороте Бофорта вследствие таяния арктического морского льда и усилившегося речного стока в 1990–2010-е гг. В случае, если это произойдет, прогнозируется изменение траектории Северо-Атлантического течения с частичной его рециркуляцией в северный субтропический круговорот и уменьшением проникновения теплых вод Атлантики в Северо-Европейский и Арктический бассейны СЛО с негативными последствиями для климатических условий, в первую очередь, Северной Европы и европейской территории РФ.

В отличие от гипотезы о переходе к сезонному ледяному покрову в СЛО, которая изначально (в 1990-х и даже в начале 2000-х гг.) воспринималась с известным скепсисом, а после резкого сокращения площади летнего ледяного покрова в 2007 г. стала практически общепринятой, тема вышеописанной «термохалинной катастрофы», наоборот, в 1990-е гг. расценивалась крайне серьезно, но после длительных наблюдений по программе RAPID (2004 – наст. вр.), не выявивших заметных изменений меридионального переноса на 26° с. ш., отошла на второй план. Однако фактически эта гипотеза не потеряла своей актуальности. Скорее наоборот, продолжающееся накопление распресненных вод в круговороте Бофорта делает ее еще более актуальной, чем в 1990-е г.

В докладе представлены результаты сценарной оценки возможности реализации «термохалинной катастрофы» по результатам численных экспериментов по модели циркуляции INMOM. Под сценарной оценкой в данном контексте подразумевается расчет количественных характеристик циркуляции вод в системе в случае реализации различных, физически возможных сценариев атмосферного воздействия, включая длительное сохранение характерных типов состояния атмосферы над Арктическим бассейном, определяющих интенсивность теплообмена СЛО с Атлантическим океаном.

Для реализации этой задачи были выполнены численные эксперименты по воспроизведению циркуляции вод в системе «Атлантический океан – СЛО» для нескольких вариантов атмосферного воздействия, включая предельные случаи длительного сохранения «циклонического» и «антициклонического» типов

атмосферной циркуляции над Арктическим бассейном, соответственно ослабляющих и усиливающих циркуляцию в круговороте Бофорта. Постановка задачи включала использование в качестве исходных данных состояния системы, в котором поля температуры и солёности были взяты из атласа WOA2018, а характеристики гидродинамики и морского льда получены путем предварительной кратковременной диагностики. С использованием этих исходных данных были проведены два идеализированных расчета, в каждом из которых циклическим образом задавались атмосферные характеристики одного года из массива JRA55-do в течение всей продолжительности эксперимента, равной 10 лет: в первом расчете использовались атмосферные данные за 1989 г. (характерный «циклонический год»), а во втором – за 2004 г. (характерный «антициклонический год»). Результаты этих экспериментов сравнивались с результатами реалистичного расчета модели на временном интервале 1958–2021, выполненного с использованием атмосферных данных из массива JRA55-do сквозным образом. В качестве начального состояния океана принимались те же характеристики, что и для идеализированных расчетов. В качестве контрольных характеристик были взяты интегральные тепломассопереносы через границы СЛО и Северо-Европейского бассейна (СЕБ) и границу СЕБ и Северной Атлантики.

Расчеты показали, что в идеализированных экспериментах сигнал от циклоничности и антициклоничности атмосферного состояния проявляется в океанических течениях сильнее, нежели в реалистичном сквозном расчете, что позволяет делать предположения о вкладе типа циклоничности атмосферного состояния в структуру океанической циркуляции. Так, например, в сквозных расчетах и по данным наблюдений количество морского льда в СЛО в 1989 г. было выше, чем в 2004, но в идеализированных экспериментах за 1989 и 2004 гг. картина обратная, поскольку при сильном циклоническом отклике океана происходит интенсивный вынос льда из СЛО.

Исследование выполнено при поддержке РФФ (грант № 19-17-00110-П).

РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНЫХ МОРСКИХ ПРОГНОЗОВ В ФГБУН ФИЦ МГИ

Г. К. Коротаев, А. И. Мизюк, А. Л. Холод ✉, Ю. Б. Ратнер,
А. М. Иванчик, Е. В. Жук

МГИ, Севастополь, Россия
✉ antonholod@mail.ru

Ключевые слова: оперативная система, гидродинамика, численное моделирование, морской прогноз, валидация, геоинформационная система.

В работе представлена современная версия действующей автоматической системы оперативных морских прогнозов полей Мирового океана и Азово-Черноморского бассейна на основе комплекса численного моделирования состояния океана NEMO. Расчеты выполняются на высокопроизводительном кластере, расположенном в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Федеральном исследовательском центре «Морской гидрофизический институт РАН».

В состав системы входят модули закачки и подготовки входных данных, модули расчета состояния полей Мирового океана и Азово-Черноморского бассейна на основе гидродинамических моделей, модуль подготовки выходных продуктов системы, модуль валидации результатов модельных расчетов на основе сопоставления с данными натурных измерений, спутниковых измерений температуры поверхности океана, спутниковой альтиметрии. Для повышения точности расчетов по гидродинамическим моделям в состав системы включены блоки ассимиляции наблюдений. Подсистема визуализации результатов модельных расчетов разработана на базе клиент-серверной архитектуры с использованием Nodejs, который является серверной платформой с открытым исходным кодом для работы с JavaScript. Картографические функции реализованы с помощью open layers.


Функционирование разработанной системы обеспечивает ежедневный диагноз и прогноз до пятнадцати суток полей температуры, солености, скоростей течений, уровня морской поверхности и сплоченности морского льда Мирового океана с пространственным разрешением 0,25° и полей Азово-Черноморского региона с пространственным разрешением 4,6 км. Результаты прогноза полей Мирового океана доступны в графическом виде на сайте Черноморского центра морских прогнозов http://bsmfnc.net/glo_forecast.php.

Анализ продуктов, воспроизводимых разработанной системой прогноза морской среды, показывает, что получаемые поля правильно отражают известные основные особенности морской среды, ее вертикальное распределение. Имеется возможность выполнять расчеты в интересующем районе с повышенным пространственным разрешением с использованием технологии вложенных сеток.


Эта технология будет применяться при исследованиях субмезомасштабных процессов в различных акваториях Мирового океана для повышения точности выходных продуктов системы.

Исследование выполнено в рамках темы госзадания FNNN-2021-0003 «Развитие методов оперативной океанологии на основе междисциплинарных исследований процессов формирования и эволюции морской среды и математического моделирования с привлечением данных дистанционных и контактных измерений».

ПРИМЕНЕНИЕ СПУТНИКОВЫХ МЕТОДОВ И ДРОНОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СУБМЕЗОМАСШТАБНОЙ ДИНАМИКИ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ

А. А. Кубряков , А. А. Алескерова, П. Н. Лишаев,
А. В. Медведева, О. С. Пузина, А. И. Мизюк, С. В. Станичный

МГИ, Севастополь, Россия

 *arskubr@ya.ru*

Ключевые слова: субмезомасштабные вихри, спутниковые измерения, дроны, БПЛА, пространственно-временная изменчивость, Черное море.

На основе спутниковых измерений среднего и высокого разрешения, численного моделирования с высоким разрешением и данных БПЛА исследуется пространственно-временная изменчивость характеристик субмезомасштабных вихрей и механизмы их генерации в Черном море. Наиболее часто такие вихри встречаются в прибрежной зоне, где их образование в основном связано со взаимодействием дрейфовых, крупно- и мезомасштабных течений с особенностями орोगрафии берега.

Наиболее часто этот процесс наблюдается при взаимодействии синоптических антициклонов с мысами, что приводит к генерации серии субмезомасштабных циклонических вихрей (СЦВ). Данные численного моделирования показывают, что такие вихри имеют наибольшую скорость и завихренность в начале своего образования и могут занимать слой вод до 200 м. В процессе дальнейшей эволюции в течение времени жизни (до 20 дней) они ослабевают и вытягиваются в вихревую нить и далее диссипируют. Образование СЦВ часто наблюдается в прибрежной зоне при отрыве прибрежных апвеллингов от берега. В этом случае апвеллинг трансформируется в холодный СЦВ, который захватывает прибрежные воды и выносит их на 100–150 км от берега. Процесс аккумуляции взвеси в прибрежных СЦВ связан с конвергенцией вод, возникающей из-за неразрывности жидкости вследствие наличия стенки (берега), которая приводит к закручиванию спирали внутрь СЦВ. Эти вихри перемещаются со скоростью фонового потока и способствуют быстрому выносу вещества от берега в открытое море. С течением времени

концентрации взвешенного вещества и хлорофилла *a* в ядрах субмезомасштабных вихрей уменьшаются из-за ослабления вихрей и их смешения с окружающими водами.

Субмезомасштабные антициклонические вихри (САВ) наблюдаются гораздо реже, чем СЦВ. Образование цепочки таких САВ диаметром 400–800 м наблюдалось, по данным БПЛА, при интенсивном оттоке вод из Севастопольской бухты под действием апвеллинга у резкого топографического препятствия – мола. Такие САВ имели орбитальную скорость 0,1–0,5 см/с, а их завихренность достигала 50f.

Вдали от берега наиболее интенсивная генерация СЦВ связана с наличием резких градиентов плотности. Интенсивная субмезомасштабная динамика фиксируется в районе впадения крупных рек на северо-западном шельфе Черного моря, где присутствуют резкие вертикальные и горизонтальные перепады солёности. При этом в холодный период года, когда шельфовые воды перемешиваются до дна, субмезомасштабная динамика в этом районе значительно ослабевает.

Пресные воды шельфа попадают в центральную часть моря в результате их вовлечения синоптическими антициклонами. Районы вовлечения этих вод являются зонами наиболее интенсивной генерации субмезомасштабных вихрей на континентальном склоне. Возникновение бароклинной неустойчивости вызывает генерацию периодических субмезомасштабных структур, среди которых наибольшей завихренностью обладают циклонические вихри. В зимний период в центральной части моря интенсивность субмезомасштабных динамических процессов возрастает. Однако в это время когерентные вихревые структуры наблюдаются достаточно редко. Одним из важных процессов, которые влияют на интенсификацию вихрей в это время, является неоднородность выхолаживания, связанная с пространственной изменчивостью скорости ветра и потоков тепла. Такие вихри способствовали усилению горизонтального и вертикального обмена на границе фронта, сопровождающегося диапикническим смешением тяжёлых холодных вод центральной части и теплых опреснённых вод на периферии бассейна.

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ 20-17-00167, анализ спутниковых данных выполнен в рамках темы госзадания FNNN-2021-0006.

ПРЕСНЫЙ СТОК ДОНА В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И МАЛОВОДЬЯ

Г. Г. Матишов^{1,2}, К. С. Григоренко¹ ✉

¹ ЮНЦ РАН, Ростов-на-Дону, Россия

² ММБИ, Мурманск, Россия

✉ klim_grig@mail.ru

Ключевые слова: дельта Дона, маловодье Дона, изменения климата, ионный состав вод, сгонно-нагонные явления, подземный сток, водовод.

Маловодье и зарегулирование речного стока Дона привело к необратимой трансформации естественных гидрологических и гидрохимических процессов. В связи с запуском нового крупного водовода из дельты Дона в Донбасс и тем самым масштабным наращиванием объемов изъятия речной воды поставлена задача проанализировать данные о водных ресурсах и водном балансе в бассейне Дона. Не менее важным было исследовать возможные изменения химического состава речной воды в связи с маловодьем, а также гидрохимические преобразования вод в реальном времени на взморье Дона.

Водный баланс Азово-Донской водной системы играет важнейшую роль в формировании закономерностей динамики солевого состава воды и концентрации биогенов. В эстуарной зоне Дона встречаются воды со следующей минерализацией: пресные, речные (0,4–2 г/л), слабосолоноватые (2–4 г/л), солоноватые (4–8 г/л) и высокосолоноватые (более 8 г/л). Кроме различий в общем количестве солей изученные воды отличаются разнообразием типов по химическому составу. Из-за недостатка водных ресурсов в речном бассейне Дона периодически возникает дефицит пресной, в том числе питьевой, воды в крупных городах: Ростове-на-Дону, Таганроге, Азове и др. В течение года при экстремальных сгонах и нагонах гидрографическая сеть (гирла, протоки, рукава) Нижнего Дона и взморья заполняются трансформированными солеными водами подземного стока и черноморского

происхождения. Нередко указанные воды закачиваются в водозаборные системы городов Приазовья. Водоканалом мероприятия для понижения минерализации воды при нагонах (морские соли) и при сгонах (соли грунтового питания) не предусмотрены.

В конце 2022 г., несмотря на дефицит речной воды, в регионе приступили к прокладке водовода в Донбасс, мощностью до 300 тыс. кубометров воды в сутки. Водовод проходит от рукава Каланча по заболоченным участкам Донского заповедника через ерик Лагутник, канал Рыбхоз и реку Мертвый Донец. Затем – к станции «Танаис», на правом крутом берегу Дона. Водовод дотянут до Северского Донца (притока Дона) – самой крупной реки в Донбассе.


Возникает вопрос: достаточно ли запасов качественной воды в речном бассейне на все возрастающие хозяйственные нужды в течение всего года? Дефицит воды усилился нерациональным водопользованием. По опыту наблюдений за питьевой водой в Азове, Таганроге и Ростове-на-Дону можно предположить, что по донецкому водоводу Донбасс будет снабжаться солоноватой водой во время стояния экстремально низких или высоких уровней, часто наблюдаемых в дельте Дона.

В работе представлены новые результаты исследования изменений гидрохимического режима дельты Дона в условиях аридизации климата. Раскрыта динамика изменений характерных типов минерализации при быстрых перепадах уровня воды. Для Нижнего Дона характерно сложное сочетание вод с разным химическим составом. Воды Цимлянского водохранилища максимально распреснены. Крупные притоки, такие как Северский Донец, слабосоленоватые Сал и Маныч, ощутимо увеличивают минерализацию донских вод. В полноводные годы такое влияние было незаметно. Аномальное маловодье Дона приводит к формированию ранее неизвестных геохимических зависимостей на разных участках бассейна. Еще раз подчеркнем, что сложившаяся в настоящий период обстановка приводит к периодическому (во время сильных «низовок» и экстремальных верховок) заполнению водопровода в г. Азове, Таганроге, Ростове-на-Дону и других населенных пунктах солоноватой (4–8 г/л) водой. В отдельных случаях, как, например, 14 февраля 2021 г., зафиксирована высокосолоноватая (8–10 г/л) вода.

БАЛАНС ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В ДЕЛЬТЕ ЛЕНЫ

И. А. Репина , Д. Г. Чечин

ИФА РАН, Москва, Россия

 *repina@ifaran.ru*

Ключевые слова: баланс парниковых газов, дельта Лены, источники парниковых газов, арктический шельф.

По данным прямых измерений потоков и концентраций углекислого газа и метана исследуется пространственная изменчивость характеристик газообмена в дельте р. Лены. В настоящее время во многих системах прогноза погоды и моделях климата реализованы параметризации речной сети. Но термодинамические, биогеохимические процессы в эстуариях рек, взаимодействии рек с атмосферой и морями в граничных зонах при этом не учитываются, хотя экспериментальные исследования показали значимую роль эстуариев в углеродном цикле планеты. Разрушение мерзлоты и изменение гидрологических условий, в частности рост речного стока, увеличивают роль Арктического бассейна в глобальном цикле парниковых газов. Но Северный Ледовитый океан не только бассейн, имеющий огромные запасы углеводородов. Он также принимает сток крупнейших в мире рек, водосборы которых проходят, в том числе, и в зоне вечной мерзлоты. Поэтому важно изучение роли великих сибирских рек как источника парниковых газов на российском арктическом шельфе.

По данным прямых измерений потоков и концентраций углекислого газа и метана исследуется пространственная изменчивость характеристик газообмена в дельте р. Лены. Измерения проводились с борта судна и на о. Самойловский. Исследован вклад пресноводных и морских экосистем в углеродный баланс сибирского шельфа. В районе дельты и эстуария Лены наблюдались высокие концентрации метана как в воде, так и в воздухе. Река также является источником углекислого газа. Перенасыщенные CO₂ речные воды могут распространяться достаточно далеко по арктическому шельфу и служить одним из источников

углекислого газа в морях Северного Ледовитого океана. На о. Самойловский, расположенном в дельте Лены, поток метана с наземных источников оценивается от 4 до 28 мг/(м²·сут). Эмиссия метана из р. Лены примерно в три раза выше, чем из окружающих наземных источников. Одной из причин более низкой наземной эмиссии может быть то, что для почвы в этих условиях возможно интенсивное микробное окисление метана, что, по-видимому, отсутствует в реке.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 22-47-04408.

О РАЗРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «ВОДОЕМ – ВОДОСБОР» ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Н. Н. Филатов¹ ✉, **В. Н. Баклагин**¹, **А. В. Исаев**^{1,2},
С. А. Кондратьев^{1,3}, **О. П. Савчук**¹

¹ *ИВПС КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия*

² *Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН, Москва, Россия*

³ *ИНОЗ РАН, Санкт-Петербург, Россия*

✉ nfilatov@rambler.ru

Ключевые слова: информационно-аналитическая система, экосистемное моделирование озера – водосбор, управление водными ресурсами, климатические и антропогенные сценарии, реанализ экосистемы водоема.

Несмотря на многолетние исследования крупных внутренних водоемов России, таких как Байкал, Ладожское и Онежское и др., имеется недостаточно информации об основных биогеохимических потоках в экосистеме, которая могла бы характеризовать прошлое и настоящее состояние их экосистем для того, чтобы дать надежные прогнозные оценки их будущего. С целью восполнения недостающей информации о состоянии системы водоем – водосбор на примере хорошо изученного Онежского озера была разработана трехмерная эко-гидродинамическая модель биогео-

химического круговорота питательных веществ. Модель является основой для разработки информационно-аналитической системы (ИАС), предназначенной для оценки состояния и прогнозирования динамики системы озеро – водосбор. 3-D модель на первом этапе в 2022 г. использовалась для реконструкции динамики экосистемы Онежского озера за три десятилетия с суточным разрешением на пространственной расчетной сетке 2×2 км. Разрабатываемая в рамках проекта РНФ № 22-17-00193 ИАС для озера и водосбора состоит из трех основных блоков: а) имитационных математических моделей термогидродинамики и биогеохимического круговорота биогенов в экосистеме озера; б) моделей формирования водного стока и биогенной нагрузки на водосборе; в) интегрированной базы данных, знаний и результатов моделирования с инструментами визуализации [Баклагин, 2022; Филатов, 2022]. Блок-схема, формулировка модели и параметризация процессов взаимодействия в экосистеме озера, модель водосбора представлены в статьях [Isaev et al., 2022; Savchuk et al., 2022]. Создаваемая ИАС используется и будет применяться для фундаментальных исследований по оценке климатических и антропогенных воздействий на экосистему и водосбор озера. SPLEM разрабатывается для решения широкого спектра прикладных задач: оценки распространения и трансформации вод, поступающих в озеро от точечных и диффузионных источников, определения оптимальной локализации водозаборов, обоснования размещения хозяйств аквакультуры и подготовки рекомендаций по природоохранным мероприятиям. Показано, что расчетная сетка с горизонтальным разрешением 2×2 км является недостаточной, поскольку на таком разрешении не воспроизводятся процессы с характерными горизонтальными масштабами порядка радиуса деформации Россби. Поэтому для дальнейших исследований были созданы равнообъемные, для обеспечения сохранения количества вещества в озере, расчетные сетки с горизонтальным разрешением 1000 и 500 м. Совместное использование трех равнообъемных сеток, с учетом ограниченности вычислительных ресурсов, позволит проводить как расчеты на климатический период, так и уточняющие расчеты влияния различных источников антропогенного воздействия на различные

части Онежского озера. Трехмерная объединенная гидродинамическая биогеохимическая модель круговоротов азота и фосфора была использована для так называемого многолетнего реанализа экосистемы озера. Выполнена разработка модели водосбора Онежского озера, включая подмодели частных водосборов рек [Кондратьев, Шмакова, 2022]. Помимо решения исследовательских задач разрабатываемая ИАС послужит как прототипом подобных систем для других внутренних водоемов России, так и основой и средством внедрения методологии реального системного исследования водоема. Разработана архитектура основных алгоритмов программной основы ИАС и схема взаимодействия модулей. Функционал разработанной ИАС обеспечивает пространственно-временную визуализацию как непосредственных результатов моделирования, так и данных натуральных измерений из баз данных, привязанных к электронной основе Онежского озера и водосбора, и продуктов их индивидуального и совместного анализа разного уровня обобщения (статистика, интегрирование, статистический анализ и т. п.). В 2022 г. создано веб-приложение как веб-сервис. Разрабатываемая ИАС обработки и анализа модельных и натуральных данных может послужить основой систем поддержки принятия решений.

Работа выполняется по гранту РФФИ № 22-17-00193 «Информационно-аналитическая система для фундаментальных исследований экосистемы озера и его водосбора и обоснования управленческих решений в условиях возрастающего антропогенного воздействия и изменения климата».

СЕКЦИЯ 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МОРСКИХ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МОРСКИХ УСТЬЕВ МАЛЫХ РЕК

Д. А. Антоненков

МГИ РАН, Севастополь, Россия

✉ *dmitry_science@mail.ru*

Ключевые слова: методы, приборы, устья рек, экологический мониторинг.

Наиболее результативным способом исследования устьевых процессов является сочетание моделирования, методов дистанционного зондирования и экспедиционных исследований. Разработка и использование новых технических средств и методов при проведении экспедиционных работ дает возможность решить основную проблему в данной области, а именно верификацию модельных расчетов путем сопоставления полученных результатов с натурными данными.

В 2017–2023 гг. в МГИ РАН проводились экспедиционные работы в устьевой области р. Черной (г. Севастополь). В ходе данных работ была разработана и апробирована методика проведения экспедиционных исследований, основанная на применении

новых технических средств и методов. Основные гидрофизические параметры воды определялись с помощью современных портативных зондов (ГАП-16А и «Кондор»), для изучения гидродинамических характеристик водной среды, а также определения расхода воды использовались новые методы, основанные на видеорегистрации водного потока.

Благодаря применению созданной методики были получены новые данные о пространственном распределении гидрологических характеристик в устье р. Черной, произведена оценка обменных процессов, определен расход воды на устьевых участках в периоды межени и паводка.

ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В АКВАТОРИИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА И БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

А. Ю. Артамонов

ИФА РАН, Москва, Россия

✉ *sailer@ifaran.ru*

Ключевые слова: метан, парниковые газы, взаимодействие океана и атмосферы.

Особенности современного изменения климата рассматриваются как проблема прямого антропогенного влияния и выброса парниковых газов от человеческой деятельности. Однако более половины их источников, например метана, определяются различными природными механизмами, исследованию которых способствует получение новых экспериментальных данных.

Одной из задач 55-го рейса ПС «Академик Сергей Вавилов» являлись измерения концентраций парниковых газов во время всего движения судна и получение натуральных данных для климатического и экологического мониторинга российских секторов юго-восточной части Балтийского моря и Финского залива.

Для этой цели на судне был установлен оптический газоанализатор закрытого типа Licor 7810, который ведет непрерывную запись трех главных парниковых газов – паров воды H_2O , углекислого газа CO_2 , метана CH_4 . Сам прибор был расположен в метеорологической лаборатории на пеленгаторной палубе. Воздухозаборник был выведен через иллюминатор на леерное ограждение на высоте 18 м над водой.

Запись концентраций CO_2 и CH_4 осуществлялась на протяжении всего рейса с 20 по 27 апреля 2023 г. Финский залив характеризовался средним содержанием CO_2 – 438 ppm. Далее по маршруту до южной оконечности острова Готланд наблюдался достаточно чистый по содержанию парниковых газов участок. Значения концентраций углекислого газа и метана – в пределах фоновых. При приближении к берегам прибалтийских стран в юго-восточной части Балтийского моря концентрации CH_4 стали возрастать до 2 ppm. Данные метеорологических измерений показали, что в период исследований в этом районе преобладали ветры с берега, которые способствовали выносу в открытое море более загрязненных воздушных масс. На временных реализациях концентраций углекислого газа наблюдались отдельные выбросы, одной из возможных причин которых является остановка и маневрирование судна на станциях, в результате чего выхлоп дизельной трубы мог попасть в воздухозаборник.

Максимальные значения метана и углекислого газа зафиксированы 24.04.2023 в 11:00 UTC на уровне 2.120 ppm и 453 ppm соответственно. В это время судно находилось на шельфе у берегов Калининградской области. Отметим, что в этом районе осуществляется добыча углеводородов. Кроме того, заметное влияние на распределение метана и углекислого газа имели метеорологические условия. Так, в дни с повышенным содержанием концентраций метана и углекислого газа наблюдалось повышение влажности воздуха. Максимальные их концентрации отмечались 24 апреля, когда наблюдались сильные туманы, которые препятствуют перемешиванию и вызывают накопление примесей в атмосфере.

ПЕРВЫЕ СВЕДЕНИЯ О ГИДРОЛОГИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ ЗАЛИВА КОРФА (БЕРИНГОВО МОРЕ) ЛЕТОМ 2022 И 2023 ГОДОВ

К. В. Артамонова¹, В. В. Коломейцев², С. Л. Горин¹,
М. В. Коваль²

¹ ВНИРО, Москва, Россия

² КамчатНИРО, Петропавловск-Камчатский, Россия

✉ ksusha.vniro@gmail.com

Ключевые слова: температура воды, соленость, течения, приливы, структура вод, река Вывенка, залив Корфа, Берингово море.

Залив Корфа Берингова моря расположен на северо-восточном побережье полуострова Камчатка. Его бассейн и акватория – это один из важнейших районов воспроизводства и промысла тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке России. С 2022 г. здесь проводится работа по изучению влияния гидрологических условий в прибрежной зоне моря на выживаемость молоди и миграции производителей лососей. Представленные ниже результаты – это первые сведения о гидрологическом режиме залива Корфа, о котором ранее не было известно.

Исходные данные получены в двух экспедициях, состоявшихся в заливе Корфа в летний период (июнь – июль) 2022 и 2023 гг. Термохалинная структура залива исследовалась с помощью площадных съемок и отдельных разрезов с борта рыбопромыслового судна МРС 150–046 и моторной лодки Achilles. Кроме этого, наблюдения за температурой и соленостью, а также уровнем воды производились на нескольких временных постах, оборудованных соответствующими датчиками. Изменчивость скорости течения изучалась с помощью доплер-акустического прибора, установленного на одной буйковой станции.

По полученным данным установлено, что гидрологический режим залива Корфа в летний период определяется стоком рек

(прежде всего р. Вывенки), на которых в этот сезон проходит половодье, сезонным прогревом, приливно-отливными колебаниями, действием ветра.

В заливе Корфа хорошо выражено влияние стока р. Вывенки, распространяющееся, как правило, вдоль берега в юго-западном направлении. Скорее всего, это обусловлено общей направленностью неперiodических морских течений в заливе. Граница зоны смещения в заливе в течение лета очень подвижна и изменяется в сезонном (под действием речного стока), синоптическом (из-за ветра) и приливном масштабах времени.

В вертикальной структуре вод зафиксирован слой скачка температуры, солености и мутности, залегающий достаточно близко к поверхности – на горизонте не более 3–5 м. Под слоем скачка залегают холодная, соленая и более прозрачная вода.

Величины приливных колебаний уровня в заливе Корфа летом изменяются от 0,8 м в квадратуры до 2,3 м в сизигии. Влияние приливов особенно хорошо проявляется в соответствующей изменчивости скорости и направления течений, в которой очень хорошо выражена полусуточная составляющая. Около устья р. Вывенки суммарный перенос вод в поверхностном слое характеризуется преобладанием двух румбов – ССВ и ЮЮЗ – с максимальными скоростями от 20 до 40 см/с. Основной вклад в общую динамику вод вносят приливы. При этом здесь периодически возникает непродолжительное по времени, но сильное – до 90 см/с – поверхностное течение (возможно, вихревого характера), направленное на СВ. Появление этого течения сопровождается увеличением температуры воды на 0,5 °С и понижением солености на 0,2 епс.

**ДИНАМИКА ВИХРЕВЫХ СТРУКТУР
К ЮГО-ВОСТОКУ ОТ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН
И ВБЛИЗИ ОСТРОВА НАДЕЖДЫ
ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ
С ЯНВАРЯ ПО ДЕКАБРЬ 2018 ГОДА**

О. А. Атаджанова^{1,2}✉, И. Е. Козлов¹, А. А. Коник²

¹ МГИ, Севастополь, Россия

² ИО РАН, Москва, Россия

✉ oksana.atadzhanova@gmail.com

Ключевые слова: вихревые структуры, Баренцево море, радиолокационные изображения, субмезомасштаб, Шпицберген, остров Надежды.

Вихревые структуры разных масштабов активно исследуются в различных районах Мирового океана ввиду характерных для них значительных вертикальных скоростей, что определяет их роль в интенсификации переноса тепла и веществ в районах их частой встречаемости. Наилучшим инструментом для исследования вихрей с пространственным масштабом от сотен метров до первых десятков километров в Арктике являются спутниковые радиолокационные изображения (РЛИ), которые имеют высокое разрешение и качество которых не зависит от облачности. Исследование вихрей Арктического региона по РЛИ ранее проводилось преимущественно в летний период. В данной работе для небольшого региона Баренцева моря к юго-востоку от арх. Шпицберген (73,8°–78,8° с. ш. и 16°–30° в. д.) предпринята попытка описать годовой ход вихревой динамики по радиолокационным изображениям Sentinel-1 с января по декабрь 2018 г.

Всего было проанализировано 3336 РЛИ в режимах съемки IW и EW со средним покрытием около 500 изображений за год на единицу сетки. Регистрировались координаты центра, диаметр, тип вихря (циклонический, антициклонический) и механизм проявления – ледовый, когда в качестве трассера лед, и пленочный/сдвигово-волновой, когда вихри регистрируются на открытой воде. Дополнительно привлекались также данные о концентрации льда (AMSR-2).

В результате было зарегистрировано 1758 вихрей прикромочной ледовой зоны (ПЛЗ) и 1631 вихрь открытой воды (ОВ). Ледовая кромка отмечалась в исследуемом районе с января по июнь 2018 г., а также в ноябре и декабре, с чем и связана регистрация вихрей ПЛЗ только в эти месяцы. При этом с января по март, в период продвижения кромки на юг района, зарегистрировано 62 % всех вихрей ПЛЗ. Чаще всего они отмечались к югу от о. Эдж и у о. Надежды (на каждом втором РЛИ).

Вихри ОВ отмечались весь год за исключением апреля. При этом 87 % зарегистрированных проявлений отмечено с июня по сентябрь. В отличие от вихрей ПЛЗ, вихри ОВ были более распродоточены по акватории и отмечались практически везде. Наибольшая частота встречаемости (проявление на каждом четвертом РЛИ) отмечалась восточнее о. Надежды (между изобатами 100 и 200 м), а также на перепаде глубин восточнее о. Западный Шпицберген, что может быть связано с динамикой Полярной фронтальной зоны.

Для вихрей ОВ и ПЛЗ отмечалось преобладание циклонической-направленности, что характерно и для многих других акваторий, где проводились исследования вихрей с использованием РЛИ. Несмотря на то что диаметр вихрей варьировался от нескольких сотен метров до 40 км, 70 % для вихрей ОВ и 50 % для ПЛЗ имели диаметр до 4 км, что говорит о преобладании субмезомасштабных вихрей.

В целом исследование показало, что вихревые структуры к юго-востоку от арх. Шпицберген регистрируются постоянно на протяжении всего года, при этом чаще всего вблизи о. Надежды и между о. Западный Шпицберген и оконечностью о. Эдж.

Исследование выполнено в рамках темы госзадания № FNNN-2021-0010.

ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ И ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И ДИНАМИКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ТРОПИЧЕСКОЙ АТЛАНТИКИ

М. С. Бабич¹✉, С. Б. Крашенинникова², С. А. Бабич³,
К. В. Артамонова⁴, А. Н. Демидов⁵, Ф. Н. Гиппиус⁵

¹ СевГУ, Севастополь, Россия

² ИнБЮМ, Севастополь, Россия

³ МГИ, Севастополь, Россия

⁴ ВНИРО, Москва, Россия

⁵ МГУ, Москва, Россия

✉ milena.babich.2016@mail.ru

Ключевые слова: температура, соленость, фосфаты, силикаты, кислород, переносы массы.

В работе на основе данных измерений, полученных в 60-м и 63-м рейсах НИС «Академик Иоффе» зимой, осенью 2022 г., анализировались гидрологические (температура, соленость) и гидрохимические (фосфаты, силикаты, кислород) характеристики поверхностных вод западной и восточной частей Тропической Атлантики и проведен их сравнительный анализ. По реанализу Glorys12v1 исследовалась межгодовая динамика и долговременные тенденции изменений термохалинных характеристик и переносов поверхностных водных масс через разрезы в районе Гвианской котловины и разломов Кейн, Романш-Чейн в Тропической Атлантике. Для выделения водных масс принималась специальная методика, учитывающая их изменение не только по горизонтали, но и вертикали. С помощью спектрального анализа были выделены типичные периоды изменчивости переносов, связанные с действием глобальных климатических сигналов.

Работа была выполнена в рамках государственных заданий ФИЦ ИнБЮМ (№ 121041400077-1), МГИ (FNNN-2021-0002), МГУ (№ 121031900090-6). По грантам РФФИ были выполнены анализы переносов (19-17-00110-П) и гидрохимических характеристик (№ 23-17-00032).

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ
ВДОЛЬ ПОБЕРЕЖЬЯ ПРИМОРСКОГО КРАЯ
В 2021–2022 ГОДАХ В АСПЕКТЕ
КЛИМАТИЧЕСКИХ НОРМ**

Л. А. Гайко^{1,2}

¹ *ТОИ ДВО РАН, Владивосток, Россия*

² *Дальрыбвтуз, Владивосток, Россия*

✉ *gayko@yandex.ru*

Ключевые слова: аномалии температуры воды, изменение климата, гидрометеорологические станции, межгодовая изменчивость, Японское море, Татарский пролив.

В работе рассматриваются особенности хода температуры воды вдоль побережья Приморского края в 2021–2022 гг. на фоне климатических норм – 30-летних периодов усреднения климатических показателей, утвержденных Всемирной Метеорологической Организацией (ВМО). Начиная с 1901 г. последовательно были приняты три базовые климатические нормы за периоды 1901–1930, 1931–1960 и 1961–1990 гг. Но в связи с происходящими значительными климатическими изменениями ВМО приняла новый двухуровневый подход к 30-летним базовым нормам для климатических данных. Был принят новый технический регламент оценки оперативных изменений климата: об обновлении климатических норм каждые 10 лет. Так, в 2014 г. для оценки оперативных изменений климата был выбран ряд 1981–2010 гг., а с 1 июля 2022 г. Росгидромет перешел на использование в оперативно-производственной практике климатических норм, рассчитанных за период 1991–2020 гг. Однако период с 1961 по 1990 г. был сохранен как стандартный опорный период для долгосрочной оценки изменения климата. Таким образом, в настоящее время параллельно действуют две нормы – новая оперативная и старая историческая.

Исходным материалом к представляемой работе послужили данные наблюдений за температурой воды с 1961 г. на пяти гидрометеорологических станциях Приморского края: ГМС Посъет,

Владивосток, Находка (юг края), Рудная Пристань и Сосуново (восточное побережье). По среднемесячным значениям температуры воды были рассчитаны все три климатические нормы: базовая (1961–1990) и обе оперативные (1981–2010 и 1991–2020 гг.) для каждого месяца для каждой станции, а затем вычислены аномалии температуры воды за 2021 и 2022 гг. относительно всех трех климатических норм и проведено их сравнение с нормами и между собой. Можно отметить, что для обоих лет в первую половину года температура распределена более-менее равномерно между ГМС, только во Владивостоке и Сосуново она превышает базовую норму на $3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в Рудной Пристани в 2021 г. с февраля по июль отмечены только отрицательные аномалии (до $-2,3\text{ }^{\circ}\text{C}$). Вторая половина года для обоих лет кардинально отличается. В 2021 г. с июля по ноябрь почти на всех станциях отмечаются высокие аномалии (до $5,2\text{ }^{\circ}\text{C}$), только на самом западе района, в Посъете, температура в октябре – ноябре ниже всех норм. В 2022 г. с августа по октябрь почти на всех станциях, особенно в сентябре в Находке и на восточном побережье, наблюдаются отрицательные аномалии (до $-4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$). Наблюдающееся смещение акцентов знаков аномалий температуры воды от года к году свидетельствует об активизации циркуляционных процессов в прибрежной зоне Приморья.

В целом можно отметить, что, независимо от выбранной нормы осреднения, распределения аномалий среднемесячной температуры воды по годам и в течение года значительно различаются. В годовом аспекте на всех станциях относительно всех трех климатических норм отмечены только положительные годовые кумулятивные аномалии температуры воды, преобладающие в 2021 г. При сравнении климатических норм между собой очевидно, что величина норм за последние годы увеличилась, следовательно, повысился общий температурный фон вод данного района, т. е. идет процесс потепления климата.

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ ДАТЧИКА XIAN

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

МГИ, Севастополь, Россия
✉ gaysky@inbox.ru

Ключевые слова: гидростатическое давление, измерительный канал, глубина, датчик XIAN.

С использованием доступных и бюджетных по стоимости датчиков китайского производства были разработаны измерительные каналы гидростатического давления для различных гидрологических приборов, включая распределенные термопрофилеры, модули давления и биоэлектронные комплексы.

В рамках экспериментальных работ по исследованию прибрежных сгонно-нагонных явлений, сопровождающихся внутренними волнами и изменениями вертикальных профилей плотности, был создан экспериментальный измеритель гидростатического давления. В его основе использовался датчик относительного давления пьезорезистивного типа XIAN CHINASTAR PT1200 0,5 % F.S с термокомпенсацией из нержавеющей стали, рассчитанный на работу до глубины 50 м.

Разработанный электронный модуль измерителя обеспечивает работу в автономном и телеметрическом режимах. Измерительный канал обеспечивает разрешение по глубине менее 1,5 мм.

С помощью измерителя проведен ряд натурных и лабораторных экспериментов, в рамках которых оценивались метрологические характеристики датчика, а также возможности его использования в бюджетных гидрологических комплексах и для анализа волновых процессов на малых глубинах в условиях термоклина и изменения вертикального профиля плотности.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ МОБИЛЬНОГО ПОГРУЖНОГО КОМПЛЕКСА БИОМОНИТОРИНГА НА ОКЕАНОГРАФИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЕ

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

МГИ, Севастополь, Россия

✉ gaysky@inbox.ru

Ключевые слова: биомониторинг, двустворчатый моллюск, биосенсор, биоиндикатор загрязнений, мидия.

Биоэлектронные комплексы оперативного экологического контроля загрязнений прибрежных морских и пресноводных акваторий на базе реакций створочной активности двустворчатых моллюсков могут использоваться как в долгосрочном стационарном режиме, так и в режиме кратковременных экспериментов. Необходимо изучение их эффективности в случае автономной установки с учетом региональных физических и биохимических факторов.

В течение шести месяцев на океанографической платформе в пгт Качивели (Крым) проводились испытания разработанного малогабаритного мобильного биоэлектронного измерителя, установленного на глубине 10 м. Информация о створочной активности восьми моллюсков-биосенсоров (мидий), установленных на приборе, регистрировалась на бортовой компьютер в телеметрическом режиме.

Проводился анализ работоспособности прибора в условиях сезонного обрастания, штормовых условий и изменения температуры. С помощью разработанного специализированного программного обеспечения оценивалась общая активность моллюсков, суточные циклы, особенности летальности и воздействий природного характера.

Разработаны дополнительные рекомендации по использованию подобного рода индикаторных систем для общего интегрального экологического состояния прибрежной среды регионального характера.

ШТОРМОВОЕ ВОЛНЕНИЕ В РАЙОНЕ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА ПО 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 Качивели), проводился гидрометеорологический мониторинг (высота 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 с перерывами в течение 11 лет с 2011 по 2021 г. За весь период наблюдений было накоплено и обработано более 49 000 волнограмм с продолжительностью от 20 мин до 60 мин.

Волновые данные прошли контроль качества с отбраковкой ненадежных фрагментов. В данной работе высота значительных волн (H_3) определялась как четыре величины среднеквадратического отклонения возвышения уровня. 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 пгт Качивели, для получения статистических характеристик штормового ветрового волнения, описывающих волновой режим в прибрежной части ЮБК в 2011–2021 гг.

Проведены расчеты и оценены как режимные, так и максимальные характеристики параметров волнения.

Получено, что:

- среднемесячная высота значительных волн в летние месяцы составляет примерно 0,39 м, в зимние месяцы – 0,78 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 ($0,1 \text{ м} < H_s < 0,5 \text{ м}$), в зимние месяцы легкое волнение ($0,5 \text{ м} < H_s < 1,25 \text{ м}$);


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

Исследование выполнено в рамках тем государственного задания № FNNN-2021-0002, № FNNN-2021-0005, Соглашение № 169-15-2023-002 от 01.03.2023 г.

МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛЯ КОСВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОЛЕННОСТИ МОРСКОЙ ВОДЫ *IN SITU*

А. Н. Греков , Н. А. Греков, Е. Н. Сычев

ИПТС, Севастополь, Россия

 *i@angrekov.ru*

Ключевые слова: проводимость, скорость звука, плотность, показатель преломления.

Соленость относится к тем параметрам морской воды, которые прямо измерить в условиях среды на месте пока невозможно. В работе методами прямых и обратных задач метрологии рассчитаны оценки требований к точности сенсоров океанографических зондов при косвенном определении практической и абсолютной солености с заданной точностью.

Указанные задачи решены для четырех принципиально возможных методов расчетного (косвенного) определения солености морской воды по физическим характеристикам: 1) относительной электропроводности; 2) скорости звука; 3) плотности и 4) показателю преломления.

Посредством решения прямых задач рассчитаны коэффициенты чувствительности для солености по каждому из входных параметров каждого метода (всего 13 коэффициентов). Посредством решения обратных задач по максимальным значениям коэффициентов чувствительности и принятому условию равномерного распределения суммарной неопределенности солености рассчитаны оценки точностей сенсоров входных параметров при косвенном определении солености для каждого из методов (всего 13 величин).

Показано, что точности (неопределенности) существующих и используемых в зондах сенсоров являются недостаточными для получения результатов определения практической и абсолютной солености с точностью (неопределенностью) в 0,002 епс и 0,002 г/кг соответственно.

ВОДНЫЙ, ТЕПЛОВОЙ И СОЛЕВОЙ БАЛАНС ПЕЧОРСКОГО МОРЯ

Д. В. Дешова , С. М. Гордеева

РГГМУ, Санкт-Петербург, Россия

 *ya.deshova-diana@yandex.ru*

Ключевые слова: водообмен, водный баланс, тепловой баланс, солевой баланс, взаимодействие с атмосферой, Печорское море, Карские Ворота.

Печорское море расположено на юго-востоке Баренцева моря, но, несмотря на это, по своим характеристикам оно сильно отличается от последнего. Район подвержен влиянию многих динамических процессов и характеризуется поступлением различных типов водных масс.

Цель исследования – оценка компонентов водного, теплового и солевого балансов объема Печорского моря.

На основе среднемесячных данных реанализов CMEMS GLORYS12V1 и ERA5 за период 1993–2018 гг. рассчитаны расход воды, потоки тепла и соли на границах Печорского моря (по долготе 50° в. д. на западе, широте 71° с. ш. на севере и в проливе Карские Ворота), а также сделаны оценки характеристик взаимодействия с атмосферой. При многолетнем усреднении весь проходящий через границы со стоком р. Печора и осадками объем вод ($0,52$ Св) практически равен испарению, уходу через границы акватории и изменению объема за счет уровня моря ($0,53$ Св). Избыток тепла, поступающего в акваторию Печорского моря с трансформированной североатлантической водой вследствие водообмена с соседними регионами ($7,08$ ТВт), почти полностью компенсируется расходом за счет взаимодействия с атмосферой ($7,12$ ТВт, где уход через границы $5,25$ ТВт и уход в атмосферу $1,86$ ТВт). Невязка в тепловом балансе может возникать из-за неучета тепла, приходящего с атмосферными осадками и ледообразованием. Также дополнительным источником тепла в Печорском море является речной сток, но влияние теплового стока р. Печора почти не распространяется дальше Печорской губы.

В балансе соли наблюдается невязка в поступлении за счет адвекции из соседних акваторий (18,05 кт/с) и уходе (17,82 кт/с) через границы Печорского моря. Невязка может быть связана с материковым стоком пресных вод, атмосферными осадками, процессами испарения и ледообразования, которые не учитывались.

Невязки, полученные в ходе расчетов балансов, малы и составляют для водного баланса – 1,63 %, теплового – 0,56 % и солевого – 1,27 %.

В целом в регионе все виды балансов выполняются с достаточной точностью. Это может говорить о том, что используемые для расчетов (независимые друг от друга) источники данных достаточно хорошо сбалансированы между собой даже при оценке малого региона и адекватно отражают картину происходящих здесь физических процессов.

За период 1993–2018 гг. объемный расход воды, тепла и соли на акватории Печорского моря имеет значимые положительные тренды, которые формируются в большей степени адвективными составляющими. Увеличение атлантической воды, поступающей в регион с Колгуево-Печорским течением, вместе с положительными трендами потоков тепла и соли в Карских Воротах указывает на возрастание транзита североатлантических вод через бассейны Печорского моря в Карское море.

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ УРОВЕННОГО РЕЖИМА АКВАТОРИИ ПОРТА НА ПАРАМЕТРЫ ВОЛНЕНИЯ В МЕЛКОВОДНОЙ ЗОНЕ

Т. В. Долгушев

НИУ МГСУ, Москва, Россия
✉ *dolgushew@yandex.ru*

Ключевые слова: климатические изменения, гидротехнические сооружения, трансформация волн, порт, оградительный мол.

В связи с наблюдаемыми климатическими изменениями происходит улучшение условий судоходства и увеличение

длительности навигации по всей трассе Северного морского пути в бассейнах Северного Ледовитого и Тихого океанов. В связи с этим Правительство РФ одобрило ряд документов, подразумевающих начало ряда крупных проектов по освоению ресурсного потенциала Арктического региона, включая шельфовую зону.

Добыча минерально-сырьевых ресурсов в Арктическом регионе является сложной и многоплановой задачей и требует организации доставок значительного объема добываемого сырья из труднодоступных регионов нашей страны. Для рассматриваемого региона наиболее рациональным является организация перевозок с помощью судов арктического класса с использованием при необходимости ледакольной проводки.

В связи с этим начато активное развитие существующих и строительство новых портовых гидротехнических сооружений в рассматриваемых бассейнах. Однако помимо положительного влияния климатических изменений на условия судоходства в регионе также стоит отметить отсутствие нормативных требований по учету при проектировании портовых гидротехнических сооружений роста уровня режима акватории, обусловленного климатическими изменениями.

Наблюдения за глобальным средним уровнем моря, в том числе за последние 30 лет с помощью спутников, позволяют сделать вывод о наличии устойчивого положительного тренда к повышению уровня моря. Модельные прогнозы, представленные в 6-м оценочном докладе ИРПС, позволяют утверждать, что в период жизненного цикла портовых гидротехнических сооружений, составляющий 100 лет, будет наблюдаться продолжение повышения уровня моря с большей скоростью, чем в настоящее время. Для ряда портов в Арктическом регионе рост уровня моря превысит 120 см (при сценарии SSP5-8.5 (50 квантиль)).


В связи с этим автор данной работы произвел исследование влияния климатических изменений уровня режима акватории порта на параметры расчетной волны обеспеченностью 1 % в системе волн расчетного шторма. Доказано, что повышение уровня акватории приведет к смещению створа начала трансформации волн ближе к проектной береговой черте. Смещение

створа начала мелководной зоны приведет к меньшей трансформации волн до подхода к гидротехническому сооружению и, следовательно, росту высоты волны для заданной точки акватории.


Учет рефракции приводит к дополнительному повышению высоты волны при всех случаях, кроме $\frac{(k_l + \Delta k_l) \cdot (k_t + \Delta k_t) \cdot (k_r + \Delta k_r)}{k_l \cdot k_t \cdot k_r} < 1$, который возможен при значении коэффициента рефракции в акватории более 1 на момент проектирования портового гидротехнического сооружения (выпуклость рельефа береговой линии, например в области мыса).

Результаты обработки множественных вариаций расчетных волн (87 200 случаев, в каждом по 5000 точек) позволили установить, что рост высоты волны будет тем большим, чем более пологим будет дно и чем меньшей будет скорость ветра в расчетном шторме. Установлено, что при $d > d_{cr}$, $i \in [0,001; 0,2]$, $\Delta d \in [0,25; 2,00]$ и $V_w \in [5; 50]$ максимальное изменение высоты волн составит от $\approx 0,69$ до $\approx 23,93$ % при максимальном рассматриваемом повышении уровня моря в 2 м и от $\approx 0,11$ до $\approx 9,97$ % для минимального рассматриваемого повышения уровня моря в 0,25 м.

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СКОРОСТИ В РАЗНЫХ СЛОЯХ ЧЕРНОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ARGO

Е. В. Жук , Н. В. Маркова

МГИ, Севастополь, Россия

 *alenixx@gmail.com*

Ключевые слова: Черное море, данные ARGO, скорость, циркуляция, течения, Банк океанографических данных, ГИС.

На основе данных буев-профилемеров ARGO за 2005–2022 гг. в Черном море рассчитаны скорости их перемещения на парковочных глубинах. Выполнены оценки скоростей дрейфа буев в слоях 150–250, 350–600, 600–850, 850–1200 и 1200–1600 м, характеризующие течения, переносящие буи. Рассчитаны статистические параметры полученных полей, показаны особенности

пространственного распределения векторов скорости. Работа проводилась с использованием разработанного для ГИС «Черное море» модуля доступа и визуализации данных буев ARGO.

Обработка данных позиционирования, профилирования и фактической глубины дрейфа для каждого из 42 рассмотренных буев позволила уточнить значения средней скорости по сравнению с ранее опубликованными работами, показать вероятные особенности поля течений. На более полном массиве данных ARGO показано зимнее увеличение скоростей в акватории Черного моря, связанное с сезонным усилением ветровой нагрузки и выраженное как в верхнем из рассмотренных слоев, так и на нижележащих горизонтах. В частности, установлено, что в зимний период на глубинах более 850 м средние скорости могут возрастать в 1,5–2 раза относительно летних значений (с 3–4 до 6 см/с), а в средние скорости в слое 350–600 м могут увеличиваться в 2–2,5 раза и имеют четкий максимум в феврале – марте.

Работа по разработке и внедрению программного модуля для ГИС «Черное море» выполнена в рамках госзадания ФГБУН ФИЦ МГИ по теме № FNNN-2021-0003. Анализ особенностей течений проведен при поддержке гранта РФФ № 22-17-00150.

ВЛИЯНИЕ ПОДВОДНОГО ХРЕБТА НА ПЕРЕМЕЩЕНИЕ АНТИЦИКЛОНИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ НАД НАКЛОННЫМ ДНОМ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТОПОГРАФИЧЕСКОГО БЕТА-ЭФФЕКТА (ЛАБОРАТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ)

А. Г. Зацепин , Д. Н. Елкин

ИО РАН, Москва, Россия

 *zatsepin@ocean.ru*

Ключевые слова: вращающаяся жидкость, наклонное дно, топографический бета-эффект, баротропные и бароклинные вихри, «западный» дрейф, влияние хребта.

При наблюдениях за эволюцией Севастопольского антициклонического вихря в Черном море, перемещающегося вдоль изобат

над континентальным склоном в юго-западном направлении, было обнаружено, что движение вихря замедляется в области подводного хребта, образованного локальным поднятием рельефа дна между двумя каньонами – палеоруслом Дуная и палеоруслом Западного Днепра. В связи с этим была поставлена задача лабораторного экспериментального исследования влияния подводного хребта, расположенного на наклонном дне и направленного вдоль склона, на антициклонические вихри, перемещающиеся вдоль изобат за счет топографического бета-эффекта.

Эксперимент производился в цилиндрическом бассейне, размещенном в центре однометровой, вращающейся против часовой стрелки платформе, в который был вставлен вписанный конус вершиной вверх. Перед началом опыта бассейн заполнялся однородной по плотности (солености) водой таким образом, что вершина конуса находилась под поверхностью воды. Угол между образующей конуса и горизонталью составлял 15 градусов. Антициклонические вихри создавались с помощью локального источника постоянного расхода воды той же плотности, что в бассейне (баротропные вихри), или меньшей плотности (солености) (бароклинные вихри), расположенного на поверхности водного слоя на расстоянии половины радиуса бассейна от его центра. Создаваемые вихри под действием топографического бета-эффекта дрейфовали вдоль изобат в «западном» направлении («север» – вершина конуса в центре бассейна). Процесс формирования вихрей у источника и их дрейфа снимался на видеокамеры, расположенные на вращающейся платформе над бассейном и сбоку от него. Вода в источнике подкрашивалась, а по поверхности водного слоя рассыпались мелкие бумажные пелетки, видеосъемка перемещения которых позволяла определить скорость орбитального вращения воды в вихрях.

Опыты проводились при постоянных значениях угловой скорости вращения платформы и уровня жидкости в бассейне, а также расхода источника. От опыта к опыту изменялась лишь соленость воды в бассейне. Подкрашенная вода в источнике была пресной. Одна серия опытов проводилась над гладкой поверхностью конуса, другая – при наличии хребта, расположенного на пути дрейфа вихрей. Высота хребта составляла от 0,1 до 0,14 толщины водного слоя.

Оказалось, что в опытах с хребтом дрейф вихрей, как баротропных (пресная вода в бассейне), так и бароклинических (соленая вода в бассейне), существенно замедлялся. Кроме того, после пересечения хребта значительно уменьшалась орбитальная скорость вращения воды в вихрях. В докладе будут представлены количественные зависимости скорости дрейфа вихрей и их орбитальной скорости от времени в опытах с хребтом и без него в размерном и безразмерном виде. В целом результаты эксперимента подтвердили натурные наблюдения о влиянии подводного хребта на процесс распространения и орбитальную скорость севастопольских вихрей.

Работа выполнена в рамках темы госзадания FMWE-2021-0002 и при поддержке гранта РФФИ №21-77-10052.

ЭВОЛЮЦИЯ НЕФРОНТАЛЬНЫХ ВИХРЕЙ В ДВУСЛОЙНОЙ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ЖИДКОСТИ НАД ГЛАДКИМ, ШЕРОХОВАТЫМ И НАКЛОННЫМ ДНОМ (ЛАБОРАТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ)

А. Г. Зацепин , Д. Н. Елкин

ИО РАН, Москва, Россия

 *zatsepin@ocean.ru*

Ключевые слова: вихри открытого океана, лабораторное моделирование, двуслойно-стратифицированная вращающаяся жидкость, бароклиническая неустойчивость, вязкое вырождение, гладкое дно, шероховатое дно, наклонное дно.

Одной из важных структурных форм организации движения вод океана являются мезомасштабные бароклинические вихри. Образование этих вихрей происходит под действием различных механизмов, включающих в себя влияние топографических и орографических неоднородностей на океанские течения, пространственно-неоднородное воздействие ветра, а также бароклиническая

неустойчивость стратифицированных по плотности течений, характеризующихся наличием вертикального градиента скорости. Последний из указанных механизмов считается наиболее распространенным. При этом в результате бароклинной неустойчивости струйных фронтальных течений (Гольфстрим, Куроисио и другие), образуются «вихри с ядром» или «фронтальные вихри – ринги», которые содержат в себе воду с термохалинными характеристиками, отличными от окружающих их вод. Эта вода захватывается ими при образовании из меандров течения и переносится с одной стороны фронта на другую. Наряду с фронтальными вихрями вследствие бароклинной неустойчивости образуются и так называемые вихри открытого океана. Эти вихри не имеют внутри себя ядра инородных вод и представляют собой единую водную массу с окружающими водами.

По непонятной причине в лабораторных экспериментах в стратифицированной вращающейся жидкости до сих пор создавались и изучались только фронтальные вихри. В данной работе путем лабораторного моделирования выявляются закономерности эволюции (бароклинной неустойчивости и/или вязкого вырождения) мезомасштабных нефронтальных бароклинных вихрей, или вихрей открытого океана.

Опыты проводились в двуслойно-стратифицированной по солености водной среде в бассейне, расположенном на вращающейся платформе. С помощью оригинального применения «метода цилиндра» создавались одиночные осесимметричные циклонические и антициклонические вихри в верхнем слое и прослеживалась их эволюция на протяжении 100 и более периодов вращения платформы (лабораторных суток). Установлено, что вихри теряют устойчивость, если значение определяющего параметра, представляющего отношение чисел Бюргера и Фруда, меньше критического. При этом вихри либо разваливаются на два или более вторичных вихрей (сильная неустойчивость), либо приобретают вытянутую форму (слабая неустойчивость). Наклон дна и его шероховатость увеличивают устойчивость вихрей. При значениях определяющего параметра больше критического вихри являются устойчивыми и постепенно вырождаются за счет


вязкого трения. В случае большого перепада солености (плотности) между слоями шероховатость дна не оказывает существенного значения на скорость затухания вихрей, которая, по-видимому, определяется трением в верхнем слое. Предложена параметризация, описывающая экспоненциальный закон затухания вихрей, которая использована для натуральных условий на примере черноморского мезомасштабного вихря.

Работа выполнена в рамках темы госзадания FMWE-2021-0002 и при поддержке гранта РФФ № 21-77-10052.

АПВЕЛЛИНГИ И ДАУНВЕЛЛИНГИ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ МЕЗОМАСШТАБНОЙ ДИНАМИКОЙ ВОД В ШЕЛЬФОВО-СКЛОНОВОЙ ЗОНЕ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

А. Г. Зацепин , О. И. Подымов

ИО РАН, Москва, Россия

 *zatsepin@ocean.ru*

Ключевые слова: Черное море, шельфово-склоновая зона, меандрирование ОЧТ, мезомасштабные вихри, квазигеострофические апвеллинги и даунвеллинги.

На основе анализа данных долговременных совместных измерений вертикальных распределений температуры, плотности и скорости течения на акватории полигона «Геленджик» в северо-восточной части Черного моря показано, что квазипериодические апвеллинги и даунвеллинги на шельфе и верхней части континентального склона связаны главным образом с изменениями направления и силы вдольберегового течения и геострофическим приспособлением поля плотности к полю скорости (геострофические апвеллинги и даунвеллинги).

Основной причиной таких изменений скорости вдольберегового течения является меандрирование Основного Черноморского течения (ОЧТ) и образования антициклонических вихрей

в меандрах соответствующего знака. Циклонические и антициклонические меандры медленно перемещаются с юго-востока на северо-запад. Вследствие этого в точке наблюдения на шельфе или в верхней части континентального склона возникает квазипериодическая ротация направления вдольберегового течения с северо-западного (циклонический меандр ОЧТ) на юго-восточное (антициклонический меандр ОЧТ, или антициклонический мезомасштабный вихрь). Полный период этой ротации (колебания) в среднем составляет около 10 суток. На фазе северо-западного течения перманентный пикно-халоклин (пикноклин) и сезонный термоклин (термоклин) опускаются (фаза даунвеллинга), что приводит к увеличению их толщины и толщины верхнего квазиоднородного слоя (ВКС). На фазе юго-восточного течения пикноклин и термоклин поднимаются (фаза апвеллинга) и сжимаются по вертикали, уменьшается также толщина ВКС.

Установлены статистически значимые линейные корреляционные зависимости вертикальных смещений изопикн и изотерм от скорости вдольберегового течения, которые позволяют оценивать величину апвеллинга или даунвеллинга в шельфово-склоновой зоне северо-восточной части Черного моря по данным измерений профиля скорости течения в верхней части континентального склона, на внешнем и внутреннем шельфе. Оценены значения амплитуды вертикальных смещений изопикн в пикноклине и изотерм в термоклине, показана их квазисинфазность.

Важным общим следствием геострофического апвеллинга является приближение сезонного термоклина к поверхности моря, благодаря чему интенсивное воздействие ветра любого направления будет вызывать значительное турбулентное вовлечение термоклинных вод в ВКС, способствовать его охлаждению и обогащению биогенными элементами. Результатом этого может быть повышенная первичная продуктивность. Таким образом, совпадение сильного ветра и геострофического апвеллинга должно оказывать синергетическое воздействие на первичную продуктивность прибрежной экосистемы.

Вертикальные колебания изопикн и связанные с этим изменения в положении нижней границы кислородной зоны (15.85 кг/м^3) и верхней границы сероводородной зоны (16.15 кг/м^3), по-видимому, оказывают влияние на структуру

биологических сообществ и глубину распространения бентоса, поскольку основным фактором, определяющим его структуру на глубинах 80–150 м, является длительность периодов гипоксии, которая может сокращаться за счет геострофических даунвеллингов на синоптическом временном масштабе.

Работа выполнена в рамках темы госзадания FMWE-2021-0002 и при поддержке гранта РФФ № 23-17-00056.

МАЛЫЕ ВИХРЕВЫЕ СТРУКТУРЫ В КАРСКОМ МОРЕ ПО ДАННЫМ SENTINEL-1A/B ЗА АВГУСТ 2015–2021 ГОДОВ

А. В. Зимин^{1,2}✉, А. А. Коник¹

¹ ИО РАН, Москва, Россия

² СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

✉ zimin2@mail.ru

Ключевые слова: статистические характеристики вихрей, субмезомасштаб, Карское море.

Малые (субмезомасштабные) вихри играют существенную роль в интенсификации перемешивания, переносе тепла и взвешенных веществ. Увеличение площади, свободной ото льда, в морях Арктики и запуск новых спутниковых систем повлекли за собой рост числа их исследований в морях Северного Ледовитого океана, в частности Карском море. Большинство более ранних работ были направлены на оценку внутрисезонной изменчивости характеристик вихрей, в то время как их изменчивость на многолетнем интервале ранее не рассматривалась, что и стало целью текущего исследования.

Регистрация проявлений субмезомасштабных вихрей и основных параметров (координаты центра, тип вращения и диаметры) выполнялась на основе анализа высокоразрешающих радиолокационных изображений (РЛИ) Sentinel-1A/B за август 2015–2021 гг. Для оценки возможных причин изменчивости характеристик и понимания преобладающих механизмов генерации

вихревых структур привлекались характеристики ветра, площади льда, толщины перемешанного слоя, колебаний уровня моря и параметров стоковой фронтальной зоны.

Всего было зарегистрировано более 6500 проявлений вихревых структур средним диаметром 3 км. Максимальная встречаемость вихрей наблюдалась западнее и северо-западнее п-ва Ямал, в области стоковой фронтальной зоны и вблизи устьев рек Оби и Енисея. Подтверждено преобладание циклонических вихрей над антициклоническими во все годы. Отмечено значительное изменение средних диаметров. Выявлено, что во все годы максимальное число проявлений вихрей регистрировалось над неровностями дна на шельфе при малых скоростях ветра во время сизигийного прилива. Однако для подтверждения полученных результатов необходим подспутниковый эксперимент.

Исследование выполнено в рамках госзадания № FMWE-2021-0014.

МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК АПВЕЛЛИНГА В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

М. В. Капустина ✉, **А. В. Зимин**

ИО РАН, Москва, Россия

✉ *kapustina.mariya@ya.ru*

Ключевые слова: прибрежный апвеллинг, межгодовая изменчивость, Юго-Восточная Балтика.

Исследование локальной динамики прибрежной зоны, одним из элементов которой является прибрежный апвеллинг, является важным аспектом в разработке научно обоснованных стратегий мониторинга и оценке влияния происходящих глобальных климатических изменений на характеристики вод у побережья Калининградской области, активно используемой в рекреационных целях.

События апвеллинга в юго-восточной части Балтийского моря за июнь – август 2000–2019 гг. определялись по данным физического реанализа Балтийского моря (CMEMS Baltic Sea Physical Reanalysis) как наличие ячеек отрицательной аномалии температуры поверхности моря (ТПМ) у берега относительно района открытого моря. По разнице между минимальными значениями температуры, отмеченными в зоне апвеллинга, и среднесуточными, рассчитанными в квадрате в мористой части района исследования (далее – максимальная разница, МР), помесечно и за сезон оценивалась интенсивность апвеллинга (величина отрицательной аномалии ТПМ).

Показано, что в дни с апвеллингом средняя за 2000–2019 гг. МР составила 3,3 °С за летний сезон: в июне – 3,9 °С, июле – 3,3 °С, августе – 2,9 °С. В более чем 60 % дней с апвеллингом МР составила более 2 °С, в 38 % – более 3 °С, в 25 % дней с апвеллингом – более 4 °С. МР более 10 °С была отмечена в течение 17 дней. Максимальное падение температуры (более 14 °С) наблюдалось в ходе продолжительного апвеллинга июля – августа 2006 г. (16–17 июля и 8–9 августа 2006 г.). В июне наибольшая МР составила 9,9 °С (в 2002 г.), в июле – 14,7 °С (в 2006 г.), в августе наибольшая МР наблюдалась также в 2006 г. и составила 14,6 °С.

Наибольшая средняя за все дни апвеллинга МР наблюдалась в ходе апвеллингов июня 2002 г. (около 7,4 °С), июня – июля 2018 г. (около 6,8 °С) и июля – августа 2006 г. (около 6,5 °С). Максимальные площади апвеллингов (более 5000 км²) были отмечены в июне 2008, 2016 гг., июле 2010 г. и июле – августе 2002 и 2006 гг. Наименьшие МР составили около 1 °С и были отмечены в июне 2007, июле 2000, 2016 и 2019 гг.

В 2000–2009 гг. средняя за все дни апвеллинга МР составила 3,6 °С, в 2010–2019 гг. – 2,9 °С, что подтверждает тенденцию уменьшения повторяемости апвеллингов во втором десятилетии, отмеченную ранее.

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

СТРУКТУРА И ДИНАМИКА КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В ПРОЛИВЕ КАРСКИЕ ВОРОТА ПО ДАННЫМ МУЛЬТИСЕНСОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

И. Е. Козлов ¹✉, И. О. Копышов ^{1,2}, Д. И. Фрей ^{1,3},
Е. Г. Морозов ^{1,3}, И. П. Медведев ³, К. П. Сильвестрова ³,
Д. М. Соловьев ¹, Е. В. Плотников ¹, В. Р. Жук ¹,
П. В. Гайский ¹, А. А. Осадчиев ^{2,3}, Н. Б. Степанова ^{2,3}

¹ МГИ, Севастополь, Россия

² МФТИ, Долгопрудный, Россия

³ ИО РАН, Москва, Россия

✉ ik@mhi-ras.ru

Ключевые слова: короткопериодные внутренние волны, Карские Ворота, дистанционное зондирование океана, натурные измерения, Арктика.

В настоящей работе выполнен анализ пространственной структуры и кинематических характеристик короткопериодных внутренних волн (КВВ), образующихся в проливе Карские Ворота. Основной для анализа послужили исторические (2007–2011 гг.) и относительно недавние (2021 г.) спутниковые радиолокационные изображения, дополненные оптическими наблюдениями за состоянием морской поверхности с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) и вертикальными профилями температуры и солёности, полученными в ходе 58-го рейса НИС «Академик Иоффе» в августе 2021 г. в рамках «Плавучего университета» МФТИ / ИО РАН.

В ходе анализа исторических спутниковых данных была получена пространственная картина генерации и распространения пакетов КВВ в проливе. Анализ контактных измерений позволил определить вертикальную структуру, фазовую скорость и направление распространения КВВ в проливе в разные фазы прилива. В момент измерений и в южной, и в северной частях пролива наблюдались пакеты КВВ, распространявшихся на северо-восток с фазовой скоростью около 0,8–0,9 м/с. Значения

числа Фруда в момент измерений были сверхкритическими, что объясняет распространение КВВ в направлении основного потока. Само по себе образование пакетов КВВ, по-видимому, происходит в транскритическом режиме при обтекании стратифицированным потоком крайне неоднородного рельефа дна в проливе. Наиболее интенсивные колебания изотерм до 40 м наблюдались после максимального отливного течения.

Оценки фазовой скорости нелинейных внутренних волн на основе различных моделей в рамках двуслойного приближения показали, что наиболее адекватные значения дает К-дВ модель для мелкой воды. Согласно оценке по модели Osborne, Burch [1] полная энергия внутренних волн на единицу длины волнового пакета для наиболее интенсивных КВВ высотой 30-40 м достигает 1,8 МДж/м.

Настоящая работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 21-17-00278 (анализ БПЛА и контактных измерений для оценки вертикальных характеристик и фазовой скорости КВВ), а также в рамках государственного задания по темам № FNNN-2021-0010 (анализ спутниковых данных для оценки пространственных характеристик КВВ).

Список литературы

1. *Osborne A. R., Burch T. L.* Internal solitons in the Andaman Sea // *Science*. 1980. Vol. 208, iss. 4443. P. 451–460. doi:10.1126/science.208.4443.45

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК СУБМЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ БЕРИНГОВА МОРЯ И КУРИЛО-КАМЧАТСКОГО РЕГИОНА С ИЮНЯ ПО СЕНТЯБРЬ 2020–2021 ГОДОВ

А. А. Коник ¹✉, А. В. Зимин ^{1,2}, О. А. Атаджанова ^{1,3},
К. А. Круглова ¹

¹ ИО РАН, Москва, Россия

² СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

³ МГИ, Севастополь, Россия

✉ konikrshu@gmail.com

Ключевые слова: статистические характеристики вихрей, субмезомасштаб, шельф Курило-Камчатского региона, Берингово море.

Спутниковые изображения высокого разрешения являются источником сведений о поверхностных проявлениях субмезомасштабных вихревых структур (с пространственным масштабом от сотен метров до десятка километров). Для таких вихрей характерна значительная вертикальная скорость, сопоставимая с прибрежными апвеллингами, благодаря чему эти структуры могут играть важную роль в рыбном промысле в Дальневосточных морях России. Однако информация о районах частой регистрации этих структур, сезонной и межгодовой изменчивости в промысловых районах, таких как Берингово море и Курило-Камчатский регион, на сегодняшний день носит отрывочный характер. Получение и уточнение таких оценок является основной целью данного исследования.

Регистрация проявлений субмезомасштабных вихрей и основных параметров (координаты центра, тип вращения и диаметры) выполнялась на основе анализа высокоразрешающих радиолокационных изображений (РЛИ) Sentinel-1A/B с июня по сентябрь за два года (2021–2022 гг.). Дополнительно привлекались данные о ветровых условиях продукта ERA5 и оптические изображения видимого диапазона спутника MODIS/Aqua для детектирования мезомасштабных вихрей.

В рамках проведенной работы установлено, что на поверхности за рассматриваемый период было зарегистрировано 1704 проявления, средний диаметр которых составил 3,2 км. Показано, что топографический механизм является преобладающим для генерации малых вихрей в северной мелководной части Берингова моря, а на шельфе тихоокеанского побережья Камчатского полуострова они возникают в результате интенсивной мезомасштабной динамики. Установлено, что вихри вблизи Камчатского полуострова чаще всего регистрировались при малых скоростях ветра и течений, однако для более подробного исследования необходима оценка их многолетней изменчивости.

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

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛЯ ПАКЕТОВ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В ЛЕТНЕ-ОСЕННИЙ ПЕРИОД 2021 ГОДА В КАРСКОМ МОРЕ ПО РЛИ

И. О. Копышов^{1,2}✉, **И. Е. Козлов**¹

¹ МГИ, Севастополь, Россия

² МФТИ, Долгопрудный, Россия

✉ kopyshov.io@phystech.edu

Ключевые слова: Карское море, внутренние волны, короткопериодные внутренние волны, спутниковые радиолокационные изображения, баротропный прилив.

В настоящей работе представлены результаты обработки наблюдаемых поверхностных проявлений пакетов короткопериодных внутренних волн (КВВ) на радиолокационных изображениях Sentinel-1A/B в Карском море в июле – сентябре 2021 г. Всего на 550 спутниковых снимках обнаружено 750 пакетов КВВ.

Приведены статистики встречаемости, направления распространения и пространственные распределения основных характе-

ристик пакетов КВВ по различным районам в исследуемой акватории. Проведен корреляционный анализ между характеристиками поверхностных проявлений и баротропного прилива по данным Arc5km2018. Была сделана попытка произвести районирование акватории моря и выделить области влияния основных очагов генерации пакетов КВВ по результатам текущего анализа и уже известных работ.

НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ОБРУШЕНИЙ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН

А. Е. Кориненко , В. В. Малиновский

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

Ключевые слова: обрушения ветровых волн, морские натурные исследования, распределение длин обрушений, подобие обрушений, скорость роста линейных размеров обрушения.

Обрушение волн на морской поверхности представляет собой сложное гидродинамическое явление. За время эволюции пенная структура проходит целую гамму промежуточных состояний – от вскипающего буруна до распадающегося эмульсионного слоя. Исследование различных свойств пенных структур позволяет провести определенные упрощения в численных моделях или сделать выводы о возможных причинах тех или иных физических процессов. Например, в явлениях газообмена и собственного микроволнового излучения морской поверхности наиболее важна «пассивная» фаза. Детальное описание временной эволюции геометрических размеров пенных структур в «активной» фазе необходимо для расчета диссипации волновой энергии гравитационных волн при их обрушении, развития дистанционных методов исследований морской поверхности.

В данной работе, основанной на оптической регистрации морской поверхности, акцент сделан на исследовании эволюции размеров барашка.

Целью работы является изучение связи параметров обрушающейся волны с меняющимися во времени геометрическими характеристиками барашков для развития волновых моделей и совершенствования дистанционных методов диагностики морской среды.

Натурные исследования характеристик обрушений проводились со стационарной океанографической платформы, расположенной в 500 м от берега в районе пгт Кацивели. Определение геометрических размеров обрушений в активной фазе, скоростей их движения осуществлялось по видеозаписям морской поверхности. В результате обработки последовательностей видеок кадров сформированы массивы длин гребней, ширины и площадей пенных структур, изменяющихся во времени. Одновременно с видеозаписями регистрировалась метеорологическая информация.

Экспериментально установлена не зависящая от ветровых и волновых условий связь геометрических размеров барашка с длиной обрушающейся волны: 1) средняя ширина обрушения пропорциональна длине обрушающейся волны; 2) средняя площадь – квадрату длины несущей волны. Значения этих отношений равны 0,03 и 0,002 соответственно, что подтверждает геометрическое подобие обрушений. Показано, что длина и ширина индивидуального барашка увеличиваются с постоянной скоростью, значение которой определяется масштабом обрушающейся волны. Геометрические характеристики обрушений, нормированные на длину обрушающейся волны, линейно зависят от безразмерного времени и не зависят от масштабов и скоростей обрушающихся волн. Для расчета доли морской поверхности, покрытой пеной, использовалось распределения длин обрушений. Показано, что с учетом коэффициента 0,1 значения натурных данных удовлетворительно согласуются с расчетами по модели, предложенной О. М. Филлипсом.

Настоящее исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-17-00236, <https://rscf.ru/project/21-17-00236/>, используемые архивные данные получены в рамках государственного задания FNNN-2021-0004.

КОНЦЕНТРАЦИЯ ХЛОРОФИЛЛА *A* В ВОДАХ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ И СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Е. Н. Корчёмкина¹✉, А. А. Сысоев², Р. И. Ли²,
И. В. Сысоева²

¹ МГИ, Севастополь, Россия

² ИнБЮМ, Севастополь, Россия

✉ korchemkina@mhi-ras.ru

Ключевые слова: хлорофилл *a*, дистанционное зондирование, коэффициент яркости, сезонная динамика, фитопланктонное сообщество.

В работе рассматривается проблема соответствия данных о концентрации хлорофилла *a* в поверхностных слоях морской воды, полученных дистанционными методами, натурным измерениям. Ошибки, которые привносят алгоритмы решения обратной задачи гидрооптики при обработке спутниковых данных для вод типа 2, а также такие факторы, как атмосферная коррекция, имеют разную величину в зависимости от самих значений концентрации хлорофилла *a*, то есть от стадии развития фитопланктонного сообщества и гидрологических условий его существования. Наиболее просто будет предположить, что разница между *in situ* и дистанционно определяемой концентрацией хлорофилла *a* имеет сезонный ход.

Для исследования этой гипотезы были использованы данные о концентрации хлорофилла *a* в поверхностном слое моря (0–10 м) измеренные в пробах, отобранных в рейсах НИС «Профессор Водяницкий» в 2016–2020 гг. Доступны данные, полученные в весенний, летний и осенний сезоны. Основные измерения проводились в северо-восточной части Черного моря, в которой были выделены шельфовая и глубоководная части. Полученные концентрации хлорофилла *a* сопоставлялись со значениями, рассчитываемыми по измерениям оптических сканеров MODIS и OLCI.

Основными носителями хлорофилла в поверхностных водах Черного моря являются представители фитопланктонного сообщества диатомовые (автотрофные) и динофитовые (миксотрофные) организмы. В последнее время в весенне-летний период к этой группе примыкает гаптофитовая водоросль *Emiliania huxleyi* (Lohmann) W.W.Hay & H.P.Mohler.

Для Черного моря характерны минимальные значения концентрации хлорофилла *a* в летний период и максимальные в зимний. Также наблюдается весенний пик, связанный с началом прогресса («цветение»). Значения для прибрежной и глубоководной зон в среднем мало различаются, однако в областях, находящихся под влиянием антропогенной нагрузки и речного стока, наблюдаются повышенные значения концентрации хлорофилла *a*.

По результатам сопоставления получено, что во все сезоны наблюдается завышение спутниковых оценок концентрации хлорофилла *a*, причем для летнего периода – до 30 раз. Ранее авторами отмечалось, что в летний период для прибрежной части Южного берега Крыма спутниковые алгоритмы существенно завышают оценки концентрации хлорофилла *a*. В целом на основании имеющихся данных можно заключить, что погрешность дистанционного определения составляет около 200 % по данным сканеров MODIS и OLCI.

Использование аналитического алгоритма определения концентрации хлорофилла *a* вместе с дополнительной коррекцией спутниковых измерений обеспечивает более точное приближение натуральных концентраций хлорофилла. Погрешность составляет около 40 %.

Проведенное исследование показывает, что для обработки спутниковых измерений коэффициента яркости моря требуются сложные системы алгоритмов, способные регулировать значения параметров и виды заложенных в них параметризаций в зависимости не только от района исследований, но и от сезона.

ОСОБЕННОСТИ МЕЗОМАСШТАБНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД ПРИ СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ВЕТРОВЫХ УСЛОВИЙ У ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

А. С. Кузнецов

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

Ключевые слова: Черное море, Южный берег Крыма, инструментальный мониторинг, прибрежный ветер, вдольбереговое течение.

Формирование оптимальных условий для устойчивого развития социальной эколого-экономической системы приморского региона в условиях интенсивного освоения прибрежной зоны суши и моря у Южного берега Крыма (ЮБК) возможно только при рациональном освоении комплекса морских природных ресурсов. Очевидно, что функциональная сохранность состояния природной экосистемы у ЮБК и, в первую очередь, акватории прибрежного экотона моря, ограничена предельно допустимым уровнем загрязнений вод.

Природным фактором, перманентно снижающим последствия техногенных и антропогенных нагрузок на морскую среду, является специфическая бимодальная структура вдольберегового переноса вод прибрежного экотона у ЮБК, которая значительно отличается от циркуляции прилегающих шельфовых вод Черного моря. Известно, что ветровые условия приводного слоя атмосферы существенно влияют на интенсивность динамики вод верхнего слоя моря. У ЮБК в зоне сопряжения суши и моря в условиях горизонтальной неоднородности рельефа подстилающей атмосферу земной поверхности формируется сложная суперпозиция вклада трансформированного Крымскими горами крупномасштабного поля ветра и локальных ветров термического и орографического происхождения. Регулярные местные ветры, включая бризы, горно-долинные и ветры склонов, имеют выраженную сезонную и суточную периодичность, оказывая влияние

на циркуляцию прибрежных вод. Известно, что у ЮБК в формировании обратной моды бимодальной структуры квазистационарного вдольберегового течения доминирует вклад (свыше 90 %) колебаний вод вблизи локального инерционного и суточного периодов.

Для исследования особенностей пространственно-временной изменчивости регионального поля ветра у ЮБК использованы материалы стандартного инструментального мониторинга характеристик ветра, полученные за 10-летний период 1997–2006 гг. синхронно на метеостанциях у м. Кикинеиз (на суше и в море) и у м. Никита (г. Ялта). При исследованиях особенностей мезомасштабной циркуляции прибрежных вод, выявлении закономерностей и связи с изменчивостью ветровых условий использованы комплексные материалы синхронного за 10-летний период 2013–2022 гг. инструментального мониторинга характеристик ветра и изменчивости структуры прибрежного течения, полученные в море у м. Кикинеиз со стационарной океанографической платформы Черноморского гидрофизического подспутникового полигона Морского гидрофизического института.

Измерения течений выполнялись антенной системой эйлеровых векторно-осредняющих измерителей типа МГИ-1308, а ветра – комплексом отечественных анеморумбографов. Из ежесекундных значений векторных характеристик течения и ветра были вычислены среднечасовые векторно-осредненные значения, из которых сформированы соответствующие векторные базы синхронных данных. Эти данные использованы при дальнейшем статистическом и спектральном анализе. На основе достоверных оценок выявлена роль Крымских гор, как основного фактора при формировании на пространственных масштабах прибрежного экотона, прилегающего к ЮБК, вдольбереговой квазибимодальной структуры приземного ветра. Исследована суточная изменчивость ветра, включая бризовую и кататическую составляющие. Эти результаты позволяют получить новые эмпирические знания о закономерностях вдольбереговой циркуляции вод и ветра прибрежного экотона у ЮБК на различных временных масштабах изменчивости.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме FNNN-2021-0005 «Прибрежные исследования».

ГИДРООПТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ШЕЛЬФЕ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ МОРЯ УЭДДЕЛЛА

А. А. Латушкин ¹✉, П. А. Салюк ², В. И. Пономарев ²

¹ МГИ, Севастополь, Россия

² ТОИ ДВО РАН, Владивосток, Россия

✉ sevsalat@gmail.com

Ключевые слова: гидрооптика, море Уэдделла, цветение фитопланктона, хлорофилл *a*, флуоресценция, показатель ослабления направленного света, окрашенное растворенное органическое вещество.

В рамках программы 87-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» 28–29 января 2022 г. на северо-западном шельфе моря Уэдделла были выполнены натурные гидрооптические исследования. Период проведения исследований характеризовался интенсивным таянием айсбергов, отколовшихся от материковых ледников, и таянием сезонного ледового покрова. Отдельные куски льда содержали в себе вкрапления взвешенных веществ, которые могут быть источником биогенных веществ. Кроме этого, в некоторых кусках льда присутствовали зеленые области, характерные для развития ледовых водорослей. Важным фактором, который, несомненно, повлиял на полученные в районе результаты было то, что в 2022 г. наблюдался один из самых низких уровней ледовитости морской поверхности в море Уэдделла за последние 10 лет.

По данным исследований обнаружено интенсивное цветение фитопланктонных сообществ недалеко от кромки льда и около пролива Антарктика, которое характеризовалось высокими значениями интенсивности флуоресценции и концентрации хлорофилла *a* (C_{chl-a}) по натурным и спутниковым данным.

В горизонтальном распределении C_{chl-a} выделялись две области с повышенными значениями. Первая (северная область) располагалась около о. Жуэнвиль, а вторая (южная область) – около

кромки льда. В первом случае слой повышенных значений S_{chl-a} составляет около 0–100 м с максимальными значениями около 5 мкг/л, а во втором случае – примерно 0–40 м с максимальными значениями около 6 мкг/л. В этих же областях наблюдаются локальные максимумы показателя ослабления направленного света ($ВАС_{660}$) и мутности. Все это привело к увеличению ослабления света в морской воде и к тому, что в двух обозначенных районах были зарегистрированы одни из самых низких значений глубины фотического слоя (около 25 м). Следует отметить, что спутниковые оценки S_{chl-a} для этих районов существенно занижают значения, которые составили около 1–2 мкг/л, что примерно в три раза ниже натуральных оценок.


Значения флуоресценции окрашенного растворенного органического вещества (F_{CDOM}) были высокими только во второй области, где достигали значений 0,9 QSU и могли быть связаны как с деградацией фитопланктонных сообществ, так и с процессами выедания клеток фитопланктона зоопланктоном. При этом в приповерхностном слое, в котором наблюдались одни из наибольших значений S_{chl-a} , значения F_{CDOM} , наоборот, имели локальный минимум, что в свою очередь может указывать на стадию развития фитопланктонного сообщества, находящегося в пике цветения. Величины $ВАС_{660}$ и мутности, кроме обозначенных выше областей повышенных значений, также имели относительно высокие значения в приповерхностном слое, где было зафиксировано таяние льда с большим количеством взвешенных веществ, и на глубинах более 100 м, где фиксировались процессы подъема взвешенных частиц со дна.

Работа выполнена в рамках государственных заданий ФГБУН ФИЦ МГИ по теме FNNN-2021-0003 и ТОИ ДВО РАН по теме № 0211-2021-0007.

ПРОГНОЗ ЛЕДОВИТОСТИ МОРЕЙ СЕВЕРО-ЕВРОПЕЙСКОГО БАССЕЙНА

Н. А. Лис , Л. А. Тимохов

ААНИИ, Санкт-Петербург, Россия

 *nalis@aari.ru*

Ключевые слова: ледовитость, Баренцево море, Гренландское море, Северо-Европейский бассейн, множественная регрессия, прогноз.

Северо-Европейский бассейн включает в себя Баренцево, Гренландское и Норвежское моря. Норвежское море, благодаря поступлению теплых вод с Северо-Атлантическим течением, является незамерзающим. Особенность Гренландского и Баренцева морей заключается в том, что, в отличие от других арктических морей, в летний сезон их акватории не полностью освобождаются ото льда, а в зимний сезон – не полностью замерзают. Из-за географического положения и близости к Атлантическому океану, эти моря относят к Атлантической климатической области Арктики. Одновременное поступление холодных вод Центрального Арктического бассейна, сопровождающееся дрейфом льдов через пролив Фрама, и приток теплых и соленых вод из Северной Атлантики через Фарерро-Шетландский пролив формирует основные особенности гидрологического и ледового режимов Северо-Европейского бассейна.

Данные по ледовитости Баренцева и Гренландского морей предоставлены Арктическим и Антарктическим научно-исследовательским институтом в виде среднемесячных значений за период 1950–2022 годы (URL: aari.ru). Для структуры межгодовых колебаний ледовитости Гренландского и Баренцева морей свойственна высокая степень флуктуации. Чтобы уменьшить влияние высокочастотных колебаний было выполнено осреднение рядов как ледовитости, так и всех предикторов с помощью скользящего 3-летнего осреднения.

В качестве гидрометеорологических факторов рассматривались глобальные климатические индексы, имеющиеся в открытом

доступе. К ним относятся: индексы Арктического колебания АО, Тихоокеанско-североамериканского колебания PNA, Атлантического мультидекадного колебания АМО и Северо-Атлантического колебания NAO (URL: www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/). В качестве факторов космогеофизического воздействия рассматривался набор следующих параметров: параметры нутации оси Земли в долготе и наклоне $\Delta\psi$ и $\Delta\epsilon$ (URL: <https://hpiers.obspm.fr/eop-pc/index.php?index=C01&lang=en>), числовой показатель солнечной активности – числа Вольфа Wolf (URL: solarscience.msfc.nasa.gov/), инсоляция для отдельных широтных зон земного эллипсоида Λ (URL: <http://solar-climate.com/sc/bd01.htm>).

Индексы атмосферной циркуляции (АО, NAO, PNA) характеризуют барическую обстановку в Северном полушарии. И в зависимости от фазы (положительной/отрицательной) показывают интенсивность зонального и меридионального переноса воздушных масс. Космогеофизические параметры характеризуют влияние солнечной активности и поступление количества тепла от Солнца в зависимости от нутационных колебаний оси вращения Земли. В связи с высоким значением коэффициента корреляции $-0,90$ в уравнениях использовалась либо величина инсоляции, либо нутации. При этом инсоляцией объясняется до 70 % дисперсии ледовитости.

С помощью метода множественной регрессии были получены модели для ледовитости Гренландского и Баренцева морей за зимний и летний сезон с заблаговременностью в пять лет. К предикторам, вносящим наибольший вклад, относятся: индекс АМО, инсоляция Λ , температура воздуха и предшествующее состояние ледовитости. Разработанные уравнения описывают до 81 % общей дисперсии ряда, что является хорошим показателем качества прогноза.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках научного проекта № 22–27–00443.

АНАЛИЗ ТЕПЛОБАЛАНСОВЫХ И ЛЕДОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В СЕЗОН 68-Й РОССИЙСКОЙ АНТАРКТИЧЕСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ

Е. А. Марчук ¹✉, Б. В. Иванов ^{2, 3}, А. М. Безгрешнов ²,
М. О. Ивлев ³

¹ ИФА РАН, Москва, Россия

² ААНИИ, Санкт-Петербург, Россия

³ СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

✉ murchuk-ekaterin@mail.ru

Ключевые слова: припай, теплобалансовые наблюдения, радиационный баланс, температура поверхности океана.

В рамках проекта «Комплексные океанологические, климатические, гляциологические и геофизические исследования Антарктики и Южного океана» (План НИТР/ОПР Росгидромета 2020–2024 гг.) проводились теплобалансовые и ледовые наблюдения в сезон 68-й Российской антарктической экспедицией.

Основные задачи:

1) исследование поверхностных проявлений вихрей и внутренних волн на поверхности океана с помощью ИК-радиометра и спутниковых данных;

2) получение новых данных о морфометрических, теплофизических и радиационных характеристиках снега и льда (припая) в бухте Тала;

3) оценка составляющих радиационного баланса поверхности снега и льда и особенностей перераспределения солнечной радиации в антарктических водах подо льдом.

Комплексные исследования морского льда (припая) и характеристик приземного слоя атмосферы и подледного слоя воды выполнялись в период остановок судна для выполнения специальных ледоисследовательских работ на припае (многосуточная станция в бухте Тала, район станции Прогресс, а также на припае в районе станции Мирный). Измерения температуры поверхности океана проводилось непрерывно

в течение всей экспедиции, начиная с выхода судна из порта Санкт-Петербург.

Виды работ:

- 1) теплобалансовые наблюдения на припае:
 - измерения составляющих радиационного баланса (суммарная и отраженная солнечная радиация);
 - градиентные метеорологические наблюдения на уровнях 1 и 2 м соответственно;
 - маршрутные измерения альбедо различных типов подстилающей поверхности (ровный лед, снежицы, торосы);
 - измерения вертикального профиля температуры в толще снега в различное время суток;
 - описание текстуры (стратиграфии) снежной толщи;
- 2) ледоисследовательские наблюдения:
 - площадные инструментальные измерения толщины льда и снега;
 - отбор образцов льда (кернов) для определения вертикального распределения температуры и солености в толще припая;
 - измерения солнечной радиации, проникающей под поверхность припайного льда;
- 3) океанографические наблюдения:
 - измерения вертикального распределения температуры и солености в подледном пограничном слое.

В результате обработки данных наблюдений были получены оригинальные результаты, которые, безусловно, носят предварительный характер:

1. Собраны данные о температуре поверхности океана и концентрации CO_2 в приводном слое океана.
2. Получены достоверные оценки толщины припая в бухте Тала.
3. Получены новые данные о текстуре, теплофизических и радиационных свойствах снежно-ледяного покрова.
4. Определена соленость морского льда.
5. Измерены основные составляющие теплового баланса прибрежных антарктических вод в летний период года.

**АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ
КАРСКОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ
СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ И ДАННЫХ
ЭКСПЕДИЦИИ «ПЛАВУЧИЙ УНИВЕРСИТЕТ-2021»**

**Е. А. Марчук¹✉, И. А. Репина¹, И. Е. Козлов²,
К. П. Сильвестрова³, А. А. Осадчиев³, Н. Б. Степанова³**

¹ ИФА РАН, Москва, Россия

² МГИ, Севастополь, Россия

³ ИО РАН, Москва, Россия

✉ murchuk-ekaterin@mail.ru

Ключевые слова: температура поверхности океана, спутниковые данные, мезомасштабные вихри.

В августе 2021 г. в рамках «Плавучего университета» Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН был организован рейс в Карское море. В ходе экспедиции, помимо основных работ, производился дистанционный мониторинг температуры поверхности океана (ТПО) ИК-радиометром, установленным на борту судна. Использование ИК-датчиков температуры для идентификации процессов внутри океана дает возможность получить информацию с относительно больших акваторий с малыми затратами времени. Подобные данные помогают в исследовании волн и вихрей, а также служат материалом для дальнейшей верификации спутниковой ТПО. Таким образом, подобные комплексные измерения показывают полную картину явлений и позволяют качественно связать процессы в толще и на поверхности.

Наблюдения за состоянием морской поверхности проводились круглосуточно, в результате в течение всей экспедиции было получено 26 суток непрерывной записи ТПО с частотой 1 с и 26 сут непрерывной фотозаписи состояния морской поверхности.

Помимо непосредственных измерений ТПО, одной из задач экспедиции было изучение мезомасштабных вихрей, которые проявляются на поверхности океана. Под воздействием океанической циркуляции и атмосферных явлений в Карском море имеет место целый спектр мезомасштабных явлений, к которым

относятся вихри. Мезомасштабные вихри в теплое время года наблюдаются на всей территории Карского моря. В работе [1] с помощью спутниковых РСА-изображений была посчитана статистика вихрей за теплый период 2007 г. Наибольшее количество вихрей наблюдалось в августе (480 вихрей). 90 % вихрей были циклонами. Средний диаметр всех вихрей (циклоны + антициклоны) составлял 2,7 км. Наибольший диаметр составляет 40 км.

Субмезомасштабные вихри хорошо отражаются в данных ТПО, что неоднократно доказывалось в литературе [2, 3]. Большая удача экспедиции состояла в том, что 13 августа наш корабль прошел через мезомасштабный вихрь, который был одновременно зафиксирован на РСА-снимке спутника Sentinel-1A и в данных бортового ИК-радиометра. В результате наложения ТПО на трек судна получилась картинка, на которой отчетливо прослеживается чередование холодных и теплых участков. В центре снимка отчетливо выделяется грибовидный вихрь, прослеживающийся из-за наличия на поверхности моря пленки ПАВ (поверхностно-активных веществ). Вероятнее всего, вихрь образовался в результате огибания течением, направленным из Баренцева моря в Карское море, препятствия в виде северной оконечности острова Вайгач или подводного рельефа. Средний диаметр вихря составляет 30 км. Данный случай требует дальнейшего анализа.

Помимо анализа субмезомасштабного вихря, одной из основных задач, поставленных в рамках экспедиции Плавучего университета, была валидация данных измеренной ТПО по спутникам.

В качестве спутниковых данных был в первую очередь рассмотрен массив данных о ТПО с высоким разрешением (GHRSSST) уровня 4. Данные ежедневные, предоставляемые оперативно Австралийским бюро метеорологии (BoM) с использованием оптимальной интерполяции (OI) на глобальной сетке с шагом 0,25 градуса.

Сравнение измеренной ТПО со спутниковыми данными показало, что в центральной части Карского моря разница температур за выбранный период варьируется от -2 до 2 °С. В среднем она составляет 0 °С. Тогда как в северной части Карского моря различия между спутниковыми и измеренными данными варьируются более широко. Разница составляет от -4 до $5,8$ °С, в среднем около 2 °С.

Для исследования внутренних волн, помимо данных ИК-радиометра, были привлечены данные измерений на морских станциях с нескольких термокос, расположенных на носу, корме и на левом борту судна. Совокупный анализ выбранных данных позволит более точно определить пространственные характеристики зафиксированных внутренних волн, провести спектральный анализ.

Визуальные наблюдения за состоянием морской поверхности также проводились в точности с описанной выше методикой. На фотографиях запечатлено большое количество снимков разной природы. В дальнейшем планируется более детальная обработка фотографий и привязка их к колебаниям температуры протоки и ТПО.

ХАРАКТЕРИСТИКИ МОРСКОГО ВОЛНЕНИЯ И ШТОРМОВЫХ НАГОНОВ У МЫСА КИКИНЕИЗ

В. В. Метик-Диунова ✉, **Н. В. Хамицевич**, **С. А. Майборода**

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

Ключевые слова: штормовой нагон, скорость ветра, ветровое волнение, параметры волнения.

Штормовые нагоны представляют собой опасное гидрометеорологическое явление. Нагоны создают угрозу для прибрежных районов и приводят к разрушению портовых сооружений и хозяйственных объектов, расположенных вблизи береговой черты. Их природа тесно связана с воздействием на морскую поверхность сильного ветра при прохождении над прибрежной областью атмосферных образований типа циклонов.

По данным стандартных гидрометеорологических измерений, полученным в ЧГПП МГИ РАН, проведен анализ параметров морского волнения и условий образования штормовых ситуаций за период 2017–2022 гг. Архив данных представляет собой массив рядов гидрометеорологических элементов по результатам

береговых наблюдений у мыса Кикинеиз Южного берега Крыма. Для анализа параметров волнения использованы срочные данные наблюдений, всего – 6570 случаев за 6 лет (3 наблюдения в сутки). За исследуемый период проведен статистический анализ таких характеристик: высота волн в соответствии со шкалой степени волнения в баллах, направление волнения, ветровой режим при нагонах. К штормовым нагонам относились случаи морского волнения при действии устойчивого ветра со средней скоростью более 10 м/с и высотой волны более 2,0 м.

В соответствии со шкалой степени волнения повторяемость высот волн у мыса Кикинеиз следующая:

- 1 балл (высота волны от 0 до 0,25 м) – 26 %;
- 2 балла (от 0,25 до 0,75 м) – 55 %;
- 3 балла (от 0,75 до 1,25 м) – 14 %,
- 4 балла (от 1,25 до 2,0 м) – 4 %,
- 5 баллов (от 2,0 до 3,5 м) – 1 %.

В большинстве случаев преобладает волнение восточного (В), юго-восточного (ЮВ) направлений. Так, доля волнения восточного направления составляет 40 %, ЮВ – 28 %. Южное направление (Ю) – 24 %, юго-западное (ЮЗ) – 7 %, северо-восточное (СВ) и западное (З) направления – 1 %. Распределение количества случаев волнения по высоте и направлению характеризуется незначительной межгодовой изменчивостью. По типу волнения преобладает зыбь трех основных направлений – восток, юг, юго-восток – 91 %. При устойчивом продолжительном ветре со скоростью более 4 м/с формируется преобладающее ветровое волнение с направлением, соответствующим направлению ветра (9 %). Штормовые нагоны наблюдаются около 4–7 раз в год, что составляет 1 % от общего количества наблюдений. За исследуемый период наблюдалось 24 случая штормовых нагонов. Их максимальное количество (10 случаев) приходится на зимние месяцы, осенью и весной – по 7 случаев. В летний период штормовых нагонов не наблюдалось. Наибольшая повторяемость характерна для штормовых нагонов восточного направления – 59 %. Южное направление составляет 29 %, юго-восточное – 12 %. По высоте величина нагонов составляет от 11 до 87 см. Наименьшая высота нагона характерна для волн южного направления. Максималь-

ная – для волн восточного направления. Наиболее мощный катастрофический штормовой нагон за последние 6 лет был зафиксирован 27 сентября 2017 г. Причиной данного нагона был сильный штормовой восточный ветер, скорость которого достигала 27 м/с, высота волн восточного направления достигала 3,0 м, высота нагона при этом составила 87 см.

Анализ данных показал выраженную сезонную изменчивость штормовой деятельности у мыса Кикинеиз. Штормовые ситуации наиболее часто возникают в осенне-зимний сезон с сентября по март с преобладанием ветров восточного направления. Отмечено уменьшение повторяемости штормовых нагонов в последнее время, что может быть связано с уменьшением общего количества и интенсивности проходящих циклонов.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме FNNN-2021-0005.

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ В РАЗЛИЧНЫЕ СЕЗОНЫ 2021 ГОДА

А. Н. Морозов ✉, Е. В. Маньковская

МГИ, Севастополь, Россия

✉ anmorozov@mhi-ras.ru

Ключевые слова: Черное море, скорость течения, плотность, температура, частота плавучести, кинетическая энергия, холодный промежуточный слой.

В докладе представлены данные STD- и LADCP-измерений, полученные в трех экспедициях НИС «Профессор Водяницкий» в центральном секторе северной части Черного моря (31°–37° в. д., 43°–45° с. ш.) в 2021 г. (22.04–08.05; 29.06–10.07; 03.09–19.09). Рассмотрены осредненные профили скорости течений, плотности, температуры, частоты плавучести, кинетической

энергии. Приводятся и анализируются горизонтальные распределения течений.

Показано, что вертикальное распределение температуры воды отражает сохраняющуюся тенденцию потепления ядра холодного промежуточного слоя, рассмотренную авторами в предыдущих исследованиях. Классическая граница слоя в виде изотермы 8 °С не наблюдается по данным экспедиций 2021 г.

По измерениям 2021 г. и выполненным ранее в 2016–2020 гг. вертикальные профили кинетической энергии показывают уменьшение значений в верхнем слое в летний период и возрастание в весенний, осенний и зимний периоды. Профили могут быть аппроксимированы линейными зависимостями, которые обращаются в ноль при значении плотности 16,75 кг/м³.

Работа выполнена в рамках государственного задания по темам FNNN-2021-0003 и FNNN-2021-0005.

ДИНАМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПЛЮМА БЕЛЬБЕКА ПОСЛЕ ОБИЛЬНЫХ ОСАДКОВ ПО ДАННЫМ БПЛА

Б. А. Новиков ✉, **А. А. Кубряков**, **И. Е. Козлов**

МГИ, Севастополь, Россия

✉ *alsha996@yandex.ru*

Ключевые слова: речной плум, волны, БПЛА, видео.

В работе для определения характеристик динамических структур плюма реки Бельбек, использовалась съемка с БПЛА типа DJI Enterprise 2 Dual, который оснащен оптической и инфракрасной камерой.

Съемка с высоты 150 м проводилась в июле 2021 г. в районе впадения реки Бельбек в Черное море после обильного дождя.

В первой части работы был выполнен анализ данных инфракрасной камеры, с помощью которой регистрировался холодный речной поток, образующий четко выделяемые дипольные грибовидные структуры у русла реки. Для восстановления скоростей

и направления потока плюма использовалась взаимнокорреляционная функция. По результатам метода были выделены динамические структуры, образуемые речным потоком. Скорость потока составила до 1 м/с. Вблизи устья наблюдается зона интенсивной дивергенции вод, которая связана с растеканием плюма южнее и севернее устья.

Во второй части работы по оптической съемке в области плюма наблюдались ярко выраженные внутренние волны, для выделения которых использовался частотный фильтр. В результате такие внутренние волны были отделены от поверхностного волнения. Получены следующие характеристики внутренних волн возле устья и на удалении от него: длины, равные от 3 до 7 м, скорости от 0,5 до 1 м/с.

Предложена гипотеза, согласно которой ламинарный поток плюма при столкновении с морскими водными массами образует дипольные грибовидные структуры, которые вызывают возникновение внутренней волны в зоне торможения течения (зона конвергенции). Эти волны продолжают движение от устья. При этом на видео четко видно, что внутренние волны движутся с разной скоростью и длина волны уменьшается к краю плюма. При движении волны вытягиваются, за счет чего растет площадь вод, расстояние между гребнями остается примерно одинаковым на протяжении всего движения волны и уменьшается только к границе плюма при падении энергии потока.

Полученные результаты оптической и инфракрасной съемки были объединены в один алгоритм оценки влияния ветрового волнения на эволюцию прибрежной, приустьевой, поверхностной водной массы.

Работа выполнена в рамках гос. задания номер FNNN-2021-0006.

ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ЛАЗЕРНЫХ ВОЛНОГРАФОВ

М. Б. Планкина, К. В. Куликовский ✉

МИРЭА, Москва, Россия

✉ *constantinkk@mail.ru*

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

Лазерные волнографы, разработанные в РТУ МИРЭА, позволяют проводить измерения параметров морской поверхности в широком диапазоне частот и волновых чисел. В докладе рассмотрена методика проведения измерений и особенности обработки и интерпретации видеоряда, получаемого с частотой видеорегистрации.

Описаны различные режимы работы лазерного волнографа: одноточечные измерения аппликата в отдельных точках поверхности; многоточечные измерения аппликата на заданной траектории сканирования; измерения при непрерывной развертке лазерного луча по заданной траектории.

Проводится анализ точностных характеристик рассматриваемых методов. Обсуждаются факторы, влияющие на погрешности измерений, которые включают: точность фокусировки луча на поверхности, геометрию измерений, фокусировку приемной системы, направление поляризации, общий уровень фонового излучения.

Рассмотрена методика оптимальной фильтрации сигнала, включающая частотную фильтрацию по спектру принимаемого излучения, поляризационную фильтрацию, выбор оптимального угла наблюдения.

Приводятся результаты обработки данных натуральных измерений, проведенных в июне 2023 г., на стационарной океанографической платформе в пгт Кацивели, Крым. Обсуждаются особенности обработки видеоряда, учет шумовых факторов, усложняющих обработку и интерпретацию сигналов. Приводятся примеры частотных и пространственных спектров волнения. Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 23-17-00189.

МЕЖГОДОВЫЕ КОЛЕБАНИЯ СОЛЕННОСТИ ВОДЫ В ПРОЛИВАХ ЯПОНСКОГО МОРЯ

Н. И. Рудых

ТОИ ДВО РАН, Владивосток, Россия
✉ *rudykh@poi.dvo.ru*

Ключевые слова: соленость воды, Японское море, Татарский пролив, Корейский пролив, межгодовая изменчивость.

В морях, прилегающих к восточной части России, колебания гидрологических и других параметров чаще всего определяются межгодовой изменчивостью дальневосточного муссона. Региональной особенностью Японского моря является его относительная закрытость от океана и вытянутость вдоль линии действия муссона, поэтому на климатические изменения такой достаточно консервативной характеристики, как соленость, будет влиять в основном поступление иной воды через проливы. Так, колебания солености вод Татарского и Корейского проливов находятся в противофазе, что отражает значительное влияние муссонной циркуляции на гидродинамический эффект водообмена Японского моря с соседними бассейнами.

Примечательно, что в основном через проливы поступают воды меньшей солености, что должно бы согласовываться с глобальной тенденцией уменьшения солености вод Мирового океана. Однако отрицательные тренды межгодовой изменчивости в водах Японского моря наблюдаются не во всех районах.

МЕТОД ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН ПО ДАННЫМ МАССИВА ДРЕЙФУЮЩИХ БУЕВ

Е. И. Свергун ¹✉, А. В. Зимин ^{1,2}, Е. Г. Лунёв ^{3,4},
А. П. Толстошеев ^{3,4}, А. А. Безгин ^{3,4}

¹ ИО РАН, Москва, Россия

² СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

³ СевГУ, Севастополь, Россия

⁴ ООО «Марлин-Юг», Матвеев Курган, Россия

✉ Egor-svergun@yandex.ru

Ключевые слова: распределенные измерительные системы, контактные наблюдения, короткопериодные внутренние волны, обработка сигналов.

В рамках широкомасштабного изучения характеристик поля короткопериодных внутренних волн в Мировом океане необходимо применять пространственно распределенные автономные измерительные системы, не привязанные к стационарным местам наблюдения. Такие системы только начинают активно использоваться для регистрации широкого спектра характеристик волн (амплитуда, период, длина, фазовая скорость, направление распространения) в экспедиционной практике. Методическая база применения таких измерительных систем только начинает формироваться, так как существующие методы обработки данных о характеристиках волн еще весьма примитивны. В данной работе представлен метод, в котором временная задержка прибытия цугов волн определяется путем расчета скользящей дисперсии глубин залегания изотерм.

Алгоритм был применен к данным, получаемым от системы из четырех автономных свободно дрейфующих поверхностных термопрофилирующих буюв. Каждый из буюв имеет измерительную линию с датчиками температуры и датчиком гидростатического давления, спутниковый навигационный приемник, систему сбора данных и спутниковый модем для передачи данных.

Испытания измерительной системы проводились в июне 2022 г. в Кондопожской губе и заливе Большое Онего Онежского

озера. В ходе испытаний было выполнено шесть измерений продолжительностью более 5 ч каждое, в ходе которых были зарегистрированы короткопериодные колебания термоклина.

В результате применения метода было установлено, что короткопериодные волны в Онежском озере распространялись преимущественно на северо-восток со скоростью от 0,4 до 0,8 м/с.

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

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОДРАЙОНОВ ПОИСКА МЕЖДУ ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНЫМИ СРЕДСТВАМИ

Я. Ю. Селезень^{1,2}

¹ МГИ РАН, Севастополь, Россия

² ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова, Новороссийск, Россия

✉ yarselezen@gmail.com

Ключевые слова: поиск и спасание на море, поисково-спасательные операции, бедствие на море, координация операций, район поиска.

Согласно Руководству по международному авиационному и морскому поиску и спасанию одним из типовых этапов планирования поисково-спасательных операций является этап определения подрайонов поиска для конкретных поисково-спасательных средств (ПСС). На данном этапе решается задача распределения подрайонов поиска между ПСС. Задача заключается в том, что район поиска разбивают на подрайоны и назначают конкретное ПСС для дальнейшего проведения там поиска. Работа посвящена разработке средства автоматизированного решения данной задачи. Результатами являются две модели и методика:

– модель предпочтений между двумя альтернативными распределениями подрайонов поиска между ПСС, построенная по данным экспертных предпочтений и выраженная в виде линейной суперпозиции частных критериев;

– методика создания моделей предпочтений между двумя альтернативными распределениями подрайонов поиска между ПСС;

– модель проведения поискового процесса в пространстве решений (распределений ПСС по подрайонам поиска) на базе метода эмуляции отжига, являющегося одним из методов глобальной оптимизации.

Возможный район представляется картой вероятностей местонахождения объекта бедствия, т. е. задается группой ячеек координатной сетки с указанием вероятности локализация объекта. ПСС подразделялись на два класса – морские и воздушные. Целевая задача ставится как задача назначения единственного ПСС для каждой ячейки координатной сетки, подлежащей обследованию, исходя из количества ячеек, которое ПСС может обследовать, и с учетом множества критериев.

Модель предпочтений разрабатывалась следующим образом. Сначала вводилось множество критериев в стремлении учесть как можно больше потенциально полезной информации (расстояние между ячейками и ПСС, связность ячеек, назначенных одному ПСС, квадратность формы подрайона, количество подрайонов ПСС и т. д.). Из множества критериев отбирались информативные, и на их основе строился суперкритерий. Отбор осуществлялся на основе прецедентов – пар сравниваемых экспертами альтернатив распределений подрайонов поиска между ПСС, при этом минимизировалась частота ошибок функции-аппроксиматора экспертных суждений о предпочтительности альтернатив с использованием генетического алгоритма.

Для решения целевой задачи адаптировался метод эмуляции отжига путем:

- конструирования функций определения приемника с внесением эвристической информации о решаемой задаче, с различными стратегиями обмена ячейками между ПСС;
- использования двухэтапной стратегии поиска в пространстве решений;
- настройки гиперпараметров метода оптимизации с целью получения приемлемого решения целевой задачи.

Предложенные модели ведут к приемлемому по качеству решению целевой задачи (в круглых цифрах) в 80 % случаев, временной показатель получения решения составляет в среднем две минуты. При практическом использовании можно рекомендовать перезапуск процесса поиска решения для получения приемлемого или лучшего результата.

НАТУРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ СПЕКТРА КАПИЛЛЯРНЫХ ВОЛН И ЕГО СВЯЗИ СО СКОРОСТЬЮ ВЕТРА

В. В. Стерлядкин ✉, **К. В. Куликовский**, **М. Б. Планкина**

МИРЭА, Москва, Россия

✉ *sterlyadkin@mail.ru*

Ключевые слова: капиллярные волны, спектр ветрового волнения, лазерный волнограф, дистанционное зондирование, гравитационные волны.

Рассмотрено изменение гравитационно-капиллярного однотоочечного спектра морского волнения при усилении ветра от 5 до 20 м/с. Описан метод проведения натуральных измерений ветрового волнения с морской гидрофизической платформы в пгт Кацивели. Метод основан на видеорегистрации лазерных лучей, падающих на морскую поверхность сверху вниз. Диапазон измерений включал интервал частот от 0,05 до 30 Гц ($k \sim 750$ рад/м, капиллярная составляющая спектра). Измерения проведены в июне 2023 г. при различных скоростях ветра, который изменялся от 5 до 22 м/с. Показан рост капиллярных составляющих спектра с увеличением скорости ветра.

Обсуждаются трудности и ограничения используемого метода, возможности его дальнейшего развития для расширения спектрального диапазона и для проведения прямых измерений пространственных спектров.

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

ВЛИЯНИЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ НА ТОЧНОСТЬ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗА СОСТОЯНИЯ МИРОВОГО ОКЕАНА

Н. А. Турко ¹✉, А. А. Лобашев ², К. В. Ушаков ^{1,3},
М. Н. Кауркин ³, Л. Ю. Кальницкий ⁴, Р. А. Ибраев ^{5,1}

¹ МФТИ, Долгопрудный, Россия

² Сколтех, Сколково, Россия

³ ИО РАН, Москва, Россия

⁴ ААНИИ, Санкт-Петербург, Россия

⁵ ИВМ РАН, Москва, Россия

✉ turko@phystech.edu

Ключевые слова: оперативный прогноз, Мировой океан, оптимальная расстановка измерителей, Concrete Autoencoder.

В работе демонстрируется влияние расположения измерителей на точность оперативного прогноза состояния Мирового океана. Проводится сравнение методов расстановки измерителей, в том числе рассматривается расстановка, полученная методом, предложенным в предыдущих работах и основанном на результатах численного моделирования и статистических методах [1].

Предложенный статистический метод расстановки измерителей состоит из двух этапов. На первом этапе оценивается пространственная вариабельность физического поля с аппроксимацией его информационной энтропии с помощью нейронной сети Conditional Pixel CNN. На втором этапе энтропия используется для инициализации начального расположения сенсоров, которое затем оптимизируется с помощью архитектуры Concrete Autoencoder, позволяющей одновременно минимизировать количество датчиков и максимизировать точность восстановления.

В экспериментах использовалась модель океана Института вычислительной математики и Института океанологии РАН ИВМИО [2], модель льда CICE [3], атмосферный форсинг ERA5 [4], данные измерений усваивались методом оптимальной ансамблевой интерполяции [5].

Для оценки влияния расположения датчиков на точность прогноза проводилось моделирование, имитирующее ситуацию, когда начальное состояние Мирового океана заметно отличается от реального. В эксперименте заменялись начальные условия для модели океана и льда, при этом атмосферный форсинг сохранялся из контрольного эксперимента. Затем производилось усвоение данных об истинном состоянии в точках расположения сенсоров. Основная идея заключается в выборе такого расположения датчиков, которое позволит достичь максимального совпадения с истинным состоянием за минимальное число итераций усвоения.

Результаты численных экспериментов показывают, что, начиная с приблизительно 3 тысяч сенсоров, увеличение числа измерителей перестает давать заметный прирост в улучшении точности. Так, эксперименты с усвоением 3, 6 и 13 тысяч измерений в сутки демонстрируют незначительные различия в точности прогноза. Расположение измерителей оказывает наибольшее влияние на точность прогноза в течение первых 20–30 итераций усвоения.

При расстановке 1169 измерителей методом с использованием Concrete Autoencoder эксперименты показывают такое же уменьшение средней ошибки прогноза, как и в случае регулярной расстановки с количеством измерителей в 3, 6 и 13 раз больше. При этом среднеквадратическая ошибка оказывается заметно ниже, чем при использовании регулярной или случайной схемы размещения 1300 измерителей.

Полученные результаты подчеркивают важность оптимальной расстановки измерительных устройств при планировании измерительной сети, что позволяет максимизировать точность прогнозирования при одновременной оптимизации процесса сбора данных наблюдений.

Работа выполнена в рамках тем госзадания FMWE-2021-0003.

Список литературы

1. Concrete autoencoder for the reconstruction of sea temperature field from sparse measurements / A. A. Lobashev [et al.] // Journal of Marine Science and Engineering. 2023. Vol. 11, iss. 2. 404. doi:10.3390/jmse11020404

2. *Ushakov K. V., Ibrayev R. A.* Assessment of mean world ocean meridional heat transport characteristics by a high-resolution model // Russian Journal of Earth Sciences. 2018. Vol. 18. ES1004. doi:10.2205/2018ES000616

3. CICE: The Los Alamos Sea Ice Model, Documentation and Software, version 5.1 la-cc-06-012 / E. C. Hunke [et al.]. Los Alamos National Laboratory : Los Alamos, NM, USA, 2015. 500 p.

4. The ERA5 global reanalysis / H. Hersbach [et al.] // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 2020. Vol. 146, iss. 730. P. 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>

5. *Kaurkin M. N., Ibrayev R. A., Belyaev K. P.* Data assimilation in the ocean circulation model of high spatial resolution using the methods of parallel programming // Russian Meteorology and Hydrology. 2016. Vol. 41, iss. 7. P. 479–486. doi:10.3103/S1068373916070050

**ВНУТРИГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ
ТЕРМОХАЛИННОЙ СТРУКТУРЫ ВОД
В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ В 2022 ГОДУ
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, сезонный термоклин, холодный промежуточный слой.

Представлены результаты исследования внутригодовой изменчивости термохалинной структуры вод в северной части Черного моря в 2022 г. по материалам 121-го (19 апреля – 14 мая), 122-го (7–13 и 17–23 июня), 123-го (16–23 и 26–31 августа) и 124-го (2–22 октября) и 125-го (2–27 декабря) рейсов НИС «Профессор Водяницкий». В ходе 122-го и 123-го рейсов измерения были выполнены дважды по одному и тому же маршруту, при этом повторные станции выполнялись в тех же координатах с последовательным продвижением с запада на

восток. Гидрологические измерения проводились в слое 0–500 м гидролого-химическим зондирующим CTD-комплексом IDRONAUT OCEAN SEVEN 320 PlusM.

Показано, что в распределениях фактической температуры на поверхности моря (ТПМ) хорошо прослеживался сезонный сигнал. Максимальные значения ТПМ (28 °С) наблюдались в августе, минимальные (9 °С) – в декабре, что соответствует ее климатическому сезонному ходу. Сравнение сезонного хода ТПМ по спутниковым данным SeaWiFS вдоль побережья Крыма в пределах полигона съемки за 2022 г. с ее среднегодовым климатическим сезонным ходом показало, что минимум и максимум ТПМ в 2022 г. наблюдались в апреле и сентябре соответственно – примерно на месяц позже, чем по климатическим данным. Пространственные распределения ТПМ по данным съемок показали, что весной, летом и осенью минимум ТПМ наблюдался в западной части полигона, зимой – к востоку от м. Меганом. Максимальные значения ТПМ весной и летом наблюдались в восточной части полигона.

В распределении солёности на поверхности (СПМ) по данным всех съемок сезонный цикл лучше проявился в изменении ее минимальных значений, которые составляли 17,3 ‰ весной и увеличивались до 18,5 ‰ осенью. Летом и осенью СПМ на полигоне слабо изменялась по пространству, зимой и весной отмечалась область минимальных значений СПМ в Феодосийском заливе, связанная с Керченско-Феодосийским распределением. Максимальные значения СПМ слабо изменялись в течение года, оставаясь в пределах 18,5–18,8 ‰.

Максимальная глубина залегания максимума вертикального градиента температуры (ВГТ) наблюдалась в декабре и достигала 97 м, в июне она уменьшалась до 25 м, что соответствует ее нормальному сезонному циклу. Наибольшие значения максимума ВГТ по абсолютной величине (7 °С/м) отмечались в августе в период максимального прогрева поверхностных вод. В этот период глубина залегания максимума ВГТ не превышала 50 м. Зимой – весной, когда максимум ВГТ заглублялся до 90–95 м, его значения уменьшались до 1–2 °С/м.

Значения температуры в ядре холодного промежуточного слоя (ХПС) были минимальны летом в конце июня и составляли на

акватории полигона съемки 7,8–8,2 °С. Зимой в декабре они повышались до 8,1–8,8 °С. Повышение температуры в ядре ХПС от лета к зиме в 2022 г. согласуется с результатами предыдущих экспедиций. Максимальная глубина залегания ядра ХПС по данным всех съемок 2022 г. изменялась незначительно и составляла 95–105 м.

В целом распределения гидрологических характеристик с апреля по декабрь 2022 г. не выходят за пределы климатических параметров, характерных для района исследований, что, в свою очередь, свидетельствует о том, что гидрологические процессы находились в пределах естественной изменчивости.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ FNNN-2021-0004 «Океанологические процессы».

РЕЗУЛЬТАТЫ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ОБРАТНОГО РАССЕЙЯНИЯ В РАЙОНЕ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОДСПУТНИКОВОГО ПОЛИГОНА. УСТАНОВЛЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ С ДИСПЕРСНЫМ СОСТАВОМ И КОНЦЕНТРАЦИЕЙ ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА

А. А. Чепыженко ✉, **А. И. Чепыженко**

МГИ, Севастополь, Россия

✉ *annachep87@yandex.ru*

Ключевые слова: обратное рассеяние света (b_b), общее взвешенное вещество, дисперсный состав взвеси, оптический зонд Кондор, установление взаимосвязей.

Обратное рассеяние света (b_b) относится к числу важнейших первичных гидрооптических характеристик наряду с показателем поглощения a , рассеяния b , ослабления c и средним углом рассеяния γ^2 . Это важный параметр при оценке концентрации и свойств взвешенных частиц в водной среде, удобный параметр мониторинга, надежно определяющийся по данным спутниковых сканеров цвета дистанционными методами.

В работе представлены результаты проведенного в октябре 2022 г. эксперимента на акватории Черноморского подспутникового полигона, вблизи океанографической платформы МГИ, целью которого было получение совместных данных о вертикальной структуре вод в поле концентрации общего взвешенного вещества, дисперсного состава взвеси и обратного рассеяния света (b_b). Все данные получены одновременно единым измерительным средством – автономным гидробиофизическим мультипараметрическим оптическим зондом «Кондор» (ТУ 431230-006-00241904-2015; код ТН ВЭД ЕАЭС 9027 50 000 0; Сертификат ЕАЭС N RU Д-РУ.ЭМ03.А.00096/19). Измерения выполнялись в зондирующем режиме от поверхности до дна с дискретностью по глубине 0,1 м.

Проведенные исследования подтверждают наличие взаимосвязи обратного рассеяния b_b с концентрацией взвешенного вещества и его дисперсным составом. Для длины волны 488 нм получено вертикальное распределение обратного рассеяния b_b (нормированного) от поверхностного слоя вод до глубины 18 м. В вертикальном ходе данной величины отмечается рост значений b_b с увеличением глубины. $C_{bb}(z)$ здесь – немонотонная функция глубины с изрезанной формой профиля в поверхностном слое вод 1–1,5 м, равномерным приращением значений b_b в слое глубин 2–8 м ($r^2 = 0,97$) и постепенным уменьшением приращения b_b в слое глубин 8–18 м ($r^2 = 0,94$). Уменьшение приращения b_b как световой характеристики определяется особенностями рассеяния света взвешенными частицами, а также количеством ОВВ на каждом из последующих горизонтов.

Наиболее устойчивая взаимосвязь между обратным рассеянием и дисперсным составом взвеси получена для крупнодисперсной взвеси с размером частиц 100–500 мкм ($r^2 = 0,97$). При уменьшении размерного состава взвеси до 20 мкм и менее корреляционная связь уменьшается. Для взвешенного вещества размером 20–100 мкм коэффициент корреляции r^2 составил 0,94. Для мелкодисперсной взвеси, размер которой варьирует от 5 до 20 мкм, выявлена слабая обратная корреляционная взаимосвязь при значениях b_b ниже 0,85 отн. ед., в интервале же значений 0,85–1 отн. ед. величины b_b r^2 составил 0,89.

Сочетание в зонде Кондор измерителя спектрального обратного рассеяния BSS-K (BackScattering Sensor-Kondor) на шести участках спектра в видимом диапазоне (410, 440, 488, 515, 550

и 680 нм) с традиционными измерительными каналами *in situ*, характеризующими концентрации общего взвешенного вещества, его дисперсного состава (три группы: 5–20 мкм; 20–100 мкм; 100–500 мкм), позволяет выявлять взаимосвязи между спектральным распределением обратного рассеяния с концентрацией и свойствами взвешенных частиц.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНИАТЮРНОЙ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ УЧЕТА ВЛИЯНИЯ КАЧКИ СУДНА НА ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ВЕТРА И ТУРБУЛЕНТНЫЕ ПОТОКИ ТЕПЛА И ИМПУЛЬСА

Д. Г. Чечин^{1,2}✉, И. А. Репина¹, А. Ю. Артамонов¹,
Е. А. Марчук¹

¹ ИФА, Москва, Россия

² МЦФПМ, Москва, Россия

✉ chechin@ifaran.ru

Ключевые слова: приводный слой, турбулентность, метод турбулентных ковариаций, энергообмен атмосферы и океана.


Натурные измерения составляющих скорости ветра в приводном слое, в особенности их турбулентных пульсаций, осуществляемые на борту судна, осложнены влиянием качки, которое выражается в движении и повороте измерительной платформы. Для учета влияния качки на измерения трех составляющих скорости ветра были проведены синхронные измерения с помощью трехкомпонентного акустического анемометра и миниатюрной навигационной системы (ИНС) во время рейса НИС «Академик Страхов» по маршруту Архангельск – Калининград в ноябре 2021 г. Гидрометеорологические условия характеризовались штормовым волнением, в особенности в акваториях Баренцева, Норвежского и Северного морей. Влияние сильной качки выразилось в дополнительной изменчивости составляющих скорости ветра на высоте пеленгаторной надстройки величиной порядка нескольких метров в секунду. Показания миниатюрной ИНС, установленной над пеленгаторной надстройкой, сравнивались

с показаниями гораздо более точной ИНС, используемой при решении задач эхолокации.

Результаты сравнения показали хорошее согласие измерений двух приборов. Использование ИНС, расположенной рядом с акустическим анемометром, позволяло в явном виде скорректировать измерения скорости ветра путем поворота осей координат акустического анемометра и вычитания вектора скорости движения судна, в том числе обусловленного качкой. Для устранения влияния качки использован также метод спектральной фильтрации составляющих скорости ветра. Сделаны оценки влияния этих коррекций на турбулентные потоки тепла и импульса, рассчитываемые по данным акустического анемометра. Сделаны выводы о преимуществах и недостатках различных методов удаления эффекта качки.

Временные ряды составляющих скорости ветра, из которых удалено влияния качки, использованы не только для расчета турбулентных потоков тепла и импульса, но также и для исследования мезомасштабной изменчивости скорости ветра над Баренцевым и Норвежским морями, связанной с циркуляциями внутри конвективных ячеек.

РОЛЬ КРУПНОМАСШТАБНЫХ СТРУКТУР В ТУРБУЛЕНТНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ МОРЯ И АТМОСФЕРЫ

А. М. Чухарев , О. И. Ефремов, О. И. Павленко, А. Г. Зубов,
М. И. Павлов, В. А. Коржув

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

Ключевые слова: взаимодействие атмосферы и моря, генерация турбулентности, натурные измерения, параметризация, диссипация.

Интенсивность взаимодействия атмосферы и океана в большой степени зависит от турбулентных режимов в смежных слоях. В последние десятилетия особое внимание при изучении геофизической турбулентности уделяется формированию и развитию когерентных структур, которые могут переносить значительную

часть от общей энергии потока. Измерения в приводном слое атмосферы и приповерхностном слое моря проводились на океанографической платформе в Качивели в течение нескольких экспедиционных периодов. Для сбора данных использовались измерительные комплексы «Сигма-1», «Восток-М», акустический измеритель профиля скорости течения DVS, регистрировались также фоновые метеорологические параметры и характеристики волнения. Данные тщательно синхронизировались, проводились различные методы анализа, включая спектральный и вейвлет-анализ.

В результате анализа долговременных непрерывных наблюдений в приповерхностном слое моря выявлены крупномасштабные структуры с различными периодами, которые условно можно разделить на внутрисуточные, продолжительностью от 1 до 18 ч, и многосуточные с максимальной продолжительностью до трех суток. Периодичности наблюдаются по всем измеряемым параметрам, причем масштабы для разных параметров нередко различаются. Энергетические спектры, рассчитанные для турбулентных пульсаций скорости течения, имеют разный наклон в различных участках, что свидетельствует о различии процессов передачи энергии по спектру. Периоды свыше 42–44 ч для турбулентных величин обычно находились ниже спектра красного шума, т. е. имели невысокую значимость, тогда как для скорости ветра и скорости течения хорошо идентифицировались и на периодах до 72 ч. Корреляция масштабов структур в морской среде с атмосферными процессами наблюдается примерно в 70 % случаев.

Проведенные исследования позволяют сформулировать некоторые выводы. Синхронные измерения широкого спектра гидрофизических величин дают хорошую основу для уточнения параметризации процессов динамического взаимодействия двух сред. Использование быстродействующей аппаратуры и современных методов анализа дает возможность идентификации крупномасштабных турбулентных структур в исследуемом слое. Выделенные крупномасштабные структуры в турбулентном течении в приповерхностном слое моря, как правило, хорошо коррелируют со структурами в приводном слое атмосферы, но законы изменения спектральной энергии с ростом частоты в воздухе и в воде могут отличаться. Таким образом, анализ синхронных измерений в сопряженных слоях моря и атмосферы подтверждает значительную роль крупномасштабных структур в процессах взаимодействия двух сред.

БАЗА ДАННЫХ «ТЕРМОХАЛИННЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ АТЛАС АЗОВСКОГО МОРЯ»

Д. М. Шукало¹ ✉, Т. Я. Шульга^{1,2}

МГИ, Севастополь, Россия

ГОИН, Москва, Россия

✉ *mitya.googlovich@gmail.com*

Ключевые слова: база данных, Азовское море, температура, соленость, термохалинный атлас, биооптические параметры.

Основу массива данных «Термохалинного атласа Азовского моря» составляют систематизированные и обработанные данные гидрологических наблюдений и региональных спутниковых продуктов, полученных в Азовском море, Керченском проливе и прилегающей части Черного моря. Для формирования данного массива проанализированы архивные *in situ* данные по температуре и солености из базы океанографических данных ФИЦ Южный научный центр Российской академии наук за 1913–2006 гг. (atlas.ssc-ras.ru/azs/azs-invent.html) и за 1913–2018 гг. из банка океанографических данных ФГБУН МГИ РАН. Данные дистанционных наблюдений для «Термохалинного атласа Азовского моря» были получены из открытых ресурсов oceancolor.gsfc.nasa.gov и ncei.noaa.gov/products/world-ocean-database.

Массив данных оформлен в виде геоинформационной системы в сети Интернет с удобным интерфейсом, обеспечивающим режимы просмотра и скачивания. Данные могут быть использованы для вычислительной системы моделирования и прогноза морской динамики Азовского моря, для повышения достоверности морских прогнозов, уточнения представлений об изменчивости термохалинных процессов в широком диапазоне пространственно-временных масштабов. Данные о температуре и солености, представленные в «Термохалинном атласе Азовского моря», можно использовать в качестве входных данных в гидродинамическом моделировании для заполнения «белых пятен», связанных с отсутствием, как *in situ*, так и спутниковых данных.

Кроме того, данные, представленные в «Термохалинном атласе Азовского моря», предназначены для использования в различных научных и практических целях могут быть полезны для научных сотрудников, аспирантов, студентов океанологических, гидродинамических и биологических специальностей. Архивные *in situ* данные могут быть использованы для анализа внутривековых флуктуаций и трендов термохалинного климата Азовского моря. Например, тренды аномалий температуры и солености за 1913–2018 гг., построенные по этим данным приведены в [1].

В геоинформационной системе доступны результаты восстановления биооптических характеристик верхнего слоя Азовского моря, полученные с использованием региональных спутниковых биооптических алгоритмов [2]. К настоящему времени созданная база данных прошла регистрацию в Федеральной службе по интеллектуальной собственности [3] и готова к использованию.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме FNNN-2021-0003.

Список литературы

1. *Shukalo D. M., Shul'ga T. Ya.* Long-term and seasonal anomalies of the Sea of the Azov thermohaline structure for 1913–2018 // *Journal of Physics Conference Series*. 2021. Vol. 2057. 012133. doi:10.1088/1742-6596/2057/1/012133
2. Spectral Light Absorption Coefficient of Particles and Colored Dissolved Organic Matter in the Sea of Azov / Т. Я. Churilova [et al.] // *Fundamental and Applied Hydrophysics*. 2022. Vol. 15, iss. 3. P. 73–83. doi:10.48612/fpg/ex1p-9vtp-phu8
3. «Термохалинный электронный атлас Азовского моря»: база данных [Электронный ресурс] / Т. Я. Шульга, Д. М. Шукало ; ФГБУН ФИЦ МГИ. Электрон. дан. Москва, 2023. № гос. регистрации № 2023621161.

СЕКЦИЯ 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ В МОРСКИХ СИСТЕМАХ, МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ МОДЕЛИ

ВЛИЯНИЕ ГЕОСТРОФИЧЕСКИХ ТЕЧЕНИЙ НА ГЕНЕРАЦИЮ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ ВНУТРЕННИМИ ВОЛНАМИ

Н. О. Анкудинов¹, А. А. Слепышев^{1,2} ✉

¹ МГИ, Севастополь, Россия

² Филиал МГУ в г. Севастополе, Севастополь, Россия

✉ slep55@mail.ru

Ключевые слова: внутренние волны, вертикальная тонкая структура.

Тонкая структура гидрофизических полей – известное в физике моря явление, которое еще далеко до полного понимания. Механизмы генерации тонкой структуры весьма разнообразны. Одними из таких механизмов являются конвективные процессы, связанные с двойной диффузией, когда температура и соленость одновременно убывают или возрастают с глубиной при устойчивой стратификации. Однако этот механизм является достаточно экзотическим.

Более вероятным источником генерации тонкой структуры является обрушение внутренних волн, образующее пятна турбулентности. В то же время внутренние волны могут генерировать вертикальную тонкую структуру даже без обрушений, и эта структура имеет необратимый характер. Это связано с тем, что внутренние волны при учете вращения Земли и среднего течения, у которого компонента скорости, нормальная направлению распространения волны, зависит от вертикальной координаты, имеют ненулевые вертикальные потоки массы. Краевая задача

для внутренних волн в этом случае имеет комплексные коэффициенты, собственная функция и частота волны – комплексные, сдвиг фаз между колебаниями вертикальной скорости и плотности отличен от $\pi/2$. Ненулевые вертикальные волновые потоки массы приводят к генерации вертикальной тонкой структуры, которая имеет необратимый характер. Ранее горизонтальным изменением средней плотности на масштабе волны пренебрегалось.

Представляет интерес влияние горизонтальных градиентов плотности в геострофическом течении, когда эти градиенты выражаются через вертикальный сдвиг скорости течения из соотношений «термического ветра». Расчеты показали, что вертикальные волновые потоки массы при учете горизонтальной неоднородности поля средней плотности возрастают, генерируемая тонкая структура тоже увеличивается по амплитуде.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме FNNN-2021-0004 «Фундаментальные исследования океанологических процессов, определяющих состояние и эволюцию морской среды под влиянием естественных и антропогенных факторов, на основе методов наблюдения и моделирования».

ВЛИЯНИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ПРОЦЕССЫ, ФОРМИРУЮЩИЕ СТРУКТУРУ ВОД НА ШЕЛЬФЕ И МАТЕРИКОВОМ СКЛОНЕ В ЗАЛИВЕ ПРЮДС (ВОСТОЧНАЯ АНТАРКТИДА)

Н. Н. Антипов [✉], С. В. Кашин, М. С. Молчанов

ААНИИ, Санкт-Петербург, Россия
[✉]*antipov@aari.ru*

Ключевые слова: Антарктика, Южный океан, залив Прюдс, Антарктическая донная вода, Антарктическая шельфовая вода, Циркумпольная глубинная вода, каскадинг, антарктический склоновый фронт, материковый склон.

В докладе обсуждаются результаты экспедиционных исследований процессов формирования Антарктической донной воды

(АДВ), проведенных в период с 2004 по 2023 г. в заливе Прюдс моря Содружества (Восточная Антарктида). Анализируются данные океанологических наблюдений на разрезе по 70° в. д., выполненном за указанный период 10 раз и пересекающем шельф и материковый склон в районе, где в летний период 2004 г. экспедиция ААНИИ на НЭС «Академик Федоров» впервые зафиксировала факт формирования АДВ. Дальнейшие наблюдения подтвердили регулярность этих процессов в летний период. Обнаружена существенная межгодовая изменчивость структуры, характеристик, механизмов распространения основных водных масс на разрезе – Антарктической шельфовой (АШВ) и Циркумполярной глубинной (ЦГВ) водных масс, а также АДВ.


В 2016 г. в долготном диапазоне от 70° до 71° в. д. была выполнена площадная съемка, состоящая из 9 меридионально ориентированных разрезов. Уникальное для мировой практики высокое пространственное разрешение на полигоне позволило получить подробную картину мезомасштабной структуры вод над материковым склоном и прилегающей шельфовой областью. Исследованы особенности структуры антарктического склонового фронта, формирующегося в результате склонового каскадинга холодных АШВ при их взаимодействии с теплыми ЦГВ. Показана определяющая роль топографии дна в распространении вновь образованной донной воды (Донной воды залива Прюдс) по материковому склону. Данные наблюдений позволили представить трехмерную картину, когда в силу неразрывности движения в присклоновой области каскадинг сопровождается компенсационным апвеллингом ЦГВ, являющимся аналогом крупномасштабной горизонтальной адвекции ЦГВ. Каскадинг АШВ и апвеллинг ЦГВ формируют наблюдаемую интрузионную структуру вод на шельфе и склоне.

В 2023 г. при повторном (после 6-летнего перерыва) выполнении измерений на полигоне были выявлены важные изменения в структуре и характеристиках вод данной области Южного океана, имеющие существенные последствия для процессов климатического масштаба. Обнаружена значительная интенсификация (в сравнении с предыдущими наблюдениями с 2004 по 2016 г.) поступления в район материкового склона теплой глубинной воды из Антарктического циркумполярного течения (АЦТ). Это


проявилось в заметном увеличении мощности слоя ЦГВ, в первую очередь за счет подъема более чем на 200 м их верхней границы. При этом теплое ядро ЦГВ поднялось в среднем на 300 м, следствием чего стало увеличение потока тепла в поверхностные слои, приведшее к уменьшению глубины зимней конвекции (до 60 м в среднем относительно 100 м в предыдущие годы) и рост температуры (до $-1,6$ °С при обычном значении ниже $-1,8$ °С) в ядре Антарктической зимней воды.

Увеличение интенсивности поступления ЦГВ является следствием изменчивости климатического масштаба в режиме АЦТ и в 2023 г. проявилось в аномально низкой ледовитости не только района моря Содружества, но и Южного океана в целом. В свою очередь, климатическим следствием роста поступления ЦГВ на шельф является наблюдаемая (в основном для Западной Антарктиды) интенсификация таяния шельфовых ледников, ведущая к дестабилизации ледового щита Антарктиды.

АТМОСФЕРНЫЕ УСЛОВИЯ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ УСТОЙЧИВЫХ ВЕТРОВ НАД ЧЕРНЫМ МОРЕМ В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД ГОДА

Д. В. Башарин , И. Г. Шокурова

МГИ, Севастополь, Россия

 *dbasharin@rambler.ru*

Ключевые слова: Черное море, устойчивые ветры в теплый сезон года, приземное давление, высота изобарической поверхности 500 гПа.

Перемешивание в верхнем слое моря и характер его циркуляции во многом зависит от ветрового режима над морем. Учет ветрового режима важен при строительстве гидротехнических сооружений и прогнозировании сгонно-нагонных явлений, при изучении изменения уровня вод в прибрежных регионах Черного моря. Особенно это становится актуальным, когда направление ветра устойчиво сохраняется в течение достаточно длительного времени. Для теплого периода

года работы в этом направлении отсутствуют. Все это и обуславливает цель настоящей работы – анализ атмосферных условий для случаев возникновения ветра с устойчивым направлением в Черном море в теплый период года.

Анализ ветровых ситуаций проводился на основе 6-часовых данных атмосферного реанализа ERA-Interim 1979–2017 гг. за теплый период года (май – октябрь). Черное море имеет небольшие размеры, поэтому для большинства синоптических ситуаций можно выделить преобладающий над морем ветровой поток. Для этого в центральной части бассейна выделен район, в котором практически отсутствует взаимодействие берег – море и бризовая циркуляция. Направление потока в центральном районе моря определялось на основе осреднения компонент скорости ветра по данным, попадающим на акваторию моря. В работе были выделены случаи, когда преобладающее над морем направление ветра не менялось в течение 5 суток и более (двадцати 6-часовых сроков). Всего выделено 15 случаев с устойчивыми ветрами за 38 лет. Из них 13 случаев было с устойчивым северо-восточным ветром с июня по октябрь и 2 случая с северным ветром (в июле и августе). Продолжительность этих случаев с устойчивым ветром может достигать 8,5 суток. Средние скорости ветра в течение этих 15 случаев варьируются от 4,2 м/с и до 6,9 м/с, при максимальных значениях до 10,2 м/с.

Анализ атмосферных условий в приземном слое и в средней тропосфере при возникновении устойчивых ветров в рамках обнаруженных 15 случаев проводился для крупномасштабного региона, включающего Черное море и Европейский регион. В регионе, ограниченном координатами 35°–85° с. ш., 10° з. д. – 100° в. д., были выделены поля приземного давления и геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа, соответствующие случаям с устойчивыми ветрами. Для них на основе метода разложения по эмпирическим ортогональным функциям были получены основные моды пространственного распределения приземного давления и геопотенциала с целью анализа типичных атмосферных условий при выделенных ветрах с устойчивым направлением над Черным морем.

Первая мода разложения приземного давления (с вкладом 44 %) свидетельствует об устойчивом расположении области

высокого давления над севером Центральной и Восточной Европы, которая также прослеживается до средней тропосферы и проявилась в первой моде геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа (с вкладом 37 %). Эта мода может быть связана с процессами блокирования в атмосфере средних широт, однако такой вывод нуждается в уточнении согласно критериям блокирования. Вторые моды анализируемых полей имеют распределение сходное с первой и характеризуются в два раза меньшим вкладом в дисперсию приземного давления и геопотенциала. Но центр повышенного давления у них смещен к западу/северо-западу Европы. Третьи и последующие моды рассматриваемых полей имеют достаточно маленький вклад, поэтому они не рассматривались.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДЛИННЫХ ВОЛН В РАЗВЕТВЛЕННЫХ БУХТАХ

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

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *aleksa.44.33@gmail.com*

Ключевые слова: длинные волны, цунами в бухтах, бухта Двойная, математическое моделирование, модель SWASH.

Наибольшую опасность длинные волны представляют непосредственно в прибрежной зоне, особенно при проникновении волн в узкие бухты, заливы, проливы. В Севастопольском регионе одной из наиболее сложных бухт является бухта Двойная. Она расположена в 15 километрах к западу от центра Севастополя, между Камышовой бухтой и мысом Херсонес, и состоит из Казачьей и Соленой бухт, различных по длине. Исследование закономерности распространения волн в таких бухтах представляет научный и практический интерес.

В рамках численного моделирования выполнено исследование проникновения длинных волн в разветвленную бухту, которая имеет характерные размеры и конфигурацию бухты Двойной,


расположенной в системе севастопольских бухт. Рассматривалось два варианта разветвленных бухт: симметричная – состоящая из двух одинаковых бухт; асимметричная – состоящая из бухт различной длины. Для моделирования распространения волн использовалась нелинейная гидродинамическая модель SWASH. Для определения краевых условий на жидкой границе расчетной области с помощью модели нелинейных длинных волн рассчитаны колебания уровня вблизи Севастополя в районе глубин 90 м при прохождении волн из трех потенциально возможных очагов цунами, вызванных подводными землетрясениями магнитудой 7.

Выявлено, что в случае проникновения цунами в асимметричную бухту колебания уровня в вершинах бухт различной длины происходят в противофазе. Наибольшие повышения уровня моря в бухтах в результате проникновения в них цунами из ближнего очага составили 2,5–2,8 м, для очага, расположенного в Ялтинской сейсмоактивной зоне, – 0,6–0,8 м, для удаленного очага, который находится вблизи побережья Турции, – 0,4–0,6 м.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ВОЛН ЧЕРЕЗ СКВОЗНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Э. К. Бирюкбаев , К. Н. Макаров

СГУ, Сочи, Россия

 *opa54321@bk.ru*

Ключевые слова: сквозные сооружения, прохождение волн, волновое давление, оптимальная сквозность сооружения.

Сквозные оградительные сооружения портов, в частности свайные стены в несколько рядов, являются перспективными оградительными сооружениями. Основной задачей проектирования таких сооружений является определение оптимальной их сквозности (отношения площади отверстий к общей площади сооружения), обеспечивающей равномерное распределение отраженной и прошедшей волны. В этом случае волновое воздействие

на сквозные свайные ряды и сплошную тыловую стену будет минимальным.

Целью данной работы является определение оптимального значения сквозности рядов свай сквозного оградительного гидротехнического сооружения из трех рядов свай при волновых воздействиях на основании численных экспериментов в программном комплексе SOLIDWORKS.

Задачи работы заключались в следующем:

1) разработать алгоритм численного эксперимента по определению давления по боковой поверхности свай сквозного свайного ростверка при волновом воздействии в программном комплексе SOLIDWORKS с модулем FlowSimulation;

2) в процессе численных экспериментов в двух вариантах задания волнового воздействия – удар и навал и четырех вариантах сквозности 1-го ряда свайного ростверка при неизменных значениях сквозности 2-го и 3-го рядов определить влияние каждого из факторов на равномерность распределения давления по рядам свай;

3) по параметру равномерности распределения давления выбрать наиболее рациональную конструкцию в пределах вариантов сквозности свай 1-го ряда от 0,10 до 0,35.

Согласно современным теоретическим представлениям, нашедшим отражение в нормативных документах, волновое давление в точке поверхности вертикальной круглоцилиндрической преграды на некоторой глубине в момент максимума горизонтальной силы зависит от инерционной и скоростной компоненты силы воздействия волн, определяемой с учетом эмпирических коэффициентов. При определении нагрузок и реакций фактор времени учитывается в гидростатической постановке и локально только в нескольких точках, определяемых эпюрой давления, полученной эмпирическим путем.

Рассматриваемые численные эксперименты позволили получить воздействия и реакции конструкций с учетом фактора времени в исследуемом пространстве между первым рядом свай и береговой стеной.

Конструкция свайного ростверка оптимизирована по параметру равномерности распределения волнового давления по боковой поверхности свай.

Установлено, что при волновом воздействии типа навал (относительно длинные волны), равномерность давления в рядах свай обеспечивается при сквозности свай 1-го ряда 0,35 при постоянной сквозности свай 2-го и 3-го рядов, равной 0,10.

При ударном волновом воздействии коротких, но высоких волн изменение сквозности 1-го ряда свай (от 0,10 до 0,35) существенно не изменяет распределение волнового давления между рядами, так как давление на сваи 1-го ряда существенно превышает давление в последующих рядах.

Полученные результаты позволяют считать наиболее оптимальной сквозность свай 1-го ряда ростверка, равную 0,35. Такая сквозность обеспечивает равномерное распределение давления по боковой поверхности свай и, следовательно, оптимальное отражение, прохождение и гашение волн сооружением.

ДАЛЬНИЕ ПОЛЯ ВОЛНОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ РАЗДЕЛА ГЛУБОКОГО ОКЕАНА И ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА

В. В. Булатов ¹✉, И. Ю. Владимиров ², М. А. Ильичева ³

¹ ИИПМех РАН, Москва, Россия

² ИО РАН, Москва, Россия

³ МГУ, Москва, Россия

✉ internalwave@mail.ru

Ключевые слова: ледяной покров, возвышение поверхности раздела, глубокий океан, дальние поля, локализованный источник.

Изучение волновых процессов в море с плавающим ледяным покровом актуально для изучения его реакции на различные гидродинамические возмущения, движущиеся надводные и подводные суда, процессы распада ледяных полей в интересах судоходства, а также совершенствования методов дистанционного зондирования поверхности ледяного покрытия.

Поверхностные возмущения ледяного покрова, которые могут быть зарегистрированы с помощью специальных радиолокационных и оптических систем, несут информацию не только об источниках возмущений, но и о характеристиках морской среды подо

льдом. Плавающий ледяной покров, определяющий динамическое взаимодействие между океаном и атмосферой, влияет на динамику не только морской поверхности, но и подповерхностных вод, так как в общем движении по вертикали участвует как ледяной покров, так и вся масса жидкости под ним.

Обычно предполагается, что ледяной покров является сплошным (его горизонтальные масштабы превышают длины возбуждаемых волн), и при достаточно общих условиях моделируется тонкой упругой физически линейной пластиной, деформации которой малы. Для проведения прогнозных расчетов возмущений ледяного покрова можно подбирать параметры модели генерации так, чтобы приблизить смоделированную волновую систему к реально наблюдаемым в природных условиях картинам возмущения поверхности льда. Целью настоящей работы является решение ранее не рассматриваемой задачи о построении асимптотик дальних волновых возмущений ледяного покрова, возбуждаемых локализованным источником в потоке однородной жидкости бесконечной глубины.

Методом стационарной фазы построены асимптотики дальних полей, которые дают возможность эффективно рассчитывать основные характеристики волновых возмущений на границе раздела ледяного покрова и качественно анализировать полученные решения. Полученные асимптотические результаты с различными значениями входящих в них физических параметров позволяют провести оценку характеристик возмущений ледяного покрова, наблюдаемых в реальных морских условиях, и рассчитывать дальние волновые поля, в том числе и от нелокальных источников возмущений различной физической природы. В результате проведения модельных многовариантных расчетов по асимптотическим формулам смоделированная волновая система может быть приближена к наблюдаемым в натуральных условиях волновым картинам, что дает возможность оценить физические параметры реальных источников в морской среде с ледовым покрытием и определить основные характеристики начальных возмущений, варьируя модельные значения исходных параметров. Таким образом, модели волновой генерации на поверхности раздела морской воды и льда могут быть не только верифицированы, но и использованы для проведения прогнозных оценок.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, грант 23-21-00194.

АПРОКСИМАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ЛЬДА В ВОСТОЧНО-СИБИРСКОМ МОРЕ

В. В. Бусев ¹✉, В. Ю. Чанцев ¹, С. В. Клячкин ²

¹ РГГМУ, Санкт-Петербург, Россия

² ААНИИ, Санкт-Петербург, Россия

✉ buvlad2002@gmail.com

Ключевые слова: лед, толщина льда, моделирование, функция распределения, сезонный ход.

Толщина льда – это одна из важнейших характеристик ледяного покрова. Распространение толщины ледяного покрова не однородно из-за обилия различных факторов, влияющих на нарастание и динамику льда. Цель построения функции распределения толщины льда – описать сезонный ход эволюции толщины ледяного покрова и в дальнейшем выразить этот процесс посредством моделирования. Расчеты данных такого типа помогут делать более точные ледовые прогнозы, а также способствовать изучению процессов в ледяном покрове.

Задачи исследования:

– выделить и описать район измерений. В данной части работы требовалось учесть все физико-географические факторы, свойственные выбранному региону, которые влияют на нарастание и динамику ледяного покрова, такие как глубина в регионе, сезонный ход температур и скоростей ветра и др.;

– смоделировать тепловые и динамические процессы ледяного покрова. Для начала определяем тепловой баланс ледяного покрова, задаем физические силы, действующие на лед. Затем по формулам рассчитываем термическую эволюцию ледяного покрова для двухслойной среды (лед – снег). Естественно, для расчета данной модели задаем граничные условия на границах лед – вода, снег – лед, атмосфера – снег;

– рассчитать функцию распределения толщины льда. Полученные по модели данные о толщине льда, выражаются и анализируются в предположении о нормальном законе распределения.

ПРОЯВЛЕНИЕ ПЛЮМА КУБАНИ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

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

МГИ, Севастополь, Россия

[✉] *nadinkot.nk@gmail.com*

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

Кубань – одна из крупнейших рек, впадающих в акваторию Азовского моря. Ее пресноводный сток является значительной составляющей водного баланса акватории, а также существенно влияет на соленость вод, содержание минеральных и биогенных элементов. Средний годовой сток Кубани составляет 13 км³.

Спутниковые данные позволяют исследовать особенности проявления плюма, его обширность, направление распространения в акватории, сезонную изменчивость. В данной работе использовались оптические спутниковые снимки высокого разрешения MSI Sentinel-2, OLI Landsat-7, -8, а также среднего разрешения MODIS/Aqua, Terra за период 2015–2022 гг. Для исследования влияния ветровых условий на распространение плюмов в акватории привлекались данные реанализа NCEP с 6-часовой дискретностью.

Вместе с пресноводным стоком в море поступает большое количество биогенных элементов, что способствует росту первичной продукции. В результате в зоне плюма наблюдаются повышенные значения концентрации хлорофилла *a* (до 15 мг/м³).

Как правило, плюм устья основного рукава Кубани формируется в виде двух струй. Наиболее обширные плюмы наблюдаются в весенне-летние месяцы в период половодья, а также в отдельных случаях в период кратковременных паводков в течение года, возникающих в результате обильных осадков в районе бассейна реки. Площадь наиболее интенсивных плюмов может составлять до 39 км². Распространение кубанских плюмов зависит от преобладающего ветра и чаще всего происходит в западном направлении. В некоторых случаях плюм распространялся на расстояние до

15,5 км от береговой линии. Как правило, такому обширному распространению способствуют условия низкой ветровой активности (скорость до 5 м/с).

Исследование особенностей проявления плюмов выполнялось в рамках Госзадания FNNN-2021-0003. Исследование оптических характеристик морской среды осуществлялось при поддержке гранта РНФ 23-27-00421.

МАССИВ ДАННЫХ О ПЕРЕФОРМИРОВАНИИ РЕЛЬЕФА ДНА БУХТЫ КРУГЛОЙ ДЛЯ ЗАДАЧ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Л. В. Вержевская ✉, **А. В. Багаев**, **Д. И. Лазоренко**,
В. Ф. Удовик, **В. В. Долотов**

МГИ, Севастополь, Россия
✉ ludmyla.ver@mhi-ras.ru

Ключевые слова: массив глубин, бухта Круглая, гидрографический комплекс, рельеф дна.

В бухте Круглой (г. Севастополь) происходят активные динамические процессы, приводящие к переформированию рельефа дна. Для решения задач численного моделирования перемещения песчаных наносов в акватории б. Круглой под воздействием ветрового волнения в ФГБУН ФИЦ МГИ сформирован массив глубин, организованный на нерегулярной сетке с координатной привязкой, и привлечены данные промерных работ, производившихся в 2021–2022 гг.

Целью данной работы было выявление изменений в батиметрии б. Круглой и уточнение модельной сетки массива глубин для проведения численных расчетов.

Базовый вариант массива глубин получен путем оцифровки навигационной карты б. Круглой с масштабом 1:5000 в системе координат Pulkovo 1942.

При проведении экспедиционных работ в 2021–2022 гг. глубины в б. Круглой измерялись при помощи следующих приборов:

– высокоточный беспилотный гидрографический комплекс EFT-boat 3, оснащенный ГНСС-приемником геодезического класса и эхолотом, производящим измерение глубин в диапазоне 0,15–300 м, что позволило определять пространственные координаты точек измерения глубин с сантиметровой точностью и осуществлять автоматическое вычисление поправки к уровню;

– эхолот Lowrance Elite FS7 со встроенной GPS-антенной (частота 10 Hz).

Полученные в 2021–2022 гг. новые данные в виде точечных слоев с геопривязкой и указанием глубины (треки), а также базовый рельеф дна на нерегулярной сетке были загружены в проект ГИС QGIS 3.10. Затем при помощи инструмента nearest hub distance («расстояние до ближайшего концентратора») было определено расстояние между точками промерных треков и узлами расчетной сетки и выбраны точки, лежащие на расстоянии, не превышающем 1 м.

На следующем этапе при помощи инструмента «калькулятор полей» определялась разность в значениях глубин и были получены диаграммы рассеяния. Согласно диаграммам, преобладающее количество расхождений в значениях глубин лежит в пределах $-0,4-0$ м. При этом отклонений с отрицательным знаком было выявлено значительно больше. Это свидетельствует о том, что в целом глубины, измеренные в 2021–2022 гг., превышают среднемноголетние, отображенные на навигационных картах. Минимум и максимум расхождений составляют $-1,7$ и $0,9$ м соответственно. Большинство значительных отклонений сосредоточено в центральной части бухты, а близкие к нулевым значения расположены ближе к берегу.

Таким образом, можно сделать предварительный вывод, что в последние десятилетия рельеф дна в бухте Круглой изменялся за счет естественных и антропогенных факторов. Этот вывод требует дальнейшего уточнения в ходе экспедиционных исследований на учащенной сетке промерных галсов.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТАЙФУНОВ НАД ЮГО-ВОСТОЧНОЙ АЗИЕЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ РЕГИОН

Г. А. Власова¹✉, Ле Динь Мау², Нгуен Тхи Тхай Зунг²,
С. С. Марченко¹

¹ *ТОИ ДВО РАН, Владивосток, Россия,*

² *Институт океанографии Вьетнамской академии наук и технологий,
Нячанг, Вьетнам*

✉ *gavlasova@mail.ru*

Ключевые слова: Южно-Китайское море, острова Спратли, дальневосточные моря России, атмосферные и гидродинамические процессы, тропические циклоны.

Основные районы возникновения тропических циклонов составляют семь фактически обособленных непрерывных зон, которые имеют следующие названия бассейнов: Северо-Атлантический, Северо-Восточный Тихоокеанский, Северо-Западный Тихоокеанский, Северо-Индийскоокеанский, Юго-Западный Индийскоокеанский, Юго-Восточный Индийскоокеанский и Юго-Тихоокеанский. Тропические циклоны зарождаются в основном в тропической зоне Северо-Западного бассейна Тихого океана (60 %) и частично в Южно-Китайском море (40 %). В связи с этим самым активным бассейном является Северо-Западный Тихоокеанский, где ежегодно возникает 25,7 тропических циклонов силы тропического шторма из 86 в мире. Наименее активным является Северо-Индийскоокеанский бассейн, где ежегодно зарождаются лишь 4–6 тропических циклонов.

По шкале Saffir-Simpson (United States National Meteorological Service) были выбраны тайфуны и ураганы в диапазонах 0°–70° с. ш., 110°–180° в. д. (окраинные моря северо-западной части Тихого океана) и 0°–24° с. ш., 99°–122° в. д. (Южно-Китайское море) за период 1951–2019 гг. Тропическим штормом по шкале Saffir-Simpson называют тропический циклон со скоростью ветра в диапазоне 18–32 м/с, тропическим ураганом 1-й категории –

в диапазоне 33–42 м/с, тропическим ураганом 5-й категории – свыше 70 м/с.

Для анализа распределения тропических циклонов (тайфунов, ураганов) над Юго-Восточной Азией в целом и Южно-Китайским морем в частности, а также оценки их влияния на Дальневосточный регион была привлечена следующая информация из доступных Интернет-ресурсов: <https://coast.noaa.gov/hurricanes/> (USA); https://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/rsmc-hp-pub-eg/RSMC_HP.htm (Japan) за период 1951–2019 гг. и метеорологические данные, полученные с вьетнамской метеостанции на о. Спратли архипелага Спратли за период 1987–2018 гг. Указанная информация включает в себя скорость ветра, радиус максимальной скорости ветра, давление в центре тропического циклона, его положение и траектории.

В результате анализа установлено, что в Южно-Китайском море наблюдался тренд в сторону увеличения количества тайфунов, приходящих извне или формирующихся непосредственно в самом море. Это вызывает опасение, что в будущем возможно усиление экологической нестабильности в регионе.

Естественно, Юго-Восточная Азия получает первый мощный удар стихии, так как основная часть тропических циклонов формируется вблизи Филиппинских островов, разворачиваясь в северо-восточном направлении в районе о.Тайвань. Но часть тропических циклонов направляется в сторону Дальневосточного региона вплоть до Алеутских островов с выносом большого количества энергии, что оказывает влияние на формирование погодных условий Дальнего Востока. К территории Дальневосточного региона тропические циклоны приходят уже не в фазе максимального развития, а в трансформированном виде (экс тропическая депрессия, экс тропический шторм, экс-тайфун), тем не менее они несут за собой катастрофические последствия для Дальнего Востока. Из 1811 тайфунов, сформировавшихся над Юго-Восточной Азией за период 1951–2019 гг., 132 тайфуна достигли Дальневосточного региона.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ДИНАМИКИ ШЕЛЬФОВЫХ ВОД ПРИ ИНТЕНСИВНОМ ЛЕДООБРАЗОВАНИИ В ПОЛЫНЯХ РАЗЛИЧНОГО ТИПА

П. Н. Головин, М. С. Молчанов ✉

АНИИ, Санкт-Петербург, Россия

✉ *mms@aari.ru*

Ключевые слова: Антарктика, Южный океан, антарктическая шельфовая вода, численное моделирование, каскадинг.

В докладе обсуждаются результаты моделирования развития плотностной структуры и бароклинной динамики антарктических шельфовых вод (АШВ) в области шельф – склон. Существуют естественные условия в зимний период в Арктике и Антарктике, когда подледный слой воды на шельфах находится при температуре, близкой к температуре замерзания при данной солености. В связи с этим существует понятие зимней (чисто соленостной) конвекции, обусловленной исключительно потоком солей в воду либо при статическом ледообразовании на нижней поверхности льда в полынье, покрытой молодым льдом, либо при внутриводном – динамическом – ледообразовании в приповерхностном турбулентном слое в полынье с открытой водной поверхностью.

Для точной оценки потоков при развитии течений на склоне используется мелкомасштабная негидростатическая модель Fluidity-ICOM. Возможность мелкомасштабного негидростатического моделирования позволяет хорошо отследить эволюцию плотностных течений на шельфе и склоне от мелкомасштабных структур до формирования субмезомасштабных (и даже мезомасштабных) структур, показывает природу развития плотностных течений в зависимости от изменчивости внешних потоков плавучести. Начальные условия соответствуют зимней структуре вод на шельфе, когда уже не требуется охлаждения воды до температуры замерзания. На поверхности полыньи устанавливается

тепловой баланс при температуре воды, близкой к температуре замерзания, естественный для этого периода.

Получены оценки потоков соли (плавучести) для различных типов полыней: покрытых молодым льдом и с открытой водной поверхностью – во всем диапазоне экстремальных метеоусловий образования и существования таких полыней в Антарктике. В зимних условиях Антарктики время существования полыни, покрытой молодым льдом, когда скорость статического образования льда на нижней поверхности самая большая, не превышает 3–4 суток. А время существования полыни с открытой водной поверхностью, где происходит наиболее интенсивное внутриводное ледообразование, не превышает 1–2 суток, при влиянии кататических ветров – до 3–4 суток. Таким образом, предельное время расчетов в численных экспериментах составляло не более трех суток.

Анализ структуры именно развитых плотностных течений выполнялся на конец заданного временного интервала, когда можно полагать, что внешний поток плавуности в полынье квазипостоянный. В зависимости от увеличения интенсивности формирования АШВ и увеличения скорости их распространения выявлены различные режимы стока по материковому склону. Пространственные масштабы меандров и вихрей на склоне согласуются с модельными оценками локального бароклинного радиуса деформации Россби для этих течений. Есть совпадение с подобными оценками, сделанными для антарктического склонового фронта в море Содружества на основе данных натуральных измерений. Скорости распространения плотностных течений и перепады плотности на их границе также совпадают с данными натуральных измерений. Получены оценки объемного и удельного потоков АШВ на материковом склоне вблизи района существования прибрежной полыни Дарнли в море Содружества, которые позволяют оценить возможный вклад каскадинга АШВ в образование донных вод при различных режимах стока.

Представленное исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда – грант № 22-27-00013, <https://rscf.ru/project/22-27-00013/>.

ПРОЯВЛЕНИЕ СЕЙШЕВЫХ ТЕЧЕНИЙ В РАЗНЫХ РАЙОНАХ АЗОВСКОГО МОРЯ

К. С. Григоренко ✉, А. Д. Фролова

ЮИЦ РАН, Ростов-на-Дону, Россия

✉ *klim_grig@mail.ru*

Ключевые слова: дельта Дона, маловодье Дона, изменения климата, ионный состав вод, сгонно-нагонные явления, подземный сток, водовод.

Новейшие исследования позволяют провести районирование Таганрогского залива Азовского моря по степени влияния соленых азовоморских вод. Показано, что выделенные районы очень близки территориально к зоогеографическим районам Азовского моря, построенным по данным наблюдений ГОИН.

От устья Дона и до разреза коса Петрушинская – Чумбурская банка действует преимущественно речной режим циркуляции вод. Максимумы солености при отсутствии экстремальных нагонов не превышают 5–7 е. п. с. В акватории доминирует стоковое течение Дона, сейшевый перенос выражается в периодическом ослабевании стокового течения. Биотический режим близок к речному. Западной границей центрального района Таганрогского залива является разрез между косами Кривая и Сазальническая. В перемешивании вод большую роль играют сейшевые течения меридионального направления. Для центрального района характерно среднемноголетнее расположение зоогеографического порога обитания пресноводной фауны (5–7 е. п. с). Западный циркуляционный объем Таганрогского залива сформирован мелководными оконечностями кос Долгая и Белосарайская. Здесь преобладает морской режим перемешивания вод, на спектрах колебания уровня добавляется выраженный 38-часовой период 1-узловой сейши Азовского моря в целом. Соответственно, для акватории характерна соленость моря (более 14 е. п. с. в современное время) и соответствующее распределение донной фауны.

На основе проведенного анализа выделяются следующие ключевые параметры мониторинга Азовского моря: пресный сток

Дона и Кубани (распресняющие море в многоводные годы); режим течений моря позволяет охарактеризовать перенос солей и взвешенных веществ. Индикатором выражения стока и течений является соленость, многолетние колебания которой приводят к изменениям видового состава биотических сообществ.

Публикация подготовлена в рамках выполнения темы НИР ГЗ ЮНЦ РАН «Изучение гидроклиматических особенностей периодически пересыхающих акваторий юга России в контексте глобального углеродного цикла» № госрегистрации 122103100027-3 и НИР «Анализ исторических данных с целью обоснования системы мониторинга биогеохимических циклов в бассейне Азовского моря с учетом региональных особенностей» (Соглашение №72-223/ВИПГЗ-23 от 03.04.2023 г. между ИО РАН и ЮНЦ РАН в рамках Консорциума 2).

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ВНУТРИГODOVOЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПОДПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕЧЕНИЙ В РЕГИОНЕ НОВОРОССИЙСК – ГЕЛЕНДЖИК НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А. В. Григорьев ¹✉, А. И. Кубряков ²

¹ ГОИН, Москва, Россия

² МГИ, Севастополь, Россия

✉ ag-privat@mail.ru

Ключевые слова: система циркуляции, регион Новороссийск – Геленджик, технология вложенных сеток, субмезомасштабные процессы.

Численное моделирование динамики вод в регионе Новороссийск – Геленджик проводилось в ФГБУ «ГОИН» с марта 2022 г. по настоящее время как в рамках задач Росгидромета, так и для обеспечения технологии безэкипажного судовождения, создаваемой в Морском университете им. адмирала Ф. Ф. Ушакова

(г. Новороссийск). Была использована система моделей, использующая двойное вложение сеток. Крупномасштабная модель всего Черного моря (модель Европейского центра морских прогнозов Коперникус) снабжает начальными и граничными условиями региональную модель северо-восточной области моря, а та, в свою очередь, обеспечивает соответствующей информацией локальную модель. Шаг по пространству локальной модели составляет ~150 м, что позволяет воспроизводить в том числе субмезомасштабную динамику вод в прибрежной области моря. Атмосферное воздействие рассчитывалось по региональной атмосферной модели WRF с пространственным шагом ~10 км.

Анализ данных расчетов по локальной модели с временной дискретностью 3 часа показал следующее. Кромка шельфа, который в рассматриваемом регионе является довольно узким, во многих случаях является границей, разделяющей циркуляцию на шельфе и в глубоководной зоне. При этом нередко течения имеют направление по нормали к берегу через область материкового склона, объединяя циркуляцию обеих областей. Максимумы скоростей течений в различные временные интервалы могут находиться как в глубоководной, так и в прибрежной зоне. Направленность течений в шельфовой зоне имеет реверсивный вдольбереговой характер. Причем имеют место как однонаправленные течения во всей прибрежной зоне, так и различные по направлению в ее северо-западной и юго-восточной частях. В области склона и глубоководной части региона течения также имеют разнонаправленный характер, обусловленный, по-видимому, наличием здесь динамических образований синоптического масштаба.

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИКИ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ЧЕРНОГО И МРАМОРНОГО МОРЕЙ

С. Г. Демышев, О. А. Дымова, Н. В. Маркова

МГИ, Севастополь, Россия

✉ *n.v.markova@mail.ru*

Ключевые слова: Черное море, Мраморное море, моделирование, циркуляция, энергетика, цикл Лоренца.

Для исследования факторов формирования особенностей циркуляции в верхнем слое вод Черного и Мраморного морей проведены численные эксперименты по моделированию гидрофизических полей в каждом из бассейнов с помощью численной вихре-разрешающей модели МГИ. Рассмотрены квазистационарные состояния морей, сформированные под воздействием среднесуточного атмосферного форсинга на каждые сутки климатического года. Оценки вкладов физических процессов, определяющих динамику, выполнены на основе анализа энергетического цикла Лоренца, который включает уравнения бюджета средней и вихревой кинетической и доступной потенциальной энергии.

Моря являются частью Эвксинского каскада, соединяющего Азовское, Черное и Мраморное моря со Средиземным (в северной части Эгейского моря) и имеют с ним ограниченный водообмен через систему узких проливов. Каждое из рассматриваемых в работе морей может служить примером бассейна с двухслойной стратификацией вод, обусловленной значительным перепадом солености между черноморскими и средиземноморскими водами. С расположенностью в одном регионе связана схожесть их крупномасштабных атмосферных условий. Вместе с тем бассейны существенно различаются по объему и геоморфологии, а Мраморное море является типично проточным бассейном, входя в так называемую систему турецких проливов.

Несмотря на различия в структуре циркуляции морей, оценки вкладов таких физических процессов, как термохалинное и ветровое воздействие, диссипация, потоки плавучести и неустойчи-

вость течений, выполненные на основе расчета и анализа слагаемых энергетических уравнений, показали не только отличительные, но и сходные черты механизмов ее изменчивости. Для Мраморного моря такие оценки проведены впервые.

В ходе энергетического анализа выявлены общие черты в механизмах мезомасштабной изменчивости циркуляции и различия в механизмах крупномасштабной изменчивости. Основной вклад в кинетическую энергию средней климатической циркуляции Черного моря вносит работа силы ветра, для Мраморного моря доминирующий фактор формирования средней циркуляции – работа силы плавучести. Вместе с тем для обоих бассейнов изменчивость вихревой кинетической энергии, характеризующей мезомасштабную динамику, определяется бароклинной неустойчивостью. Получено, что в Черном море примерно 25 % доступной потенциальной энергии трансформируется в вихревую кинетическую энергию, а в Мраморном – около 50 %.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № FNNN-2021-0004.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ТУРБУЛЕНТНОГО ОБМЕНА НА РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ БИОМАССЫ ФИТОПЛАНКТОНА В ЧЕРНОМ МОРЕ

В. Л. Дорофеев ✉, **Л. И. Сухих**

МГИ, Севастополь, Россия
✉ viktor.dorofeev@mhi-ras.ru

Ключевые слова: Черное море, модель морской экосистемы, фитопланктон, турбулентная диффузия, потоки биогенов.

Целью работы было изучение влияния способа параметризации вертикальных процессов перемешивания в Черном море на распределение и динамику основных компонентов морской экосистемы. Решение задачи проводилось на основе численного моделирования. Были использованы два варианта модели нижнего

уровня пищевой цепи экосистемы Черного моря, отличающиеся способом параметризации процессов вертикальной турбулентной диффузии. В первом варианте коэффициенты диффузии представлялись в виде функций, зависящих от глубины и сезонно от времени. Во втором варианте для описания процессов вертикального обмена к модели циркуляции была добавлена турбулентная модель. Биогеохимические части моделей, состоящие из 15 переменных состояния, в обоих вариантах одинаковы. Были проведены расчеты на срок 12 лет, с 1998 по 2009 г., по обоим вариантам модели экосистемы.

Результаты моделирования сравнивались между собой и с данными *in situ* измерений. Кроме того, было произведено сравнение результатов моделирования с поверхностной концентрацией хлорофилла, полученной по спутниковым измерениям.

Анализ полученных результатов показал, что сезонная изменчивость основных параметров экосистемы для двух расчетов отличается не очень сильно, при этом параметризация вертикальной турбулентной диффузии оказывает влияние на вертикальное распределение параметров экосистемы. Межгодовая изменчивость характеризуется уменьшением биомассы фитопланктона в фотической зоне глубоководной части моря для обоих расчетов. Это вызвано отрицательным трендом количества биогенных веществ, поступающих с реками.

По результатам моделирования показано, что поступление нитратов в слой фотосинтеза из нижележащего слоя обеспечивается главным образом адвекцией, а не турбулентной диффузией. Среднегодовые концентрации фитопланктона в верхнем слое моря, соответствующие первому расчету, выше, чем в расчете с использованием турбулентной модели. Это связано с тем, что вертикальная ячейка циркуляции, формирующаяся за счет циклонической завихренности поля ветра над Черным морем, для первого расчета получается более интенсивной. Соответственно, потоки нитратов в слой фотосинтеза для этого расчета выше.

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ЧЕРНОГО МОРЯ

В. Л. Дорофеев ✉, Л. И. Сухих

МГИ, Севастополь, Россия
✉ viktor.dorofeev@mhi-ras.ru

Ключевые слова: Черное море, модель циркуляции, реанализ, ассимиляция данных измерений, тренды изменчивости температуры, солёности.

Целью данной работы являлось изучение тенденций долговременной эволюции гидрологических полей Черного моря на основе реанализа, выполненного за 28-летний период. Для решения задачи был проведен расчет по численной модели циркуляции Черного моря с ассимиляцией данных дистанционного зондирования: аномалий возвышения свободной поверхности моря и поверхностной температуры, полученных по спутниковым измерениям. В качестве атмосферного воздействия использовались поля атмосферного реанализа ERA-5 (ECMWF).

В результате расчета были получены наборы гидрологических полей и полей течений Черного моря за период с 1993 по 2020 г. Оценка качества продуктов реанализа была проведена путем сравнения полученных результатов с профилями температуры и солёности, измеренными буями АРГО, дрейфовавшими в Черном море в рассматриваемый период. В работе выполнен анализ эволюции полей температуры, солёности и течений в верхних слоях моря за рассматриваемый период времени.

Полученные в работе результаты демонстрируют нагрев верхнего слоя Черного моря, индикаторами которого служат положительные тренды средней температуры в разных слоях, увеличение теплозапаса верхнего слоя моря и повышение средней температуры в ядре холодного промежуточного слоя. За изучаемый период солёность также имеет тенденцию к росту.

ЭВОЛЮЦИЯ ДОЛИ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ, ПОКРЫТОЙ ПЕНОЙ, ПРИ РАЗГОНЕ ВОЛН ОТ БЕРЕГА

В. А. Дулов , Е. В. Скиба, А. А. Кубряков

МГИ, Севастополь, Россия

 *dulov@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: ветровые волны, обрушения волн, развитие волн от берега, морская пена, Landsat-8.

Обрушения ветровых волн и сопутствующая им морская пена интересны как явления, отражающие диссипацию энергии ветровых волн и процессы обмена между атмосферой и океаном. Обрушения волн и морская пена влияют практически на все основные сигналы дистанционного зондирования океана из космоса. Морская пена возникает при обрушении волн из-за захвата водой объемов воздуха, которые далее существуют в виде пузырьков, постепенно всплывая к поверхности и генерируя брызги при схлопывании. В областях пены возникают аномалии диэлектрической проницаемости воды, что позволяет регистрировать пену микроволновыми радиометрами. Это обстоятельство чрезвычайно важно для спутниковой диагностики ураганов, в области которых морская поверхность скрыта облаками и недоступна для оптических наблюдений. Для целей дистанционной диагностики необходимо знать связь доли поверхности, покрытой пеной (обозначаемой далее W), как со скоростью ветра, так и со степенью развития ветровых волн – их возрастом. На сегодняшний день зависимости W от возраста волн, полученные различными авторами, изумительно противоречивы.

В данной работе мы стремились экспериментально прояснить проблему зависимости пенопокрытия от разгона волн, определяющего их возраст, используя спутниковые данные. Применен классический подход к исследованию развивающихся волн: волны считались приходящими от берега при примерно постоян-

ной скорости ветра. Исследование включает две сцены интенсивных катабатических ветров – в Лионском заливе и заливе Техуантепек. Мы использовали оптические изображения со спутника Landsat-8 в каналах 5 и 7 для одновременного восстановления частоты спектрального пика волн и W вдоль разгона волн от берега. Распределения частоты спектрального пика вдоль разгона, подчиняющиеся классическому закону развития волн, показали, что мы действительно наблюдаем развивающиеся волны. По мере развития волн от берега W увеличивается по степенному закону примерно в три раза. Облака точек, соответствующие двум сценам, перекрываются, обеспечивая данные в диапазоне безразмерных разгонов от 50 до 7000, если разгон масштабируется с использованием скорости ветра и ускорения свободного падения. Предложена простая физическая модель роста W по мере развития волн. Мы рассмотрели скорость диссипации волновой энергии, используя спектр JONSWAP для развивающегося волнения. Модель объясняет наблюдения на количественном уровне. Полученные результаты могут быть приложены к исследованиям тропических циклонов с использованием спутниковой микроволновой радиометрии.

Работа выполнена по гранту Российского научного фонда (проект № 21-17-00236, Исследования поверхностных волн и их обрушений в тропических и полярных циклонах на основе спутниковых измерений и моделирования, <https://rscf.ru/project/21-17-00236/>) на базе информационных и вычислительных ресурсов МГИ РАН, развитых в рамках государственных заданий FNNN-2021-0004 и FNNN-2021-0002.

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ ВОД В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ И ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В ЛЕТНИЙ СЕЗОН 2017 ГОДА

Н. А. Евстигнеева ✉, С. Г. Демышев, О. А. Дымова

МГИ, Севастополь, Россия

✉ naevstigneeva@yandex.ru

Ключевые слова: численное моделирование, ассимиляция данных наблюдений, энергетический анализ, мезомасштабные особенности циркуляции.

В работе изучаются динамические и энергетические характеристики прибрежной циркуляции Черного моря в летний сезон 2017 г. на основе анализа трехмерных гидрофизических полей и массивов компонентов бюджета кинетической и потенциальной энергий, реконструированных с помощью численной модели Морского гидрофизического института с ассимиляцией гидрологических данных.

Использовалась горизонтальная сетка $1,64 \times 1,64$ км и 27 горизонтов по вертикали. Численный эксперимент был проведен с 13 июня по 3 июля 2017 г. для всей акватории Черного моря. Для подробного анализа выбрана область, расположенная между меридианами 31 и 37° в. д. и параллелями 43 и 45,5° с. ш. Для усвоения данных 95-го рейса на НИС «Профессор Водяницкий» (температура и соленость морской воды до глубины 1000 м на 132 дрейфовых станциях) применялась процедура четырехмерного анализа, основанная на фильтре Калмана. Для задания атмосферного форсинга использовались данные реанализа ERA5 с разрешением $(1/4)^\circ$. Коэффициенты турбулентной вязкости и диффузии по вертикали рассчитывались в соответствии с параметризацией Меллора – Ямады 2.5. Коэффициенты турбулентной вязкости и диффузии по горизонтали выбраны по результатам вспомогательных численных экспериментов.

В течение расчетного времени отмечено ослабление потока Основного Черноморского течения и формирование вихрей разных масштабов. Отчетливо проявился Севастопольский антициклонический вихрь между 31 и 32° в. д. с радиусом около 35 км и антициклонический вихрь у юго-восточных берегов Крыма с радиусом около 25–30 км. В восточной части области наблюдались две динамические зоны: прибрежная зона с антициклонической завихренностью течений и область циклонической завихренности в глубоководной части моря. Вдоль западного и восточного побережий Крыма генерировались вихри малых масштабов различного знака вращения при обтекании течения береговой линии и неоднородностей рельефа дна.


Выделены и проанализированы наиболее энергетически значимые компоненты в уравнениях бюджета кинетической и потенциальной энергии. Показано, что в течение расчета максимальный приток в кинетическую энергию был от ветра и только при ослаблении ветрового воздействия преобладающее влияние оказывала работа силы плавучести. Потеря энергии происходила за счет горизонтального и вертикального внутреннего трения.

На основе анализа полей мгновенных значений слагаемых уравнений бюджета кинетической и потенциальной энергии (работы силы плавучести, диссипации энергии вследствие вертикального внутреннего трения вертикальной диссипации и слагаемого, определяющего вклад в кинетическую энергию от ветра) предложены возможные механизмы образования вихревых структур.

Расчеты гидрофизических полей на основе модели МГИ с учетом данных гидрологической съемки 2017 г. выполнены в рамках государственного задания по теме № FNNN-2021-0003. Анализ энергетических характеристик и изучение возможных физических механизмов генерации особенностей циркуляции проведен в рамках государственного задания по теме № FNNN-2021-0004.

ОСОБЕННОСТИ ПОЛЯ ТЕЧЕНИЙ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ КРЫМА ЛЕТОМ 2016 ГОДА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОДЕЛИРОВАНИЯ С ВЫСОКИМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

Н. А. Евстигнеева , О. А. Дымова

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

Ключевые слова: численное моделирование, прибрежная зона, высокое пространственное разрешение, мезомасштабные и субмезомасштабные особенности циркуляции.

Проведен численный эксперимент по реконструкции полей течений в зоне крымского участка шельфа с пространственным разрешением ~560 м по горизонтали и 27 горизонтов по вертикали на основе гидродинамической модели, разработанной в Морском гидрофизическом институте, и данных наблюдений о температуре и солёности в период проведения 87-го рейса НИС «Профессор Водяницкий», а также данных о спутниковой температуре поверхности моря.

Рассматриваемая область расположена между 33,37–36,46° в. д. и 44,00–45,15° с. ш. Для построения массива глубин использовалась батиметрия EMODnet. Для задания полей тангенциального напряжения трения ветра, потоков тепла, коротковолновой радиации, осадков и испарения взяты данные атмосферного реанализа ERA5 с разрешением (1/4)°. Карты температуры поверхности моря построены на основе спутниковых данных центра морских исследований Copernicus. Профили температуры и солёности в период съёмки НИС «Профессор Водяницкий» взяты из Банка океанографических данных Морского гидрофизического института.

Коэффициенты турбулентной вязкости и диффузии по вертикали рассчитывались в соответствии с параметризацией Филандера – Пакановски. Коэффициенты горизонтальной турбулент-

ной вязкости и диффузии подобраны на основе серии специализированных численных экспериментов: $\nu^H = 5 \cdot 10^5 \text{ см}^2/\text{с}$, $\kappa^H = 3 \cdot 10^5 \text{ см}^2/\text{с}$.

На открытой части боковых границ для уравнений движения реализованы условия Дирихле (на каждый момент времени задавались компоненты скорости, рассчитанные по модели с разрешением 1,6 км для всего бассейна). Для участков границы, где вода втекала в область, задавались температура, соленость (условия Дирихле). Для участков границы, где вода вытекала из области, для определения T и S на открытой границе задавались условия Орланского. Дискретизация этих условий осуществлялась с использованием центральной явной численной схемы для расчета скорости переноса возмущений.

Для усвоения данных гидрологической съемки применялась процедура четырехмерного анализа, основанная на методике последовательной оптимальной интерполяции. Данные гидрологической съемки 87-го рейса НИС «Профессор Водяницкий», попадающие в рассматриваемую область, были сгруппированы по дням, и усвоение проводилось раз в сутки: 6 июля – 6 станций, 8 июля – 3 станции, 9 июля – 2 станции, 10 июля – 6 станций, 11 июля – 8 станций, 12 июля – 4 станции, 14 июля – 9 станций, 15 июля – 5 станций, 16 июля – 7 станций.

Численный расчет и анализ полей скорости в зоне Южного берега Крыма проведен для периода 30.06.2016–21.07.2016. В течение рассматриваемого времени наблюдался поток струи Основного Черноморского течения (ОЧТ) вдоль крымского побережья, максимальная скорость которого достигала 50 см/с на верхних горизонтах. Между береговой линией и ОЧТ в верхнем слое квазипериодически формировались и развивались мезомасштабные антициклонические вихри (например, вихрь с радиусом около 30 км между 34,5 и 35,2° в. д. и вихрь с радиусом около 15 км между 36 и 36,4° в. д. 1 июля, вихри с радиусами около 25 км между 34,4 и 35° в. д. и между 35,2 и 35,8° в. д. 11 июля). С 10 по 16 июля отчетливо проявился антициклонический вихрь между 33,37 и 33,9° в. д.

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

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АПВЕЛЛИНГА В ОБЛАСТИ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

В. В. Ефимов, Д. А. Яровая ✉

МГИ, Севастополь, Россия

✉ *darik777@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: холодное вторжение, мезомасштабное совместное моделирование, холодный промежуточный слой.

Исследована реакция верхнего слоя Черного моря на вторжение холодного воздуха 23–25 января 2010 г. при помощи совместной мезомасштабной модели море – атмосфера NOW с разрешением 1 км. Воспроизведено изменение температуры поверхности моря (ТПМ) 23–25 января 2010 г. вследствие холодного вторжения. Рассмотрены по отдельности основные факторы изменения ТПМ: горизонтальная адвекция, охлаждение поверхности моря за счет потоков явного и скрытого тепла и влияние вертикального турбулентного перемешивания. Рассмотрены основные изменения, которые произошли в холодном промежуточном слое (ХПС).

Показано, что понижение ТПМ на большей части моря произошло в результате тепло- и массообмена с атмосферой. Влияние горизонтальной адвекции и перемешивания через нижнюю границу ХПС проявилось только в отдельных небольших областях, т. е. имело локальный эффект. Показано, что процессы вовлечения в результате конвективного охлаждения охватили верхний слой моря вплоть до глубин около 40–45 м и составило ~ 1 °С. По результатам моделирования NOW показано, что за время холодного вторжения произошло понижение температуры ХПС и обнаружено наличие ХПС почти во всем море, локальные области отсутствия ХПС достаточно ограничены.

ВЛИЯНИЕ ДИСКРЕТИЗАЦИИ РЕГИОНАЛЬНОЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НА ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ТОЛЩИНЫ ЛЬДА

Д. Д. Завьялов , Т. А. Соломаха

МГИ, Севастополь, Россия

 *zavyalov.dd@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: модели морского льда, термодинамика, толщина льда, вертикальный температурный профиль льда, численное разрешение модели.

Морской лед оказывает существенное влияние на процессы обмена теплом, импульсом и влагой между атмосферой и океаном. Термический режим во льду определяется балансом тепловых потоков на его нижней и верхней границах. Наличие контакта с атмосферой, а также проникающая внутрь льда (или снега) коротковолновая радиация обуславливают в его верхнем слое наиболее заметные градиенты температуры, а следовательно, и изменения теплофизических свойств. Поэтому установление поверхностного теплового баланса будет напрямую зависеть от пространственной дискретизации модели. Отличительной особенностью ледового режима Азовского моря является его высокая сезонная изменчивость, обусловленная контрастными погодными условиями в зимний период. Следовательно, формирование крайне неустойчивого снежно-ледяного покрова Азовского моря будет несколько отличаться от эволюции морского льда в высоких широтах.

В работе представлена оценка влияния пространственно-временного разрешения нестационарной термодинамической модели снежно-ледяного покрова, учитывающей эволюцию температуры и теплофизических параметров льда, на вертикальный градиент температуры и термическую динамику толщины льда

в вершине Таганрогского залива зимой 2016/17 г. Результаты модельных расчетов толщины льда сопоставлялись с фактическими значениями толщины морского льда, снятыми с ледовых карт ЕСИМО.

Для оценки чувствительности модели к степени дискретизации пространственно-временных параметров шаг интегрирования по времени варьировался в пределах от полутора часов (1/2 шага атмосферного форсинга) до двадцати двух с половиной минут (1/8 шага атмосферного форсинга), а количество слоев льда – от 3 до 18. Вариант линейного распределения температуры внутри ледяной пластины (шаг по времени 3 ч, один слой льда) реализован с постоянным коэффициентом теплопроводности льда $k_i = 2,03 \text{ Вт/(м·К)}$.

Показано, что предположение о линейном распределении температуры во льду не позволяет описать ее суточные изменения, связанные с дневным прогревом, что, в свою очередь, сказывается на точности воспроизведения сезонной термической эволюции снежно-ледяного покрова. Многослойная модель проявляет достаточно сильную зависимость результатов расчета от дискретности сетки, особенно при грубом шаге по вертикали. Определены граничные величины пространственных и временных шагов, когда дальнейшее увеличение разрешения модели не приводит к заметному улучшению результатов.

Исследования показали, что для ледовых условий Азовского моря можно получить удовлетворительный прогноз сезонной эволюции толщины при построении пространственно-временной расчетной сетки, состоящей из 10–11 узлов по вертикали и шаге по времени 30 мин, а для расчета суточного хода температуры в его толще – из 16–19 пространственных узлов при том же временном шаге.

ОСОБЕННОСТИ ПРИЛИВНЫХ ЯВЛЕНИЙ В КУРИЛЬСКИХ ПРОЛИВАХ ПО ДАННЫМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

В. И. Ильин ✉, В. С. Архипкин

МГУ, Москва, Россия
✉ vsevolod_ilin@mail.ru

Ключевые слова: Курильские острова, приливы, приливные течения, проливы.

Анализ имеющихся литературных источников по выбранной теме показал, что особенности приливных колебаний уровня и приливных течений в проливах Курильской гряды мало изучены. В то же время знания этих особенностей в рассматриваемых районах крайне важны для рыбного хозяйства, судоходства и военной безопасности России.

Кроме того, 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. Однако в настоящее время в России отсутствуют принятые для научных исследований или для практического применения модели динамики проливов Курильских островов.

Цель данного исследования – изучение особенностей приливных колебаний уровня моря и приливных течений в Курильских проливах. При этом решались следующие задачи: 1) создание численной модели рельефа дна Курильских островов высокого разрешения; 2) адаптация численной модели прибрежной циркуляции вод ADCIRC к району исследования; 3) сравнение натурных данных с результатами численного моделирования; 4) выявление особенностей суммарных расходов вод через проливы в разные фазы приливов. Для создания численной модели дна использовались навигационные карты и база батиметрических данных GEBCO-2022. В качестве граничных условий на открытых

границах использовались гармонические постоянные из глобальной базы приливов FES2014. Всего было использовано 8 гармоник: M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1.

Для применения модели ADCIRC была создана триангуляционная расчетная сетка, охватывающая северную часть Татарского пролива, Охотское море 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. Для визуализации динамики изменения уровня, направления и скорости течений, а также суммарных расходов в различных проливах Курильской гряды были написаны программы на языках Python и Fortran.

Проведено сравнение результатов модели с натурными данными. Получено, что северо-восточные проливы Курильской гряды имеют смешанный тип приливов с преобладанием суточного хода, а при смещении на юго-запад начинает преобладать полусуточный ход. Максимальная величина приливов в исследуемый период достигает максимума в сизигии, значения достигают ~2,5–3 м. Самые большие значения наблюдались у полуострова Камчатка и у острова Хоккайдо, а также крупных островов Курильской гряды.


Также по полученным результатам были определены проливы с наибольшим расходом воды. Например, в проливе Буссоль во время сизигийного прилива суммарный расход воды достигал максимальных значений ~27 Свердрупов (1 Свердруп = 1 млн м³/с). Максимальные значения скоростей течений в сизигии достигали ~4,5–5 м/с. На основе модельных данных были проанализированы особенности приливных течений в мелководьях.

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

ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ТУРБУЛЕНТНОГО ОБМЕНА В СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ СЛОЯХ ЧЕРНОГО МОРЯ ВБЛИЗИ НАКЛОННОГО ДНА

Д. А. Казаков , А. С. Самодуров

МГУ, Москва, Россия

 *dk@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: диссипация энергии, стратифицированные слои, океанская турбулентность, Черное море, натурные измерения, моделирование.

Модели вертикального турбулентного обмена позволяют оценить вертикальные потоки растворенных веществ и вертикальные распределения их источников и стоков в широком диапазоне глубин. Однако физические механизмы, отвечающие за перемешивание в глубоководной части Черного моря, все еще остаются не вполне ясными: ввиду относительно небольших размеров Черноморского бассейна вероятность проникновения квазиинерционных волн, ответственных за локальное перемешивание в толще океана, значительно снижается с глубиной. Причиной тому может служить наклонное дно в качестве эффективного поглотителя.

Полученная в 122-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» информация о пульсационных характеристиках потока в стратифицированных слоях Черного моря впервые позволила определить зависимости коэффициента вертикальной турбулентной диффузии K от частоты плавучести N и от глубины z вплоть до глубин свыше 900 м. Информация о характеристиках турбулентности была собрана в 12-мильной прибрежной зоне вдоль южного побережья Крыма, что позволило улучшить параметризацию разрабатываемой в отделе турбулентности ФГБУН ФИЦ МГИ модели вертикального турбулентного обмена для условий наличия эффектов, способствующих перемешиванию вблизи наклонного дна.

Для параметризации модели при условии отсутствия динамических процессов, поддерживающих вертикальный обмен, использовался энергетический подход, описывающий интрузионное расслоение геотермального потока, поднимающегося вдоль наклонного дна.

Работа выполнена в рамках проекта РФФ № 22-17-00150.

**ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ВЛИЯНИЯ
ОСНОВНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ
ГЕНЕРАЦИИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ
И РАЗНОМАСШТАБНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СТРУКТУР
НА ТУРБУЛЕНТНЫЙ ОБМЕН
В ВЕРХНЕМ КВАЗИОДНОРОДНОМ СЛОЕ**

В. А. Коржуев

МГИ, Севастополь, Россия

✉ *genzak30@gmail.com*

Ключевые слова: верхний квазиоднородный слой, перемешанный слой, турбулентность, сезонный термоклин, модель Ниилера – Крауса.

Динамические процессы, протекающие в верхнем квазиоднородном слое (ВКС) океана, параметризуются глобальными климатическими моделями недостаточно точно по причине того, что турбулентное и лэнгмюровское перемешивание трудно учитывать. В настоящей работе представляются результаты модернизации модели перемешанного слоя Ниилера – Крауса многомасштабной моделью турбулентности.

Многомасштабная модель турбулентности позволяет оценить влияние турбулентной энергии на изменение толщины ВКС: параметризуются механизмы генерации турбулентной энергии сдвигом скорости течения, нелинейностью поверхностного волнения и обрушениями волн. Потоки тепла и работа на изменение сил плавучести учитываются в соответствии с моделью перемешанного слоя Ниилера – Крауса, оценивается инсоляция, испарение, эффективное излучение поверхности океана и контактный турбулентный обмен с атмосферой.

Итоговая модернизированная модель позволяет рассчитать толщину ВКС, изменяющуюся вследствие ветрового воздействия, потоков тепла из атмосферы и инсоляции. В существующей модели используется значительное количество измеряемых натурно параметров, что не позволяет использовать модель оперативно. Предлагается переход от оценки турбулентности с помощью энергии волнения к использованию только скорости ветра. Данный способ позволяет улучшить оперативные свойства предлагаемой модели.

Сбор натуральных данных осуществлялся на стационарной океанографической платформе Черноморского гидрофизического подспутникового полигона Морского гидрофизического института РАН (МГИ) в пгт Кацивели. Измерения проводились с помощью специализированной аппаратуры, созданной главным образом в МГИ.

Получены следующие результаты:

- исследована зависимость динамики перемешанного слоя под влиянием поверхностных волн, турбулентного перемешивания, интенсивности теплового обмена и изменения частоты плавучести;
- отмечено, что отсутствие на данный момент общепринятого метода расчета вклада поверхностных волн в турбулизацию понижает качество моделирования;
- произведено сравнение модели Ниилера – Крауса с натурными данными, проведена работа по улучшению оперативных свойств модели.

**ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ
КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА *A* И ТЕМПЕРАТУРЫ
ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ
В ВИСЛИНСКОМ И КУРШСКОМ ЗАЛИВАХ
БАЛТИЙСКОГО МОРЯ
ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

К. Д. Коробченкова^{1,2}✉, **С. А. Александров**^{2,3}

¹ БФУ, Калининград, Россия

² ИО РАН, Москва, Россия

³ АтлантНИРО, Калининград, Россия

✉ korobchenkova14@mail.ru

Ключевые слова: концентрация хлорофилла *a*, температура поверхности моря, измерения *in situ*, спутниковые данные, Вислинский залив, Куршский залив.

Вислинский и Куршский заливы Балтийского моря, находящиеся под воздействием различных факторов (заток морских вод,

речной сток, биогенная нагрузка), характеризуются высоким уровнем эвтрофирования.

В работе представлены результаты анализа спутниковых изображений и натурных измерений концентрации хлорофилла *a* как наиболее значимого показателя степени эвтрофированности вод и температуры поверхности моря в Вислинском и Куршском заливах в 2022 г. Для изучения температуры поверхности моря были проанализированы данные, полученные со спутниковых сканеров MODIS Aqua/Terra, для оценки концентрации хлорофилла *a* использовались данные мультиспектрального радиометра OLCI/Sentinel-3A/B. Также использовались измерения *in situ*: температура воды (CTD-зондирование) и концентрация хлорофилла *a* (спектрофотометрический метод).


Показан годовой ход и особенности сезонной динамики температуры поверхности моря и концентрации хлорофилла *a*. Распределение концентрации хлорофилла *a* имеет выраженный сезонный характер и отражает периоды активной вегетации фитопланктона.

Сопоставление спутниковых и натурных данных показало пространственное соответствие температурного режима и концентрации хлорофилла *a*. Значения концентрации хлорофилла *a*, полученные при спутниковом мониторинге, занижены по сравнению с натурными данными.

Обработка и анализ спутниковых данных были поддержаны из средств программы академического лидерства «Приоритет 2030» БФУ им. И. Канта, научный проект № 122110200031-7. Гидробиологические исследования выполнены в рамках госзадания ФГБНУ «ВНИРО» № 076-00004-23-01.

ВАРИАЦИОННАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ НАЧАЛЬНОГО ПОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА A В МОДЕЛИ ПЕРЕНОСА ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

В. С. Кочергин , С. В. Кочергин

МГИ, Севастополь, Россия
 *vskocher@gmail.com*

Ключевые слова: концентрация хлорофилла a , вариационный алгоритм, сопряженная задача, ассимиляция данных измерений.

В работе рассматривается процедура построения полей хлорофилла a путем вариационной ассимиляции доступной спутниковой информации за несколько суток в модели переноса. При численной реализации модели переноса и вариационного метода ассимиляции данных измерений использовались результаты расчетов по динамической модели МГИ для Черного моря. При численной реализации вариационного алгоритма ассимиляции применяются итерационные градиентные методы, а решение сопряженной задачи используется для построения градиента функционала качества в пространстве параметров. В работе реализован вариационный алгоритм усвоения спутниковой информации, который позволил получить поле концентрации хлорофилла a для акватории Черного моря с учетом неполного покрытия данными наблюдений. Процедура может быть использована для определения полей концентрации различных взвешенных веществ в море по данным, распределенным по времени и пространству.

Вариационный алгоритм ассимиляции реализуется для усвоения спутниковой информации о концентрации хлорофилла a в верхнем слое Черного моря. Особенность спутниковой информации заключается в том, что часто в ней имеются пропуски, например из-за облачности. Использование поверхностных значений концентрации хлорофилла в модели переноса – диффузии позволяет восполнить недостающую информацию в данных из-


мерений. В качестве искомого параметра было выбрано начальное поле концентрации хлорофилла. При реализации процедуры поиска экстремума функционала, характеризующего отклонения модельных оценок от данных измерений, используются решения основной, сопряженной задач и задачи в вариациях для построения градиента функционала и организации итерационного процесса. В качестве входной информации для модели переноса использовались результаты расчетов по гидротермодинамической модели МГИ с шагом по пространству 1,6 км и с реалистическим атмосферным воздействием. Для моделирования динамики полей хлорофилла a в водной среде используется уравнение адвекции – диффузии.

Проведенные расчеты показали эффективность используемого алгоритма при инициализации начального поля концентрации хлорофилла a в Черном море. Модель переноса используется в качестве интерполянта по пространству и времени, а решение сопряженной задачи – для построения градиента в пространстве параметров для итерационного спуска. Полученные при этом поля концентрации согласованы с распределенными по времени и пространству данными измерений и имеющейся информацией на соответствующий период времени. Результаты работы могут быть использованы при решении задач экологической направленности для Азово-Черноморского бассейна.

ВЛИЯНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ АДВЕКЦИИ НА ЭВОЛЮЦИЮ ВИХРЕЙ В НЕОДНОРОДНОМ ОКЕАНЕ

А. А. Кубряков , А. И. Кубряков

МГИ, Севастополь, Россия

 *arskubr@ya.ru*

Ключевые слова: вихри, горизонтальная адвекция, силы плавучести, численное моделирование, эволюция вихрей.

На основе идеализированных численных расчетов по модели циркуляции Princeton Ocean Model (POM) исследовано влияние

различных гидрофизических и географических факторов (размеры вихря, его интенсивность, стратификация вод, широта места, наклон дна, коэффициенты горизонтальной диффузии, горизонтальные градиенты плотности и др.) на свободную эволюцию синоптических вихрей. Модельные вихри инициировались в бароклинной жидкости с помощью кратковременного действия локальной однородной завихренности ветра, далее рассматривалось движение вихря в отсутствие внешних сил.

Отмечено, что из всех перечисленных факторов особо важную роль играют горизонтальные градиенты плотности, наличие или отсутствие которых существенно меняет режим эволюции вихрей. В зависимости от конфигурации фоновых градиентов плотности динамика вихрей может быть существенно различна, и связано это с тем, что вихрь вовлекает в свое орбитальное движение воды другой плавучести, что, в свою очередь, приводит к формированию присоединенных вихрей другого знака. Этот процесс периодичен и способен вызывать образование цепочки вихрей или волн Россби в следе «родительского» вихря.

Наиболее интенсивные присоединенные вихри образуются в восточной части антициклонов, так как здесь возникает дополнительная дивергенция вод, связанная с западным дрейфом вихря. Конфигурация образованного вихревого диполя определяет дальнейшее направление движение вихря. Например, при увеличении плотности к северу, пара антициклон – циклон вытянута с запада на восток. Возникающий дипольный момент приводит к смещению вихря на юг.


Проведенные численные эксперименты показали, что горизонтальная вихревая адвекция оказывает существенное влияние на изменение энергии системы. Вихрь извлекает большое количество энергии из фоновых градиентов плавучести, и кинетическая энергия системы сильно возрастает (в 2–10 раз) при наличии интенсивных градиентов плотности.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 21-77-10052.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В 2018–2020 ГОДАХ

А. В. Кузьмин , И. Е. Козлов

МГИ, Севастополь, Россия

 *vlowcs@gmail.com*

Ключевые слова: короткопериодные внутренние волны, спутниковые радиолокационные изображения, приливные течения, море Лаптевых, Хатангский залив, пролив Вилькицкого, мыс Арктический, остров Котельный.

В данной работе представлен анализ спутниковых радиолокационных наблюдений короткопериодных внутренних волн (КВВ) на акватории моря Лаптевых за период с июля по октябрь 2018, 2019 и 2020 гг. Основные районы генерации и распространения КВВ в море Лаптевых определены в ходе обработки и анализа 1690 радиолокационных изображений (РЛИ) Sentinel-1A/B за 2018–2020 гг. Покрывание акватории моря РСА-съемкой достаточно неравномерно: большая часть снимков охватывает центральную и западную части бассейна, меньший набор данных приходится на прибрежные участки и восточную часть моря.

Значительная часть зарегистрированных проявлений КВВ наблюдалась в сентябре и августе. Наблюдающееся увеличение районов регистрации КВВ в море Лаптевых может быть связано как с «атлантификацией» Евразийского сектора Арктики, так и увеличением площади открытых ото льда областей. Замечено, что наиболее часто в море Лаптевых КВВ регистрировались на бровке шельфа, севернее острова Котельный, в проливе Вилькицкого и на выходе из Хатангского залива. Эти районы характеризуются интенсивными приливными течениями, а также максимальными для акватории моря значениями плотности баротропной приливной энергии и скорости ее диссипации.

Сопоставление карт распределения основных характеристик КВВ (длины фронта лидирующего гребня и ширины пакета) за летне-осенние периоды 2018, 2019 и 2020 гг. показывает различие основных районов наблюдений КВВ, что может указывать на изменение фоновых гидрологических условий в море Лаптевых за этот период.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ по теме № FNNN-2021-0010.

ЗАПОЛНЕНИЕ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БЫВШЕГО АРАЛЬСКОГО МОРЯ ВОДАМИ СЕВЕРНОГО АРАЛА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА СНИМКОВ, ПОЛУЧЕННЫХ СО СПУТНИКОВ AQUA/TERRA (2000–2022)

Т. Ф. Кузьмичёва

МГИ, Севастополь, Россия

✉ *TFK12.93@yandex.ru*

Ключевые слова: Аральское море, Восточный Арал, Северный Арал, сброс воды через Кокаральскую плотину, расход воды в р. Сырдарье, гидроузел Аклак, спутники Aqua/Terra.

Из истории Аральского моря известно, что за весь период своего существования оно несколько раз высыхало практически полностью (регрессия), а затем опять наполнялось водой (трансгрессия). С запуском на орбиту спутников TERRA (2000 г.) и AQUA (2002 г.), которые пролетают над Аральским морем каждый день и имеют полосу обзора в этом районе около 2 тыс. км, впервые появилась возможность изучать пространственный характер и динамику основных особенностей, наблюдаемых в районе Аральского моря в период регрессии.

К 2009 г. дно восточной части бывшего Аральского моря (Восточного Арала) в результате высыхания оголилось настолько, что появилась возможность отслеживать со спутника маршрут движения вод, поступающих в Восточный Арал вследствие сброса вод из Северного Арала через Кокаральскую

плотину. В работе рассмотрены все такие случаи. Для каждого случая определены даты начала и конца сброса вод. Вычислены максимальные площади зеркала вод Восточного Арала, образовавшиеся в результате такого сброса.

Для каждого случая сброса вод рассчитан суммарный расход воды реки Сырдарьи в гидроузле Аклак, который находится в 15 км выше по течению от места впадения реки Сырдарьи в Северный Арал, недалеко от поселка Каратерен.

Наиболее подробно рассмотрено движение вод, полученных за счет сброса вод из Северного Арала в 2014–2015 гг., когда площадь зеркала вод в Восточном Арале увеличилась от 0 до максимального значения, равного 2433 км². Показано, как бывший залив Тще-Бас заполняется этими водами с юга после достижения ими определенного уровня, достаточного для преодоления перемычки, отделяющей залив Тще-Бас от Промежуточного Арала.

Обнаружено формирование отдельного водоема в небольшой впадине глубиной около 3 м на северо-западной оконечности Восточного Арала у входа в бывший пролив Узун, которой нет на батиметрической карте, построенной в условно-естественный период.

Показано, что, несмотря на ввод в эксплуатацию Кокаральской плотины, в рассмотренный период времени Восточный и Промежуточный Арал продолжали получать в результате попусков достаточное для обводнения количество воды. Определяющее значение имеет водность реки Сырдарьи в районе гидроузла Аклак.

Установлено, что после 2018 г. начался период относительной маловодности реки Сырдарьи, в результате чего годовой расход воды реки Сырдарьи в гидроузле Аклак уменьшился с 3033 млн. м³/год в 2018 г. до 551 млн. м³/год в 2022 г., т. е. в 5,5 раза. Этой воды оказалось недостаточно даже для того, чтобы поддерживать уровень в 42 м в Северном Арале, в результате чего стал быстро мелеть залив Сары-Чеганак, находящийся на северо-востоке Северного Арала. Разумеется, прекратился и сброс воды через Кокаральскую плотину, вследствие чего не осталось воды ни в Промежуточном, ни в Восточном Арале.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ УРОВНЯ И ТЕЧЕНИЙ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

Е. Е. Лемешко

МГИ, Севастополь, Россия

✉ *e.lemeshko@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: Северный Ледовитый океан, альтиметрия, стерический уровень, арктическая осцилляция, режимы циркуляции океана, GRACE.

Работа посвящена изучению межгодовой изменчивости режимов циркуляции вод Северного Ледовитого океана по данным альтиметрии для области от 65° до 89.75° с. ш., включая области океана, покрытые льдом. Цель заключается в исследовании изменчивости уровня океана и скоростей поверхностных геострофических течений в зависимости от типов атмосферной арктической циркуляции, выделенных на основе построения самоорганизующихся карт атмосферного давления.

Рассмотрено влияние различных режимов циркуляции океана и величины индекса на изменчивость реконструированного по спутниковым данным стерического уровня как индикатора процессов распреснения/осолонения в полярной области севернее 81,5° с. ш. Получены количественные оценки зависимости уровня моря и компонент геострофической скорости от величины предложенного индекса. Перепад уровня между шельфом и более глубоководной частью океана составил ~ 4 см на 1 единицу индекса. На основании полученных результатов предложена концептуальная схема режимов циркуляции и распространения распресненных вод в зависимости от фазы индекса.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-35-90061.

ЭФФЕКТЫ ОТРАЖЕНИЯ ВОЛН ОТ ПРЕПЯТСТВИЙ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ МОРЯ

К. Н. Макаров ¹✉, А. Х. Катлине Коблев ²

¹ СГУ, Сочи, Россия

² ООО «Проектно-строительная компания «Перспектива»,

Сочи, Россия

✉ ktk99@mail.ru

Ключевые слова: подводные каньоны, портовые молы, трансформация волн, угол подхода волн, косое отражение.

В качестве препятствий для распространения волн в данной работе рассматриваются подводные каньоны и оградительные портовые молы. В обоих случаях при подходе луча волны к указанным объектам под некоторым углом имеет место неполное косое отражение волн от них.

Это приводит к образованию картины кривой интерференции волн с наветренной стороны каньона (мола). В результате возникает колебание уровня в виде прогрессивной волны, движущейся вдоль наветренной бровки препятствия. Амплитуда этой волны представляет собой сумму амплитуд прямой и отраженной волн. Свободная поверхность выглядит как чередование в шахматном порядке поднятий и впадин. Причем отраженная «добавка» к амплитуде экспоненциально убывает с удалением от бровки каньона (мола).

Наиболее показательными практическими примерами возникновения указанных эффектов являются деформации оградительных молов порта Имеретинского в Адлерском районе г. Сочи под воздействием штормов от ЮЗ и ЮВ направлений. В этих штормах при косом подходе волн были разрушены средняя часть Юго-Западного и корневая часть Южного молов.

При этом разрушение Юго-Западного мола было вызвано отражением волн от подводного каньона, а Южного мола – их отражением от самого мола.

Для моделирования волновых полей в зонах подводных каньонов необходимо рассчитать коэффициенты отражения и прохождения волн через наветренную и подветренную бровки каньона.

Гашение и отражение волн подводным каньоном происходит аналогично гашению и отражению наброской или волноломом за счет изменения свойств волнопроводящей среды, в данном случае – глубины.

Определяющими параметрами подводных каньонов при их взаимодействии с волнами являются коэффициенты отражения волн от бровок каньона, коэффициент прохождения, расстояние от подветренной бровки каньона до ближайшего мыса, ширина каньона и его глубина. Определение указанных коэффициентов может быть выполнено теоретическим путем с учетом некоторых допущений.

Непосредственно в зоне каньона и на его подветренной стороне амплитуда волны оказывается меньше, чем амплитуда исходной волны, так как часть волновой энергии отражена каньоном. Отражение волн от молов зависит от их конструкции.

Для случаев косоугольного отражения волн от подводных каньонов и портовых молов разработаны математические модели отражения и трансформации волн и соответствующие компьютерные программы.

Программы были откалиброваны по данным физического моделирования на пространственных гидравлических моделях в НИЦ «Морские берега» (г. Сочи).

По результатам расчетов и физического моделирования было установлено, что при косом отражении волн от подводных каньонов или оградительных молов их высоты могут увеличиваться на 20–40 %.

Поскольку масса предельного равновесия элементов защитных набросок зависит от высоты волны в кубе, такое увеличение расчетных высот волн приводит к увеличению расчетной массы таких элементов почти в три раза.

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ МРАМОРНОГО МОРЯ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

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

МГИ, Севастополь, Россия

✉ *Suomi-NPP@mail.ru*

Ключевые слова: Мраморное море, температура, оптические спутниковые данные, апвеллинг, TIRS Landsat-8/9, Босфорская струя.

Использованы оптические данные TIRS Landsat-8 и TIRS Landsat-8 (пространственное разрешение – 100 м) за период с 2013 по 2022 г., на основе которых двухканальным методом осуществлялось восстановление температуры поверхности Мраморного моря и проливов Босфор и Дарданеллы. Дополнительно привлекались оптические данные среднего разрешения MODIS Aqua и VIIRS Suomi-NPP и данные о характеристиках ветра NCEP/NOMADS.

С мая по сентябрь в северо-западной части акватории на выходе из Босфорского пролива практически ежедневно регистрируется Босфорская струя (продолжение Верхнебосфорского течения) с пониженной температурой. Контраст температуры вод может достигать 9–10 °С, обычно составляет 2–3 °С. Причиной появления вод пониженной температуры является комплекс условий: геоморфологическое строение Босфорского пролива (глубина со стороны Черного моря около 70 м и наличие порога на глубине около 30 м со стороны Мраморного моря), развитие сезонного термоклина в Черном море (на глубинах около 15–20 м, из-за чего в Босфорский пролив поступают над- и подтермоклинные воды) и разница в солености Черного и Мраморного морей (более холодные черноморские воды, перемешанные из-за порога, менее плотные, чем мраморноморские, из-за меньшей солености).

В Мраморном море также с мая по сентябрь на изображениях высокого разрешения эпизодически регистрируются апвеллинги

с ядром, отличающимся от окружающих вод на 2–4 °С. Их развитие осуществляется на фоне умеренных или сильных вдольбереговых или сгонных ветров. Единичные апвеллинги зафиксированы также и в зимние месяцы, ядро которых теплее окружающих вод на 2–3 °С. Их развитие осуществляется при тех же условиях, что и у летних, а причина проявления теплых вод связана с особенностями термической структуры Мраморного моря. Мраморноморский бассейн представляет собой двухслойный водоем, верхний слой которого сформирован преимущественно черноморскими водами и подвержен сезонным изменениям (колебания температуры от 7–8 до 27–28 °С), тогда как нижний сформирован преимущественно водами Эгейского моря и отличается квазипостоянными характеристиками, в частности температурой около 14,6 °С на протяжении всех сезонов. И в зимнее время воды нижнего слоя имеют более высокую температуру, чем верхнего.

Проявление теплых подтермоклинных вод в зимнее время наблюдается также непосредственно в виде Босфорской струи или на ее периферии, что связано как с интенсивным перемешиванием вод в Босфорском проливе (вовлекаются воды Нижнебосфорского течения), так и с интенсивным перемешиванием в самой мраморноморской акватории (подтермоклинные воды вовлекаются в зону дивергенции).

С мая по июль на выходе из пролива Дарданеллы в Эгейское море регистрируются воды с пониженной температурой после прохождения узкости Чанаккале. Их контраст с окружающими водами обычно не превышает 1–2 °С и не имеет связи с регулярно развивающимся апвеллингом в этом районе. Предполагаемая причина – неустойчивый прогрев надтермоклинных мраморноморских вод в сочетании с интенсивным перемешиванием из-за резкого сужения в проливе Дарданеллы (узкость Чанаккале).

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ 23-27-00421 «Развитие методов спутникового мониторинга аномальных процессов в морских экосистемах на основе многоспектрального подхода».

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ТЕРМОХАЛИННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧЕРНОГО МОРЯ, ВОССТАНОВЛЕННЫХ С УЧЕТОМ ДАННЫХ АТМОСФЕРНЫХ ФОРСИНГОВ SKIRON И ERA5

Н. А. Миклашевская, О. А. Дымова ✉

МГИ, Севастополь, Россия

✉ *olgadyt@yahoo.com*

Ключевые слова: Черное море, моделирование, температура, соленость, скорость течений, вихри.

В работе проведены сопоставление и оценка точности воспроизведения термохалинных характеристик циркуляции Черного моря в верхнем деятельном слое, полученных в результате численных экспериментов с использованием двух наборов данных об атмосферном воздействии ERA5 и SKIRON на примере 2016 г. (далее эксперимент 1 и эксперимент 2). Расчеты выполнены с помощью модели Морского гидрофизического института (МГИ), в обоих экспериментах усваивается температура поверхности моря, предоставляемая указанными атмосферными форсингами.

Валидация модельных температуры и солености выполнена по данным наблюдений буев-профилемеров ARGO (№ 3901852, 3901854, 3901855, 6900805, 6900807, 6901831, 6901832, 6901833, 6901834, 6901866, 6901895, 6901900, 7900591, 7900594) и съемок НИС «Профессор Водяницкий» (рейсы № 87, 89, 91). Сопоставление среднеквадратических отклонений по результатам двух экспериментов показало, что наиболее близкие к реальным данные получены при использовании реанализа ERA5. Так, максимальные СКО температуры в слое 5–30 м и максимальные СКО солености в слое 30–100 м уменьшается на 10 и 19 % соответственно.

Сравнительный анализ пространственных распределений термогидродинамических характеристик выявил следующие различия. При расчетах с использованием данных SKIRON поля всех рассматриваемых термогидродинамических характеристик в по-

верхностном слое (0–5 м) и слое термоклина (10–20 м) более однородны, чем при расчетах с ERA5. Скорости течений и вихри в зимний и весенний периоды (с января по конец апреля) в эксперименте 2 менее интенсивны, особенно в районе Анатолийского полуострова и Крыма. С начала мая до конца июня интенсивность течений в обоих случаях уменьшается. Во вторую половину года в эксперименте 2 Основное Черноморское течение практически не восстанавливается, поэтому наблюдается значительная разница в величине скорости течений. Если в эксперименте 1 максимальные скорости достигают 50–60 см/с, то в эксперименте 2 – 20–25 см/с. Анализ полей ветра показал, что ветровое напряжение по данным ERA5 сильнее, чем по данным SKIRON примерно на 25–30 %, а повторяемость северо-восточных направлений ветра, которые формируют поверхностную циклоническую циркуляцию Черного моря, выше.

Поля солёности на горизонтах 5 и 20 м в осенне-зимний период количественно и качественно похожи. Наибольшие отличия по результатам экспериментов 1 и 2 выявлены для полей температуры в слое от поверхности до горизонта 20 м во вторую половину года. С конца июня разница в максимальных значениях температуры для западной части бассейна составила 6–10 °С, для восточной части – 4–7 °С. Анализ атмосферных данных показал, что суммарный поток тепла в ERA5 и SKIRON отличается незначительно. При этом обнаружена разница в температуре поверхности моря, полученной с учетом спутниковых измерений, что и определяет выявленные различия. По результатам эксперимента 1 СКО температуры в слое 0–5 м уменьшается почти в два раза.

Резюмируя вышеизложенное, можно сделать вывод, что термохалинная структура Черного моря более точно реконструируется при использовании форсинга ERA5, что подтверждается данными контактных измерений температуры и солёности. Вероятно, это связано с более интенсивными атмосферными потоками в ERA5 по сравнению со SKIRON.

Работа выполнена в рамках госзадания по теме № FNNN-2021-0004.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО ВОЛНЕНИЯ С БЕРЕГОЗАЩИТНЫМИ СООРУЖЕНИЯМИ В РАЙОНЕ ПЕРЕСЫПИ ОЗЕРА САКСКОГО

С. Ю. Михайличенко¹, Д. Ю. Куранов²✉

¹ МГИ, Севастополь, Россия

² СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

✉ liham1984@rambler.ru

Ключевые слова: модель SWASH, высоты волн, орбитальные скорости жидкости, величины вертикального заплеска, величины горизонтального заплеска, спектр JONSWAP, берма, волноотбойная стенка, откосно-ступенчатое крепление.

Западный берег Крымского полуострова обладает обширными возможностями для расширения своего курортного потенциала. Одним из районов с высокими рекреационными возможностями является город Саки и находящееся в его черте озеро Сакское, которое содержит в себе донные отложения (грязи), обладающие лечебным эффектом. Озеро отделено от моря пересыпью шириной около 500 м с песочными пляжами и набережной. Наиболее интенсивную нагрузку на береговую зону оказывает поверхностное волнение, которое может приводить к разрушению берегов, затоплению прибрежных районов и, как следствие, к значительному материальному ущербу. Защита пересыпи и пляжей от размыва и затопления с целью сохранения и возможного расширения рекреационного потенциала региона является важной практической задачей. Одним из наиболее распространенных способов защиты побережья, позволяющих сохранить береговую инфраструктуру и защитить пляж от разрушительного влияния сильного штормового волнения, является использование в этих целях различных типов береговых гидротехнических конструкций. Для защиты побережья от размыва и разрушения ветровыми волнами наиболее часто используют такие берегозащитные сооружения как буны, бермы, волноотбойные стены и откосные укрепления.

В работе с использованием негидростатической гидродинамической модели SWASH (Simulating WAVes till SHore) моделировались распространение и накат поверхностных волн на берег озера Сакского в районе пересыпи. Исследовалась трансформация различных типов поверхностного волнения в процессе распространения, наката на берег озера и взаимодействия с берегозащитными сооружениями. Было рассмотрено два варианта поверхностного волнения – регулярные монохроматические волны, генерируемые волнопродуктором, и нерегулярное волнение, задаваемое по спектру JONSWAP. Была оценена эффективность защиты берега озера различными типами гидротехнических сооружений от затопления береговой полосы.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № FNNN-2021-0005 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей».

ФОРМИРОВАНИЕ АНОМАЛЬНЫХ ТЕРМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ВОД В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ (ТАТАРСКИЙ ПРОЛИВ) ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

В. В. Мороз¹✉, **Т. А. Шатилина**²

¹ *ТОИ ДВО РАН, Владивосток, Россия*

² *ТИНРО, Владивосток, Россия*

✉ *moroz@poi.dvo.ru*

Ключевые слова: Татарский пролив, Амурский лиман, аномальные термические режимы вод, атмосферная циркуляция.

Татарский пролив и Амурский лиман – динамически активная система, соединяющая Японское и Охотское моря. Это важный промысловый район у российского побережья с высокой биологической продуктивностью. Одним из наиболее ценных промысловых объектов здесь являются лососевые. Их жизненный цикл

определяется таким важным фактором, как термический режим. Однако аномально низкие температуры в устье реки при скате и нагуле молоди могут привести к их гибели, а экстремально высокий температурный фон у побережья района может являться препятствием миграции и нереста лососей. В связи с этим цель проведенных исследований – выявление механизмов формирования аномальных гидрологических условий района с учетом динамики вод и региональных особенностей атмосферных процессов.

На основе массивов многолетних гидрологических и метеорологических данных за период 1977–2018 гг. проведено изучение особенностей изменчивости термических условий в летний период в системе Татарский пролив – Амурский лиман. Выявлены экстремальные фазы состояния термического режима акватории (холодного или теплого) в отдельные годы. Исследованы особенности процессов формирования аномальных термических режимов вод в связи с изменчивостью региональных атмосферных процессов. Показаны различия механизмов формирования аномально теплых и холодных режимов.

Анализ особенностей атмосферной циркуляции над регионом в годы формирования аномального состояния термического режима акватории показал различия выраженности и положения сезонных центров действия атмосферы – охотского антициклона, летней дальневосточной депрессии, гавайского антициклона.

Установлено, что механизмы формирования аномально холодных термических режимов акватории связаны с интенсивным развитием в приземном слое над Охотским морем охотского антициклона и наличием в высотных полях тропосферной ложбины, ориентированной на север Японского моря, по которой происходит вынос холодных арктических масс воздуха. Формирование аномально теплого термического режима происходит при отсутствии высотных холодных депрессий над Охотским морем и усилении влияния гавайского антициклона, по западной периферии которого выносятся субтропический теплый воздух на акваторию исследуемого района. Формирование экстремальных термических режимов определяется не только интенсивностью развития центров действия атмосферы, но и изменениями их локализации. При положении летней дальневосточной депрессии южнее среднемноголетнего смещающиеся по ложбине через

Приамурье циклоны в тыловой части выносят холодные воздушные массы на акваторию Амурского лимана и Татарского пролива, способствуя аномальному понижению температурного фона. При локализации летней дальневосточной депрессии севернее среднемноголетнего положения воздействие смещающихся вдоль ложбины континентальных циклонов осуществляется иначе – на Приамурье, лиман и Татарский пролив выносятся теплый воздух в передней части циклонов, способствуя формированию аномально теплого режима.

Исследования показали, что аномальные термические условия в исследуемом районе формируются аномальной циркуляцией – экстремальными колебаниями интенсивности развития и локализации региональных центров действия атмосферы. Результаты исследований могут быть применены в промысловой океанографии, для региональных прогностических моделей.

КЛИМАТИЧЕСКАЯ СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕРМОХАЛИННЫХ ПОЛЕЙ И КОНЦЕНТРАЦИИ МОРСКИХ ЛЬДОВ В РАЙОНЕ КОТЛОВИНЫ ПАУЭЛЛ

Н. В. Никольский ✉, Ю. В. Артамонов, Е. А. Скрипалева

МГИ, Севастополь, Россия

✉ *nikolsky.geo@gmail.com*

Ключевые слова: Антарктика, море Уэдделла, котловина Пауэлл, температура, соленость, концентрация морского льда, сезонная изменчивость.

Для интерпретации особенностей распределения гидробиологических полей, полученных по результатам фактических экспедиционных измерений, важна информация об изменчивости температуры, солености и концентрации морского льда на среднемноголетнем внутригодовом масштабе. В работе рассматривается один из наиболее биопродуктивных районов Южного океана, включающий котловину Пауэлл и прилегающие к ней шельфовые области. Использовались среднемесячные значения

потенциальной температуры θ ($^{\circ}\text{C}$), солёности S (psu), концентрации морского льда SIC (доля площади ячейки сетки, содержащей морской лёд) и составляющих скорости дрейфа льда (м/с) в узлах сетки $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$ для каждого года за период с 1958 по 2021 г. из реанализа ECMWF ORA-S5. По этим данным рассчитывались климатические среднемесячные значения θ , S и SIC, а также модуль и векторы скорости дрейфа льда.

Показано, что величины внутригодовых среднеквадратических отклонений (СКО) уменьшаются в несколько раз глубже 60–70 м в поле температуры и глубже 20–30 м в поле солёности. Максимальные значения СКО θ (до 1,2–1,6 $^{\circ}\text{C}$) наблюдаются в верхнем 20–30-метровом слое в юго-западной части моря Скоша, в желобе Гесперид и над хребтом Южный Скоша. Они уменьшаются в южном направлении до 0,6–0,8 $^{\circ}\text{C}$ в котловине Пауэлл и до 0,4–0,5 $^{\circ}\text{C}$ над шельфом Жуэнвиль. Минимальные значения СКО θ ($< 0,2$ $^{\circ}\text{C}$) наблюдаются в море Уэдделла.

Максимальные значения СКО S наблюдаются в верхнем 10–15-метровом слое в районах интенсивного ледообразования и ледотаяния – над хребтом Филипп, шельфом и хребтом Жуэнвиль (0,5–0,9 psu), а также в глубоководной части моря Уэдделла (0,6–0,7 psu). Над свалами глубин шельфа Жуэнвиль величины СКО S составляют 0,45–0,6 psu, в центральной части котловины Пауэлл они понижаются до 0,4–0,5 psu. Минимальный уровень внутригодовой изменчивости солёности (СКО $S < 0,2$ –0,4 psu) наблюдается в море Скоша и желобе Гесперид и над Южно-Оркнейским шельфом.

Максимальный уровень внутригодовой изменчивости концентрации морского льда (СКО SIC $\sim 0,38$ –0,42) наблюдается над Южно-Оркнейским шельфом и в восточной части котловины Пауэлл. Минимум СКО SIC ($< 0,16$) выявлен в юго-западной части моря Скоша, где в течение года концентрация льда минимальна (ниже 0,1). Низкие значения СКО SIC ($< 0,24$) наблюдаются также в северо-западной части моря Уэдделла, где среднегодовая концентрация льда превышает 0,75.

Основной вынос льда из моря Уэдделла происходит вдоль свала глубин шельфа Жуэнвиль. Одна часть льда далее переносится в восточном направлении вдоль хребта Жуэнвиль и свала глубин Южно-Оркнейского шельфа, другая часть вовлекается

в систему циклонической циркуляции котловины Пауэлл, следует вдоль хребта Филипп, огибает западную часть Южно-Оркнейского шельфа и сходится с первым потоком. Максимальная скорость дрейфа (до 2 м/с) наблюдается зимой вдоль хребта Филипп, весной – вдоль хребта Жуэнвиль и южной части Южно-Оркнейского шельфа, летом – в северо-западной части моря Уэдделла и вдоль свала глубин шельфа Жуэнвиль, осенью – вдоль свала глубин шельфа Жуэнвиль и хребта Филипп.

Показано, что в северо-западной части моря Уэдделла в области усиления дрейфа льда понижается уровень сезонной изменчивости солености, в котловине Пауэлл, наоборот, в области повышения скорости дрейфа уровень сезонной изменчивости солености повышается.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ FNNN-2021-0004 «Океанологические процессы».

ОЦЕНКА СТЕРИЧЕСКОЙ КОМПОНЕНТЫ УРОВНЯ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

В. П. Новицкая ✉, **Е. М. Лемешко**

ЧГПП ФГБУН ФИЦ МГИ МГИ, Севастополь, Россия

✉ *doronina.viktori@mail.ru*

Ключевые слова: уровень моря, Черное море, стерический уровень, альтиметрия, гравиметрия, GRACE.

На основе спутниковых альтиметрических и гравиметрических данных реконструирован временной ряд стерических колебаний уровня Черного моря за период 2002–2016 гг. Получено хорошее соответствие стерической компоненты уровня моря с оценками, полученными по архивным гидрологическим данным, манометрической компоненты уровня – с оценками пресноводного баланса Черного моря, рассчитанными по данным гидрометеорологических наблюдений. Максимумы размаха сезон-

ного хода стерической составляющей уровня отмечаются в районах с максимальными сезонными вертикальными смещениями основного пикноклина. Оценка линейного тренда реконструированных стерических колебаний, составляющая $-0,6 \pm 0,2$ см/год, свидетельствует о том, что, несмотря на положительный тренд температуры воды в основном пикноклине, вклад современного роста солёности во всех слоях моря в изменение плотности воды в Черном море в целом преобладает.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № FNNN-2021-0005.

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕХОДОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ МЕЖДУ ДИНАМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ РАЗЛИЧНОГО МАСШТАБА В ВОСТОЧНОЙ И ЗАПАДНОЙ ЧАСТЯХ ЧЕРНОГО МОРЯ

А. А. Павлушин

МГИ, Севастополь, Россия

✉ *pavlushin@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: Черное море, энергетический баланс, переходы энергии, крупномасштабная циркуляция, мезомасштабные вихревые образования, β -эффект, волны Россби.

В данной работе рассматриваются и анализируются средне-статистические переходы между кинетической и потенциальной энергией крупномасштабных течений и мезомасштабных вихревых образований в восточной и западной частях Черного моря.

Для расчета составляющих энергетического баланса использовались результаты численного эксперимента по моделированию течений в Черном море, выполненного с помощью двух-слойной вихреразрешающей модели, учитывающей реальный рельеф дна, трение на поверхности раздела слоев, придонное трение и горизонтальную турбулентную вязкость.

В качестве возбуждающей силы задавалось стационарное поле касательного напряжения ветра, имеющее среднюю по акватории моря циклоническую завихренность. Полученные в результате расчетов поля течений условно разделялись на крупномасштабную и мезомасштабную составляющие. Крупномасштабные течения получались осреднением за длительный период времени мгновенных потоков воды в отдельных слоях, а мезомасштабные – как разница между мгновенными и средними потоками.

В результате рассчитаны: для движений различного масштаба средние переходы механической энергии из одного вида в другой, средние переходы энергии между крупномасштабными течениями и мезомасштабными вихревыми образованиями, адвективные потоки энергии между восточной и западной частями моря.


Сделан вывод о том, что являющийся следствием β -эффекта адвективный перенос потенциальной энергии в Черном море с востока на запад приводит к возникновению различий в направлении среднестатистических переходов энергии между движениями различного масштаба в восточной и западной половинах моря. На востоке моря кинетическая энергия передается от крупномасштабных течений к мезомасштабным вихревым образованиям, а в западной части моря наблюдается обратный переход энергии. Показано, что формальный обмен кинетической энергией между движениями различного масштаба обеспечивается работой силы Кориолиса, которая для реальных течений равна нулю, но оказывается не равной нулю отдельно для крупномасштабных течений и мезомасштабных вихревых образований.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме FNNN-2022-0003.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ БЕНГЕЛЬСКОГО АПВЕЛЛИНГА ПО СПУТНИКОВЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ СОЛЕННОСТИ

В. А. Павлушин , А. А. Кубряков

МГИ, Севастополь, Россия

 *pavlushin.92@mail.ru*

Ключевые слова: Бенгельский апвеллинг, площадь апвеллинга, сезонная и межгодовая изменчивость, поверхностная соленость, спутниковые измерения, течения.

В работе исследована сезонная и межгодовая изменчивость площади Бенгельского апвеллинга на основании спутниковых измерений поверхностной солености океана.

Для исследования Бенгельского апвеллинга был выбран регион с координатами 40° – 18° ю. ш. и 5° – 20° в. д. Использовались данные о поверхностной солености, полученные по измерениям прибора SMAP (V.4.0) за 2015–2019 г. из архива REMSS (<http://remss.com/missions/smap/salinity/>). Пространственное разрешение данных – $0,25^{\circ}$, временная дискретность – 8 дней.

Для описания температуры в работе используется массив температуры (SST), основанный на измерениях радиометров AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) и AMSR (Advanced Microwave Scanning Radiometer). Данные получены из бесплатного архива спутниковых данных LAADS WEB (<http://www.ladsweb.nascom.nasa.gov.com/>) и имеют пространственное разрешение $0,25^{\circ}$ и временную дискретность 1 день.

Для описания изменчивости скорости ветра используется оперативный продукт NCEP High Resolution Global Forecast System с пространственным разрешением $1^{\circ} \times 1^{\circ}$. Данные NCEP основаны на расчетах модели Weather Research and Forecasting Non-hydrostatic Mesoscale Model (WRF-NMM). Данные были получены на сайте <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>.

На среднем распределении солености по измерениям SMAP отчетливо выделяется зона апвеллинга в которой соленость понижена на $0,5$ – 1 psu относительно окружающей среды. Бенгельский апвеллинг можно разделить на две широкие области холодных вод с границей в районе 28° ю. ш. – на Северный (СБА)

и Южный (ЮБА) Бенгельский апвеллинг. В то же время хорошо видны значимые в распределении аномалии солености и температуры, особенно в СБА. Область пониженных значений солености распространяется гораздо дальше на запад, до долготы 10° , по сравнению с областью холодных вод. Такая разница связана с интенсивными потоками тепла из атмосферы, которые быстро нагревают холодные воды.

Исследована сезонная изменчивость солености и термического индекса в районе апвеллинга. Максимальные значения солености в СБА наблюдаются с апреля по июнь (порядка 35,3 psu), а наименьшие – в октябре – декабре (около 34,8 psu). Также наблюдается второй минимум солености в феврале – марте (34,9). Отставание сезонного хода ЮБА относительно СБА составляет порядка 1 месяца с максимумом солености в июле и минимумом в ноябре. Второй минимум солености в марте также наблюдается в ЮБА, где он более выражен, чем в СБА. Сезонная изменчивость скорости ветра в значительной степени коррелирует с изменчивостью солености. Минимум интенсивности ветра приходится на май – июль, что совпадает ростом солености, т. е. с ослаблением интенсивности апвеллинга. Высокие меридиональные скорости ветра отмечаются в зимний период, с октября по март, что совпадает с периодами снижения солености.

Сезонный ход солености отличен от изменчивости температуры, так как воды апвеллинга подвержены сезонному прогреву, который, в свою очередь, маскирует усиление апвеллинга в октябре – ноябре в поле поверхностной температуры. В результате наибольшая разница между ТПО в районе апвеллинга наблюдается в период прогрева (март – май). По данным о солености интенсивный апвеллинг наблюдается как в марте, так и в октябре. Однако на картах температуры апвеллинг в марте намного слабее. Это связано с тем, что в апреле Центральная Атлантика прогрета сильнее, чем в октябре. Это говорит о том, что анализ термических индексов (аномалии температуры) может приводить к ошибкам в оценке изменчивости апвеллинга на сезонных масштабах и использование солености как индикатора апвеллинга обеспечивает большую точность. В период зимнего перемешивания значения термического индекса, определяемые как разница между температурой апвеллинга и температурой открытого моря, значительно

снижаются. Эффекты недооценки интенсивности апвеллинга в осенние месяцы могут также оказывать значимое влияние на оценки межгодовой изменчивости по термическому индексу, который наиболее часто используют в литературе для этих целей.

Зона апвеллинга в значительной степени подвержена влиянию антарктических циклонов. В середине июня 2018 г. на широтах 30–60° проходил мощный атмосферный циклон со скоростями до 20 м/с. При взаимодействии восточной периферии циклона с континентом у берега образовалась зона интенсивных южных ветров, которые привели к даунвеллингу у берега Африки. В результате воды соленостью менее 35 psu, характерные для апвеллинга, практически исчезли с поверхности моря.

ВОЛНООБРАЗНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ЛЕДОВОЙ КРОМКИ В ПРОЛИВЕ ФРАМА ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

Л. А. Петренко ✉, И. Е. Козлов

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

Ключевые слова: пролив Фрама, кромка льдов, прикромочная ледовая зона, вихри, волны.

Рассматриваются особенности деформации кромки поля дрейфующих льдов и прикромочной ледовой зоны (ПЛЗ), наблюдаемые с помощью радара с синтезированной апертурой в теплый период. В ходе анализа спутниковых снимков были обнаружены волнообразные деформации кромки льдов.

Установлено, что одной из причин волнообразных деформаций на границе поля дрейфующих льдов может выступать ветроволновое воздействие на меандрирующую кромку поля битого льда. При воздействии волн и при ветре «на лед» под острым углом к кромке отжатие льдов происходит неодинаково: при расположении кромки вдоль направления ветра/волнения смещение минимально, а при перпендикулярной ориентации – максимально. Таким образом формируется волнистость кромки льдов. Деформации кромки достигали 50–60 км вглубь ледового поля.

При смещении льдов к западу со скоростью от 5 до 13 км/сут расстояние между «гребнями» таких волн на кромке составило 130–140 км.

Взаимодействие волн зыби, сформировавшихся и пришедших в рассматриваемый район извне, с ПЛЗ приводит к образованию многочисленных филаментов и вихрей. При этом распространение зыби имеет направление под острым углом к кромке льдов при ветре, действующем «со льда» в сторону чистой воды. Образование филаментов происходит при скатывании льда ПЛЗ по склону волны от гребня, а вихри возникают при достижении льдом подошвы волны. При этом кромка льдов также принимает волнообразный характер, а длину волны можно определить по расстоянию между основаниями филаментов.

Еще одной причиной образования волнистых деформаций является взаимодействие цепочки вихрей чистой воды с ледовой кромкой. Цепочка вихрей образуется в результате горизонтального сдвига в поле скорости течений у границы распространения льдов в условиях действия ветра «на лед» из-за возникшего ранее течения, параллельного кромке льдов. Возникающие на уплотненной кромке округлые деформации демонстрируют вытаивание льда под действием вихревых образований, содержащих теплую воду.

ВЕРХНИЙ КВАЗИОДНОРОДНЫЙ СЛОЙ ОКЕАНА В УРАГАНАХ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

П. Д. Пиваев ¹✉, В. Н. Кудрявцев ²

¹ МГИ, Севастополь, Россия

² РГГМУ, Санкт-Петербург, Россия

✉ pivaev.pavel@gmail.com

Ключевые слова: тропические циклоны, верхний квазиоднородный слой, температура поверхности океана.

Так называемые балк-модели (bulk model) широко применяются для моделирования верхнего квазиоднородного слоя (ВКС)

в океане. Эти модели отличаются своей простотой и способностью описывать основные характеристики ВКС, в первую очередь толщину слоя перемешивания и его среднюю температуру, при различных условиях.

В работе исследуется применимость балк-модели ВКС, основанной на гипотезе о равенстве глобального числа Ричардсона критическому значению, для описания аномалий температуры поверхности океана (ТПО) в следах тропических циклонов (ТЦ). Применение этой гипотезы приводит к тому, что квадрат толщины ВКС пропорционален потоку дрейфового течения в ВКС и обратно пропорционален средней частоте Брента – Вайсяля фонового профиля плотности.

Проведена проверка этой параметризации на основе оценок толщины ВКС по наблюдаемым спутниковым аномалиям ТПО с привлечением данных о фоновой стратификации океана и полей ветра в ТЦ, построенным по данным ITrACS (архив www.maxss.org).

Показано, что предлагаемая параметризация толщины ВКС не является универсальной и требует введения дополнительного механизма, влияющего как на динамику дрейфовых течений в ВКС, генерируемых под ТЦ, так и на бароклинный отклик океана. В качестве возможного механизма рассматривается влияние излучения коротких внутренних волн, генерируемых на нижней границе ВКС, вглубь океана. Излучение этих волн приводит к торможению дрейфового потока в ВКС и, как следствие, уменьшению интенсивности бароклинного отклика. Приводится описание влияния излучения коротких ВВ на дрейфовые течения и бароклинный отклик океана, и далее эти факторы вводятся в параметризацию толщины ВКС, основанной на гипотезе постоянства глобального числа Ричардсона. Аномалии ТПО, восстановленные по полученному выражению для толщины ВКС и фоновой стратификации океана, находятся в удовлетворительном соответствии с аномалиями ТПО, полученными по спутниковым измерениям.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 21-47-00038, Министерства науки и образования Российской Федерации в рамках государственного задания FNNN-2021-0004 в МГИ РАН и государственного задания № 0763-2020-0005 в РГГМУ.

ХАРАКТЕРИСТИКИ УЕДИНЕННЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В АРКТИКЕ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

А. Е. Погребной

МГИ, Севастополь, Россия

✉ *pogrebok57@mail.ru*

Ключевые слова: внутренние волны, фазовая скорость внутренних волн, солитоны, спутниковая радиолокация морской поверхности, пролив Фрама, Арктика.

Важным элементом динамической структуры океана являются внутренние волны (ВВ). В исследованиях Арктического бассейна им отводится особая роль. Например, генерация внутренних волн баротропным приливом над крутыми участками континентального склона приводит к интенсификации турбулентного перемешивания и стимулирует передачу тепла от атлантических вод к поверхности, что существенно влияет на климатическую систему Северного Ледовитого океана. Кроме того, ВВ в Арктике оказывают влияние на морской лед и формирование полыней.

На спутниковых снимках ВВ могут проявляться в виде чередующихся светлых и темных полос. При радиолокационных исследованиях светлые полосы – это сулои (зоны конвергенции с интенсификацией поверхностного волнения), а темные – слики (относительно выглаженные зоны дивергенции). Для данных видимого диапазона, наоборот, области повышенной шероховатости (сулои) имеют меньшую яркость, чем слики.

К сожалению, в настоящее время автоматической идентификации ВВ волн нет. Связано это с тем, что возможные проявления ВВ чересчур разнообразны. Это может быть и уединенный солитон, и пакет. Количество волн в пакете и их азимутальная ориентация волн может быть любой. Пока неизвестно, как автоматически отличать поверхностные проявления волн от кильватерных следов, филаментов и т. п. Идентификацию волн затрудняет возможное присутствие сторонних поверхностных объектов (например, льдин), а при использовании активных радаров с синтезированной апертурой – также когерентные спеклы.

Цель данной работы: разработка методики идентификации параметров уединенных внутренних волн (солитонов, генерируемых полусуточным приливом) на основе их проявлений на поверхности океана при наличии льда.

Анализировались последовательные квазисинхронные измерения радиолокационных спутников Sentinel-1A/B к западу от глубоководной части пролива Фрама в августе 2018 г.

Идентификация поверхностных проявлений внутренних волн на радиолокационных спутниковых снимках сводится к нахождению тонких светлых полос, вытянутых вдоль их гребней. Яркие пиксели, расстояние между которыми меньше визуальной ширины гребней, объединяются в кластеры. Считается, что внутренним волнам соответствуют кластеры с размерами больше порогового значения, для которых анизотропия (отношение полуосей аппроксимирующего эллипса) также велика. Для каждого такого кластера рассчитываются интерполированные пространственные координаты вдоль соответствующего волнового экстремума.

На основе предложенной методики сделаны оценки горизонтального размера («длина волны» $\sim 1,5$ км) и фазовой скорости (~ 1 м/с) уединенных внутренних волн. Период следования солитонов составил ~ 24 мин. Скорость распространения лидирующей волны оказалась на 10 % выше, чем у следующей за ней. За время между зондированиями (~ 48 мин) это приводит к увеличению (красному смещению) «длины волны» между ними от 1,3 до 1,6 км. Также рассчитаны значения радиусов кривизны каждого волнового фронта. Информация о пространственном положении центров кривизны фронтов позволяет судить о предположительном месте генерации анализируемых внутренних волн – подводная банка ($80^{\circ}45'$ с. ш., $8^{\circ}30'$ з. д.), глубина над которой менее 20 м.

Предложенную методику идентификации внутренних волн можно использовать для оценки их кинематических и динамических характеристик.

ХАРАКТЕРИСТИКА УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ШТОРМОВЫХ СИТУАЦИЙ В РАЙОНЕ МОРСКОЙ СТАНЦИИ ТЕМРЮК

А. А. Полозок^{1,2}✉, И. Н. Фомина²

¹ МГИ, Севастополь, Россия

² ГОИИ, Москва, Россия

✉ polozok.umi@gmail.com

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

Исследование особенностей возникновения штормовых сгонов и нагонов в районе морской гидрометеорологической станции (МГС) Темрюк не теряет актуальность. Примерно раз в 1,5 года в районе указанной МГС наблюдается экстремальный подъем или спад уровня моря. Подобные колебания уровня наносят вред хозяйственной деятельности людей, проживающих в обозначенном регионе.

Для оценки условий возникновения штормовых нагонов и сгонов в районе гидрометеорологической станции Темрюк проанализированы срочные данные уровня моря (четыре измерения в сутки) за период 1991–2021 гг.

Штормовые ситуации выделены в результате сопоставления фактических значений уровня моря с установленными для указанной МГС критическими отметками уровня.

За указанный период выявлено три опасных штормовых сгона и девять опасных штормовых нагонов.

Опасные сгоны сопровождались преимущественно ветрами Ю, ЮЗ, ЮЮЗ направлений. Средняя скорость ветра во время таких штормовых ситуаций составляла 11 м/с.

При опасных нагонах дули преимущественно ветры З, ЗСЗ, ССЗ, ЗЮЗ, СЗ направлений. Скорость ветра колебалась от 3 до 13 м/с.

За указанный период штормовые сгоны наблюдались в феврале, марте и апреле. Что касается опасных нагонов, то макси-

мальное их количество зарегистрировано в августе (три) и феврале (два); в мае, июне, сентябре и декабре зафиксировано по одному экстремальному подъему уровня моря.


В 50 % случаев опасным подъемам уровня моря предшествовали ветры С и ЗЮЗ направлений. Следует отметить, что при ЗЮЗ ветрах скорость ветра была небольшой (порядка 1–3 м/с), при этом перед нагоном ветер усиливался и практически всегда становился З направления. Еще в 50 % случаев экстремальным подъемам уровня предшествовали ветры СЗ, З, СВ и ЮЗ направлений.

Штормовым сгонам предшествовали ветры Ю, ЮЮВ, ЮЮЗ направлений. Указанные направления вполне логичны, если учитывать местоположение морской станции Темрюк.

Представленный анализ штормовых ситуаций позволит эффективнее планировать берегозащитные мероприятия и строительные работы. Также сделанные выводы полезны для более точного моделирования и прогнозирования штормовых сгонов и нагонов в Темрюкском районе.

КОМПОНЕНТЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ РАЙОНОВ ЧЕРНОГО МОРЯ

О. С. Пузина , А. А. Павлушин

МГИ, Севастополь, Россия
 *oksana_puzina@mhi-ras.com*

Ключевые слова: Черное море, энергетический баланс, цикл Лоренца, 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 $1/24^\circ$ (≈ 5 км). Период расчета 2008–2021 гг. Анализ энергетических характеристик выполнялся для

четырёх областей в глубоководной части Черного моря: северо-западной, северо-восточной, юго-западной и юго-восточной.

Изменчивость кинетической энергии течений объясняется в основном влиянием напряжения трения ветра на морскую поверхность. Для средних течений получены максимумы энергии в феврале – марте и сентябре – октябре, для вихревых течений – в январе, марте, октябре.

Переход кинетической энергии от средних течений к вихревым может происходить вследствие их баротропной неустойчивости (горизонтального сдвига скорости). Наибольшие положительные значения для данного перехода энергии отмечаются вдоль свала глубин в западной части Черного моря, возле Крымского п-ова (в области образования Севастопольского антициклона) и в восточной части Анатолийского побережья (зоне образования антициклонических вихрей). В указанных районах рост кинетической энергии вихревых течений за счет средних можно объяснить влиянием берегового рельефа. Отрицательные значения перехода соответствуют росту энергии средних течений за счет вихревых. Такая ситуация характерна для струйного течения вдоль западной части Анатолийского побережья, в области образования Бутумского антициклона и у северо-восточного побережья Черного моря.

Кинетическая энергия течений также может изменяться за счет доступной потенциальной энергии, которая возникает при наличии вертикальной стратификации воды. В этом случае переход энергии происходит вследствие работы сил плавучести.

Доступная потенциальная энергия средних течений имеет выраженный сезонный ход. Максимумы энергии наблюдаются в марте и в августе. В западной половине Черного моря доступная потенциальная энергия вихревых течений в два раза больше, чем в восточной половине. Высокие значения доступной потенциальной энергии вихревых течений отмечаются вдоль западного берега моря, в его юго-западной части и у берегов Крыма. Переход доступной потенциальной энергии средних течений в энергию вихревых образований является признаком бароклинной неустойчивости.

Работа проведена при финансовой поддержке государственного задания № FNNN-2021-0002.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТИПОВ БЕРЕГОВ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

И. М. Пятов

РГПУ им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия
✉ vvvvv1a@mail.ru

Ключевые слова: спутниковые снимки, Ладожское озеро, береговая зона, прибрежные территории, ГИС.

Спутниковые снимки охватывают большие области, благодаря чему их удобно использовать для ландшафтных исследований и идентификации структур рельефа, в частности особенностей строения береговой зоны. Также с помощью спутниковых снимков достаточно просто получить данные о труднодоступных областях. Данный доклад посвящен особенностям отдельных береговых типов, которые были выявлены при изучении строения береговой зоны Ладожского озера.

В основу данного исследования были положены данные открытых источников (онлайн-сервисы Google Earth, Yandex Maps и OpenStreetMaps). Дальнейшая обработка данных проводилась с помощью открытого программного пакета ГИС QuantumGIS.

В результате исследования были выявлены признаки, позволяющие на спутниковых снимках наиболее отчетливо различить отдельные типы берегов.

Абразионный тип представлен обширно, к этому типу можно отнести большую часть береговой зоны северной части Ладоги. На Ладожском озере такие берега представлены как обрывистыми формами (клифы), так и формами ледникового происхождения, такими как бараньи лбы. При рассмотрении спутниковых снимков было выявлено, что такие берега зачастую лишены растительности, что позволяет хорошо изучить их строение. Определение обрывистых берегов является более сложной задачей, так как они бывают плотно скрыты растительностью. Однако у такого типа берегов короткая надводная часть, что на спутниковых снимках выражается резкой сменой суши водной поверхностью.


Аккумулятивные берега формируются преимущественно под действием волновых факторов. Как правило, такие берега формируются при вдольбереговом перемещении наносов с абразионного участка. Аккумулятивные берега представлены плоскими и пологонаклонными пляжами шириной до 40–50 м и на спутниковых снимках представляют собой самые светлые участки бледно-желтого цвета.

Абразионно-аккумулятивные берега представляют собой совокупность генетически связанных между собой абразионных и аккумулятивных форм. Для данного типа наиболее характерно наличие крупных валунов среди аккумуляруемого материала.

Ввиду того что накопление материала происходит в непосредственной близости от места его формирования при разрушении коренного берега, такой материал в существенной степени отличается от того, который формируется при долгой переработке материала озером. Отличается как крупность и окатанность, так и минералогический состав аккумуляруемого материала. При дальнем переносе увеличивается доля минералов, стойких к истиранию, а также уменьшается размер частиц. Вследствие этого абразионно-аккумулятивный берег на спутниковых снимках будет отличаться по оттенку (абразионно-аккумулятивный более темный) от аккумулятивного берега.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫСОТ ЗНАЧИТЕЛЬНЫХ ВОЛН В СЕВАСТОПОЛЬСКОМ РЕГИОНЕ, РАССЧИТАННЫХ ПО МОДЕЛИ SWAN

Ю. Б. Ратнер , А. Л. Холод

МГИ, Севастополь, Россия
 *yubrat@gmail.com*

Ключевые слова: высота волн, модель SWAN, эмпирическое распределение, временной ряд, частота, спектр высот волн.

На основе результатов работ, выполненных по гранту РФФИ № 18-45-920059 «Оперативная автоматизированная система

диагноза и прогноза ветрового волнения в Севастопольском регионе на основе модели SWAN с высоким пространственным разрешением», изучен волновой режим в Севастопольском регионе. По данным расчетов морского волнения за одиннадцатилетний период с 2010 по 2020 г. оценены плотности распределения вероятности высот значительных волн, проанализированы временные ряды высот значительных волн, оценены длительности интервалов превышения высотами значительных волн заданных уровней высоты и другие статистические характеристики волнового режима.

На основе построения гистограмм величин высот волн для трех временных рядов: высот волн вблизи мыса Херсонес, поселков городского типа (пгт) Кацивели и пгт Песчаное – показано, что распределение величин высот волн хорошо описывается логнормальным законом. Как форма, так и параметры логнормального закона распределений высот волн для всех временных рядов меняются сравнительно не сильно.

Представлены карты экстремальных высот значительных волн и карты величин значительных волн 0,1% 1%; 3%-ной обеспеченности. В целом волны с наибольшими величинами значительных высот встречаются в глубоководной части акватории. Вблизи берегов экстремальные величины высот значительных волн уменьшаются.

Все временные ряды достаточно сильно коррелированы между собой. Это хорошо подтверждается коэффициентами взаимной корреляции. Парные коэффициенты корреляции имеют величину не менее 0,8.

Для всех рассматриваемых временных рядов оценены частоты превышения высотами значительных волн заданного порогового уровня высоты – 2 м. Эти оценки получены за каждый месяц и каждый год с 2010 по 2020 г. включительно. По вполне естественным причинам подобные события происходят, как правило, в зимнее полугодие – с октября по апрель. Согласно расчетам, в Севастопольском регионе в этот период отмечалось в основном максимум 4–7 подобных событий в месяц и 15–20 – за год.

При оценке спектров временных рядов использовались классические методы спектрального оценивания и метод EMD (Empirical Mode Decomposition). Приведем некоторые результаты спектрального оценивания для временного ряда высот волн

вблизи мыса Херсонес. Спектры, полученные классическим методом, плавно спадают от низких частот к высоким. Невысокие пики отмечаются на частотах, соответствующих периодам 1 и 5 сут. Согласно методу EMD, временные ряды могут быть с удовлетворительной точностью представлены в виде суммы 9 мод, частоты которых локализуются в окрестности величин 2, 1, 1/3, 1/10, 1/30, 1/90, 1/180, 1/365, 1/1267 сут⁻¹.

Совместные распределения высот и направлений волн изучались на основе анализа двумерных гистограмм в районах мыса Херсонес, пгт Кацивели и пгт Песчаное. Так, например, в районе мыса Херсонес преобладают волны северного, северо-западного и северо-северо-западного направлений с повторяемостью 11–14 % случаев. Также имеет место высокая повторяемость волнения в юго-юго-восточном секторе. Распределение высот волн в секторах направлений подобно их одномерному распределению.

В целом полученные результаты не противоречат данным работ других авторов и дополняют их некоторыми новыми сведениями.

ИНЕРЦИОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ В ЧЕРНОМ МОРЕ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ NEMO

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

МГИ, Севастополь, Россия

✉ *valenru93@mail.ru*

Ключевые слова: Черное море, инерционные колебания, NEMO, ОЧТ, скорость ветра.

Инерционные колебания – это один из наиболее интенсивных видов движения вод, который во многом определяет большую часть вертикального потока энергии, доступной для генерации турбулентности и вертикального перемешивания.

В настоящей работе на основе результатов расчета скоростей течений с использованием модели NEMO проведено исследование сезонных и пространственных особенностей распределения

инерционных колебаний в Черном море с периодом колебаний 17–18 ч.

Анализ результатов расчета NEMO для 2014–2015 гг. позволил определить следующие особенности.

Спектральный анализ показал, что наибольшие спектральные энергии инерционных колебаний приходятся в основном на глубоководную часть Черного моря, а минимумы наблюдаются в прибрежной зоне. Продемонстрирована существенная пространственная неоднородность распределения спектральной энергии, связь которой с полем ветра не очевидна. Такая неоднородность во многом определяется структурой поля течений – расположением синоптических вихрей и ОЧТ.

Для глубоководной части бассейна наблюдается ярко выраженный сезонный ход глубины проникновения инерционных колебаний. В среднем наиболее интенсивные инерционные колебания имеют место в весенне-летний период и ограничены верхним десятиметровым слоем. В холодный период года интенсивность этих колебаний меньше, но они проникают до глубин 200–250 м. Однако в зависимости от года инерционные колебания (низкой интенсивности) проникают до 300 м и ниже, например в мае 2014 г. и апреле 2015 г. В районе шельфа имеет место противоположное сезонное распределение – наиболее интенсивные инерционные колебания приходятся на май – сентябрь и достигают в этот период глубин 40–45 м. Такое вертикальное распределение связано прежде всего с изменениями стратификации и скорости ветра.

В работе также на основе проведенного анализа оценена скорость проникновения инерционных колебаний в глубинные слои.

Работа выполнена в рамках государственных заданий ФГБУН ФИЦ МГИ по темам: FNNN-2021-0003 и FNNN-2021-0006.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ В РАЙОНЕ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ СКАНЕРА SEVIRI

В. А. Рубакина [✉], Ю. В. Симонова, С. В. Станичный

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

Ключевые слова: Черное море, сканер SEVIRI, температура поверхности моря, спутниковые данные, ЮБК, береговые наблюдения, изменчивость ТПМ.

Температура поверхности (ТПМ) Черного моря оказывает значительное влияние на климат Южного берега Крыма (ЮБК). Прибрежная зона ЮБК характеризуется значительной динамической активностью. В связи с этим изучение особенностей межгодовой изменчивости ТПМ и анализ аномальных температур важны при изучении береговых процессов и явлений в данном регионе. Для всестороннего исследования термических процессов также важно использовать данные спутниковых измерений. Это позволяет производить комплексный анализ ситуаций.

Для исследования межгодовой изменчивости ТПМ в районе ЮБК в данной работе использовались данные прибора на геостационарной орбите SEVIRI с временным разрешением 1 ч и пространственным разрешением 5 км. Массив спутниковых данных за 2005–2017 гг. сопоставлен с данными контактных береговых наблюдений за аналогичный период, производящихся на базе ЧГПП МГИ (пгт Качивели, Ялтинский район).

Данная работа продолжает демонстрировать возможность использования данных SEVIRI для исследования ТПМ в прибрежной зоне Черного моря. Массивы данных SEVIRI и контактных наблюдений хорошо согласуются между собой и отображают изменчивость ТПМ во внутритродовом ходе. Однако в холодный период года ТПМ по данным дистанционного зондирования существенно ниже данных береговых наблюдений. Эта разница, видимо, является следствием активного перемешивания

поверхностных и глубинных более холодных вод в зимний период в районе сбора данных сканера, который находится гораздо мористее берегового пункта наблюдений, а также особенностями спутниковых данных в прибрежной зоне (особенности и проблемы идентификации температуры на границе облаков, туманов и берега).

В рассматриваемом тринадцатилетнем временном интервале следует выделить 2010 г., который является самым теплым за весь период наблюдений (60 лет) со среднегодовой температурой по контактными измерениям равной 16,5 °С, что на 1,9 °С выше среднего значения для изучаемого района. Максимальная ТПМ по данным береговых наблюдений зафиксирована 6 августа 2010 г. и составила 30,4 °С. По данным SEVIRI также выделяется начало августа: 6 августа ТПМ достигла 30,2 °С, а 8 августа – 30,4 °С. Высокие значения ТПМ сохранялись весь месяц.

Исследование изменчивости ТПМ для августа 2010 г. дополнялось картами ветровой обстановки. Средний модуль скорости ветра для августа над всем Черноморским бассейном достигал всего 5,5–6 м/с (по данным реанализа ERA5), а в районе рассматриваемых контактных измерений скорость ветра не превышала 6,8 м/с. Такое распределение скорости ветра – один из факторов, способствующих столь значительному прогреву вод как для всего Черного моря в целом, так и для прибрежной зоны ЮБК в частности.

Сопоставление данных SEVIRI и контактных измерений в прибрежной зоне ЮБК показало преимущество береговых наблюдений перед методами дистанционных исследований при общей достаточно неплохой согласованности сопоставляемых массивов.

Работа выполнена в рамках государственных заданий ФГБУН ФИЦ МГИ по темам: FNNN-2021-0005, FNNN-2021-0006 и FNNN-2021-0003.

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО ОПИСАНИЯ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ УХОДЯЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ СИСТЕМЫ ОКЕАН – АТМОСФЕРА

И. Н. Садовский

ИКИ РАН, Москва, Россия
✉ *Ilya_Nik_Sad@mail.ru*

Ключевые слова: спектр ветрового волнения, дистанционное зондирование, пассивная радиометрия.

Активное применение спутниковых средств мониторинга поверхности Мирового океана, материков и приземного слоя атмосферы обусловлено возможностью получения глобальных полей распределения широкого набора физических параметров с высокой периодичностью и постоянно растущей точностью проводимых измерений. Пассивные средства дистанционного зондирования в микроволновом диапазоне, благодаря возможности проведения непрерывных всепогодных измерений, являются незаменимым инструментом при определении температуры поверхности океана, интегрального паросодержания атмосферы, высотных распределений температуры и влажности атмосферы и т. д.

При этом точность решения обратных задач пассивной радиометрии напрямую зависит от наличия адекватных моделей, связывающих физические (и геометрические, в частности степень шероховатости) параметры исследуемого объекта с характеристиками принимаемого на спутнике излучения.

Одним из двух подходов, используемых при оценке интенсивности уходящего микроволнового излучения системы океан – атмосфера, является применение двухмасштабной модели ветрового волнения. Это позволяет выполнить оценку вклада длинноволновых компонент волнения в излучение по методу Кирхгофа в приближении геометрической оптики, а мелкомасштабные вет-

ровые волны (пространственный период которых сравним с длиной волны принимаемого излучения) учитываются в рамках теории «критических явлений» в приближении метода малых возмущений. При этом традиционно используется понятие пространственного спектра ветровых волн, описывающего геометрию морской поверхности для определенных метеорологических условий (волнообразующих факторов).

Содержательная часть настоящего доклада посвящена описанию проблем, связанных с использованием спектрального описания волнения при решении прямой задачи оценки интенсивности собственного излучения, формируемого морской поверхностью. Показано, что в рамках описанного подхода оказывается невозможным выполнить корректное моделирование собственного излучения, в частности описать уже давно известный эффект азимутальной анизотропии в излучении морской поверхности, т. е. зависимости результатов измерений от взаимной ориентации генерального направления распространения волнения и плоскости наблюдения за ним.

Целью доклада является инициация дискуссии по данному вопросу и поиску возможных ответов на него в среде специалистов, традиционно занимающихся исследованием физики океана вообще и ветрового волнения в частности. Высказаны некоторые предположения автора (требующие экспертной оценки), являющегося в первую очередь радиофизиком, относительно возможных допущений в спектральном описании ветрового волнения, позволяющих продвинуться в направлении развития теории формирования собственного микроволнового излучения морской поверхности.

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

О СВЯЗИ ВОЗВЫШЕНИЙ СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ОРБИТАЛЬНЫХ СКОРОСТЕЙ В НЕЛИНЕЙНЫХ ВОЛНАХ

Я. В. Сапрыкина ¹✉, С. Ю. Кузнецов ¹, Б. Айдоган ²,
Б. Аят Айдоган ³, М. Н. Штремель ¹

¹ ИО РАН, Москва, Россия

² ГТУ, Стамбул, Турция

³ ЙТУ, Стамбул, Турция

✉ saprykina@ocean.ru

Ключевые слова: возвышения свободной поверхности, орбитальные скорости, свободные и связанные волны, нелинейные волны.

Волнение является одним из основных процессов, определяющих динамику шельфа и прибрежной зоны. Волны также являются фактором риска, приводящим к эрозии берегов и опасным ситуациям для морских судов и береговых сооружений. Поэтому в последнее время во всем мире большое внимание уделяется глобальным мониторинговым измерениям волновых полей с использованием дистанционных технологий. Однако для решения локальных задач широко применяются более простые методы измерения волнения, например с помощью датчиков давления или погружных измерителей скоростей. Согласно линейной теории волн измеренные скорости и давление могут быть пересчитаны в возвышения свободной поверхности (волны) и друг в друга с помощью дисперсионного соотношения линейной теории волн. Это позволяет, например, измерять только возвышения свободной поверхности и на их основе также определять орбитальные скорости на разных глубинах. Как показывают современные исследования, перенос наносов в прибрежной зоне определяется асимметрией орбитальных скоростей, поэтому большое значение имеет точность пересчета скоростей по возвышениям свободной

поверхности для их использования в расчетных формулах и моделях. Основная проблема пересчета орбитальных скоростей по данным волнения в нелинейных волнах на промежуточной глубине обусловлена одновременным существованием свободной и связанной второй волновых гармоник, которые имеют одинаковую частоту, но разные волновые числа. Поэтому главная цель работы – исследование взаимосвязи возвышений свободной поверхности и орбитальных скоростей в зависимости от глубины воды с учетом существования свободных и связанных волн.

Проблема была изучена на основе данных лабораторного эксперимента, в котором одновременно измерялись поверхностные волны и скорости частиц воды на разных глубинах. Для детального анализа были проведены численные расчеты по волновой модели SWASH. Методом линейной фильтрации в частотной области и в области волновых чисел было произведено разделение свободных и связанных волн и определено их затухание по глубине и связь с возвышениями свободной поверхности.

Было обнаружено, что свободные волны затухают с глубиной точно в соответствии с линейной теорией, а связанные волны затухают намного быстрее, чем предсказывают линейная волновая теория и теория волн Стокса. Это различие и неизвестный закон затухания связанных гармоник может быть причиной неточного пересчета орбитальных скоростей на разных глубинах по возвышениям свободной поверхности. Отмечено, что в случае пересчета возвышений свободной поверхности по измерениям давления на дне с помощью теории линейных волн также могут возникать существенные ошибки из-за незнания закона затухания связанных волн и пренебрежения совместным вкладом свободных и связанных волн в поверхностное волнение.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и ТУБИТАК в рамках научного проекта РФФИ 20-55-46005.

**РОЛЬ ЦИРКУМПОЛЯРНОГО ВИХРЯ
В ИЗМЕНЧИВОСТИ БАРИЧЕСКОГО ПОЛЯ,
ВЛИЯЮЩЕГО НА СТРУКТУРУ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ
В СУБРЕГИОНАХ АТЛАНТИКО-ЕВРОПЕЙСКОГО
СЕКТОРА, ВКЛЮЧАЯ
ЧЕРНОЕ, БАРЕНЦЕВО И НОРВЕЖСКОЕ МОРЯ**

А. А. Сизов ✉, **Т. М. Баянкина**, **В. Л. Посошков**,
А. В. Юровский

МГИ, Севастополь, Россия

✉ *sizov_anatoliy@mail.ru*

Ключевые слова: крупномасштабная изменчивость, поверхностная температура Черного, Баренцева и Норвежского морей, циркумполярный вихрь.

Представлены результаты исследования крупномасштабной (междесятилетней) изменчивости зимних гидрометеорологических полей в Атлантико-Европейском секторе. В основу исследования положено представление о роли циркумполярного вихря (ЦПВ) в формировании междесятилетней перестройки циркуляции атмосферы в Северном полушарии.

В ряде данных по изменчивости индекса Североатлантического колебания (САК) за 1948–2020 гг. были выбраны два десятилетия, характеризующие экстремальное состояние ЦПВ. Первое десятилетие за 1961–1970 гг. характеризовало ослабленный ЦПВ и отрицательную фазу САК и Арктического колебания (АК). Второе десятилетие (1991–2000 гг.) характеризовало интенсивный ЦПВ и положительные фазы САК и АК. Для выбранных десятилетий были получены оценки аномалии высоты геопотенциала в приземном слое атмосферы и в нижней стратосфере. Получено, что для ослабленного ЦПВ характерно увеличение высоты геопотенциала как в приземном слое, так и в нижней стратосфере в Исландском и Сибирском центрах действия атмосферы

и уменьшение высоты геопотенциала в Азорском максимуме давления. Соответственно, Исландский и Азорский центры действия атмосферы (ЦДА) ослабевали, а сибирский ЦДА усиливался. В десятилетие интенсифицированного ЦПВ Азорский и Исландский ЦДА усиливались, а Сибирский ЦДА ослабевал.

Такая динамика ЦДА создавала соответствующие условия циркуляции атмосферы в Атлантико-Европейском секторе. В результате зимняя приземная температура воздуха в Западной Европе определялась тепловым состоянием поверхности Северной Атлантики, а в Восточной Европе формировалась под переменным воздействием Азорского и отрога Сибирского антициклонов. Поверхностная температура Черного, Баренцева и Норвежского морей также формировалась в зависимости от динамики ЦПВ и ЦДА. В десятилетие интенсивного ЦПВ (преобладание циклонической циркуляции атмосферы) температура поверхности Баренцева и Норвежского морей была выше, чем в десятилетие ослабленного ЦПВ (преобладание антициклонических условий циркуляции атмосферы). Температура поверхности Черного моря, наоборот, в десятилетие ослабленного ЦПВ была выше климатической нормы (в этом регионе преобладали циклонические условия циркуляции атмосферы). В десятилетие интенсивного ЦПВ в регионе Черного моря циркуляция атмосферы развивалась под влиянием отрога Сибирского антициклона и прорывов арктического воздуха. Поэтому температура поверхности Черного моря в это десятилетие была ниже климатической нормы.

Даны предварительные оценки локализации аномалии температуры поверхности в Баренцевом и Норвежском морях в десятилетия интенсифицированного и ослабленного ЦПВ.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗИМНЕГО ПИКА ЦВЕТЕНИЯ ФИТОПЛАНКТОНА В СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЕ

К. А. Слепчук ✉, Т. В. Хмара

МГИ, Севастополь, Россия

✉ *skira@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: биомасса фитопланктона, фосфор фосфатный, моделирование биогеохимических процессов, гидродинамическая модель, Севастопольская бухта.

Воспроизводится зимний пик цветения фитопланктона в Севастопольской бухте с помощью трехмерной модели качества вод МЕССА (Model for Estuarine and Coastal Assessment) с использованием метеоданных за январь 2003 г. В работе показана детальная динамическая картина изменчивости течений, температуры, солености, концентрации биомассы фитопланктона и фосфора фосфатов. Из представленных результатов следует, что образование антициклонической вихревой ячейки в центральном районе бухты привело к увеличению концентрации фосфора фосфатов и цветению фитопланктона в этом районе. Максимальные значения концентрации биомассы фитопланктона ($0,056 \text{ гС/м}^3$) наблюдались на 23-й расчетный день в центральном районе, после чего происходит снижение до $0,047 \text{ гС/м}^3$ в центральном и восточном районах бухты. На протяжении всего расчетного периода уменьшается концентрация фосфора фосфатов. Оценки, полученные в ходе численного моделирования, в целом соответствуют данным наблюдений. Выполненное исследование может служить основой для развития и применения модельного подхода к мониторингу и управлению экосистемными процессами в мелководных водоемах. С помощью данной модели можно просчитать различные сценарии эвтрофирования бухты при увеличении сброса в нее биогенных веществ.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ № FNNN-2021-0005 «Прибрежные исследования».

ВЛИЯНИЕ ПРИБЛИЖЕНИЯ f -ПЛОСКОСТИ НА ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ПЕРЕНОС ИМПУЛЬСА ВНУТРЕННИМИ ВОЛНАМИ

А. А. Слепышев^{1, 2}✉, М. А. Шадт², Т. А. Разувай^{1, 2}

МГИ, Севастополь, Россия

² *Филиал МГУ в г. Севастополе, Севастополь, Россия*

✉ *slep55@mail.ru*

Ключевые слова: внутренние волны, вертикальные потоки импульса.

Вертикальный обмен в океане – ключевой процесс, который определяет экологическое состояние морской среды. Традиционно вертикальный обмен связывается с мелкомасштабной турбулентностью. Источники генерации турбулентности самые разнообразные: это обрушение поверхностных и внутренних волн, гидродинамическая неустойчивость течений и приливов, генерация турбулентности в придонном пограничном слое. Однако не только турбулентность ответственна за вертикальный обмен. Внутренние волны при учете вращения Земли и сдвиговых течений вносят свой вклад в вертикальный обмен. Вертикальный волновой поток импульса у инерционно-гравитационных внутренних волн отличен от нуля, если компонента скорости течения, перпендикулярная направлению распространения волны, зависит от вертикальной координаты.

В данной работе рассматривается влияние приближения f -плоскости на этот процесс. Для выяснения роли этого приближения рассматривается аналитически разрешимая модель с линейным профилем скорости у плоскопараллельного потока при постоянной частоте Брента – Вайсяля. Таким образом, в уравнениях движения учитывается вклад горизонтальной составляющей угловой скорости вращения Земли в силу Кориолиса. Аналитические расчеты показали, что отказ от приближения f -плоскости практически не изменяет дисперсионные кривые. Собственная функция внутренних волн – комплексная, а частота волны

действительная при фиксированном волновом числе. Вертикальные волновые потоки импульса $\bar{u}w$ практически не отличаются (w и u – проекции волновых возмущений скорости течения на вертикальное направление и направление распространения волны). Но на вертикальный волновой поток импульса $\bar{v}w$ приближение f -плоскости оказывает влияние, несколько уменьшая этот поток. Аналогичные расчеты были проведены для реальной стратификации и течений для 15-минутных внутренних волн, наблюдавшихся на северо-западном шельфе Черного моря в 44-м рейсе НИС «Михаил Ломоносов». Поток импульса $\bar{u}w$ практически не менялся в приближении f -плоскости, а поток $\bar{v}w$ отличался на несколько процентов. В рамках аналитической модели рассмотрено влияние широты на относительное отклонение максимума этого потока в приближении f -плоскости и без него, но при учете вращения Земли. Показано, что при приближении к экватору величина этого отклонения возрастает.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме FNNN-2021-0004 «Фундаментальные исследования океанологических процессов, определяющих состояние и эволюцию морской среды под влиянием естественных и антропогенных факторов, на основе методов наблюдения и моделирования».

ПЕРЕНОСЫ ВОДЫ, ТЕПЛА И СОЛИ ЧЕРЕЗ СЕВЕРО-ЕВРОПЕЙСКИЙ БАССЕЙН ПО ДАННЫМ ОКЕАНСКИХ РЕАНАЛИЗОВ

А. А. Соколов ¹✉, В. В. Иванов ²

¹ ААНИИ, Санкт-Петербург, Россия

² МГУ, Москва, Россия

✉ a.sokolov@aari.ru

Ключевые слова: Северо-Европейский бассейн, Арктический бассейн, адвективный тепломассоперенос.

Северо-Европейский бассейн (СЕБ) занимает особое место в глобальной климатической системе. Являясь пограничной зоной

между Атлантическим океаном и Арктическим бассейном (АБ), он во многом определяет климат умеренных и высоких широт.

В настоящей работе была выполнена оценка и анализ средне-многолетних гидрофизических характеристик тепломассопереноса через 11 жидких границ, связывающих СЕБ с сопредельными водными бассейнами, и суммарных бюджетов тепла и соли на основе данных океанского реанализа Global Ocean Ensemble Physics Reanalysis GLORYS2V4 (GLOBAL_REANALYSIS_PHP_001_031) за 1993–2020 гг.

Расчет тепломассопереносов производился путем интегрирования по всей площади разрезов от поверхности до дна. Поток тепла рассматривался относительно температуры, близкой к температуре замерзания морской воды ($-1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Основной сток из АБ в СЕБ проходит через пролив Фрама и составляет 2,37 Св. Среднемноголетний приток воды в СЕБ из Северной Атлантики составил 10,7 Св. Средний многолетний поток воды в СЕБ через северные, южные и восточные жидкие границы равен 19,32 Св. Сток воды из СЕБ через эти же границы составил 19,70 Св.

По оценкам тренда установлено, что за 28 лет общий поток воды в южной части СЕБ уменьшился на 5 % (от среднего значения). Наиболее существенное усиление потока выявлено для Датского пролива – 24 %. Поток воды в проливе Фрама усилился на 0,6 Св. В целом усиление потока воды отмечается для всех рассмотренных границ СЕБ.

Общее количество среднемноголетнего потока тепла, поступающего в СЕБ из Северной Атлантики и АБ, составило 235,70 ТВт. Среднемноголетнее поступление тепла в южной части СЕБ составило 220,55 ТВт. Основное поступление среднемноголетнего потока тепла из АБ в СЕБ осуществляется через пролив Фрама и составило 60,31 ТВт. Поток тепла, проходящий через жидкую границу Баренцева моря, составил 94,03 ТВт. По оценкам тренда оказалось, что за 28 лет общий поток тепла в СЕБ возрос на 11,52 ТВт.

Суммарное количество среднемноголетнего потока соли, поступающего в СЕБ из Северной Атлантики и АБ, составило 702,95 кт/с. Общий поток соли, проходящий через жидкую границу Баренцева моря, составил 111,53 кт/с. Основное

поступление среднемноголетнего потока соли из АБ в СЕБ осуществляется через пролив Фрама (85,15 кт/с). Среднемноголетний сток соли из СЕБ в АБ – 310,17 кт/с. Суммарное количество среднемноголетнего потока соли, поступающего в СЕБ из Северной Атлантики и АБ, за 28 лет уменьшилось на 82,81 кт/с.

ТЕПЛОМАССОБМЕН НА ГРАНИЦАХ АРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА

А. А. Соколов ¹✉, В. В. Иванов ²

¹ ААНИИ, Санкт-Петербург, Россия

² МГУ, Москва, Россия

✉ a.sokolov@aari.ru

Ключевые слова: Северный Ледовитый океан, Арктический бассейн, адвективный тепломассоперенос.

Северный Ледовитый океан (СЛО) – самый маленький среди океанов мира – является важным компонентом глобальной климатической системы. Водообмен СЛО и Атлантического океана (АО) осуществляется по обеим сторонам о. Гренландия. С Тихим океаном СЛО связан через Берингов пролив, расположенный к югу от Чукотского моря.

Наиболее интенсивное взаимодействие наблюдается в проливе Фрама, расположенном между восточным побережьем Гренландии и архипелагом Шпицберген. Течения, проходящие через этот пролив, являются важнейшим звеном поступления теплой и соленой атлантической воды в Арктику.

Выделяются два основных течения: холодное и распресненное Восточно-Гренландское (ВГТ), которое проходит вдоль восточных берегов Гренландии, и теплое и соленое Западно-Шпицбергенское (ЗШТ), которое является продолжением поверхностного Норвежского течения, проходящего в восточной части Норвежского моря. По мере движения на север ЗШТ с запада огибает Шпицберген и к северу от архипелага поворачивает на восток.

Принято считать, что адвекция атлантических вод, несущих большие запасы тепла, солей и влаги из Атлантического океана в СЛО, является одним из важнейших факторов, определяющих современный климат Арктики. Арктический бассейн (АБ) разделяется Хребтом Ломоносова на Евразийский и Американо-Азиатский суббассейны, по традиции их называют западной и восточной частями АБ.

В настоящей работе была выполнена оценка и анализ средне-многoletних гидрофизических характеристик теплопереноса (1993–2020 гг.) через отдельные проливы, связывающие АБ СЛО с сопредельными водными бассейнами, и суммарных бюджетов тепла и соли АБ на основе данных океанского реанализа. Global Ocean Physics Reanalysis GLORYS12V1 (GLOBAL_REANALYSIS_PHP_001_031) (URL: <http://marine.ornl.gov/>).

Данные массива GLORYS12V1 представлены на регулярной сетке с шагом $1/4^\circ$ на 75 стандартных уровнях в глобальном масштабе. Поток тепла рассматривался относительно температуры, близкой к температуре замерзания морской воды ($-1,8^\circ\text{C}$).

Наиболее интенсивное распространение потока тепла на север прослеживается в западной части АБ. Среднегoлетний поток тепла в западной части АБ составил 88,31 ТВт. Основной заток тепла проходит через восточную часть пролива Фрама и определяется ЗШТ. По оценкам тренда оказалось, что за исследуемый период общий поток тепла в западной части АБ увеличился на 87 ТВт. В восточной части АБ основной теплоперенос осуществляется через Берингов пролив, а основной сток – через проливы Канадского Арктического архипелага. Среднегoлетний общий поток тепла, поступающий через восточную часть АБ в СЛО, составил 1,64 ТВт. За 28 лет он увеличился на 93 %.

СПОСОБНОСТЬ РЕГИОНАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ИЗ ПРОЕКТА CORDEX ВОСПРОИЗВОДИТЬ СУММЫ ЗИМНИХ И ЛЕТНИХ ОСАДКОВ НАД ЧЕРНЫМ МОРЕМ

П. А. Сухонос

ИПТС, Севастополь, Россия
✉ *pasukhonis@mail.ru*

Ключевые слова: атмосферные осадки, Черное море, CORDEX.

Атмосферные осадки (АО) являются одним из ключевых факторов, влияющих на изменения гидрологического и гидрохимического режимов Черного моря. Перед рассмотрением региональных сценариев предполагаемого изменения пространственно-временного распределения АО целесообразно определить региональные климатические модели (РКМ), адекватно описывающие режим АО Черноморского региона.

Цель работы – проанализировать способность РКМ из проекта CORDEX адекватно воспроизводить суммы зимних и летних АО над Черным морем (40°–48° с. ш., 26°–42° в. д.) в контрольный период (1959–2005 гг.). Данные РКМ сопоставляются с данными атмосферного реанализа ERA5.

Использованы среднемесячные величины количества АО по данным 16 РКМ из проекта CORDEX. Данные имеются в свободном доступе на сайте Climate Explorer (URL: <https://climexp.knmi.nl/>). Модельные расчеты получены в результате различных сочетаний глобальных климатических моделей (ГКМ) и РКМ.

По данным о количестве АО для каждой РКМ и реанализа рассчитаны суммы АО для зимы (декабрь – февраль) и лета (июнь – август), а также их максимальные и минимальные величины, медиана и ее доверительный интервал.

Минимальная величина сумм АО за зимний сезон по данным реанализа ERA5 равна 1119 мм/год, максимальная – 3379 мм/год. Доверительный интервал медианы сумм АО за летний сезон по этим данным составляет 2101–2347 мм/год. Эта величина

наименьшая по сравнению с соответствующей величиной по данным всех РКМ. Доверительный интервал медианы сумм АО за зиму по данным РКМ KNMI-RACMO22E с входными данными из ГКМ МОНС-HadGEM2-ES более чем в 4,5 раза превышает соответствующую величину по данным реанализа ERA5. Эта РКМ неадекватно воспроизводит АО над Черным морем в зимний сезон, завышая величины количества АО более чем в 2,5 раза. Разность между максимальной и минимальной величинами сумм АО для зимы по данным всех РКМ, за исключением указанной, составляет от 70 до 132 % по сравнению с данными реанализа ERA5.

В летний сезон отмечаются наиболее сильные межмодельные различия в воспроизведении величин количества АО РКМ. Минимальная величина сумм АО за летний сезон по данным реанализа ERA5 равна 535 мм/год, максимальная – 1995 мм/год. Доверительный интервал медианы сумм АО за летний сезон по этим данным составляет 782–1241 мм/год. Десять РКМ занижают величины количества АО над Черным морем в летний сезон в 5–10 раз. Суммы АО за летний сезон по данным РКМ KNMI-RACMO22E с входными данными из ГКМ МОНС-HadGEM2-ES, РКМ MPI-CSC-REMO2009 с входными данными из ГКМ MPI-M-MPI-ESM-LR, РКМ MPI-CSC-REMO2009 с входными данными из ГКМ MPI-M-MPI-ESM-LR, РКМ SMHI-RCA4 с входными данными из ГКМ IPSL-IPSL-CM5A-MR, РКМ SMHI-RCA4 с входными данными из ГКМ MIROC-MIROC5 и РКМ SMHI-RCA4 с входными данными из ГКМ NOAA-GFDL-GFDL-ESM2M находятся в удовлетворительном согласии с соответствующими величинами по данным реанализа ERA5, по сравнению с остальными РКМ.

Таким образом, суммы АО, выпадающих над Черным морем, в зимний сезон удовлетворительно воспроизводят все РКМ из проекта CORDEX, за исключением одной, а в летний сезон – всего шесть РКМ.

Работа выполнена в рамках госзадания ИПТС № госрегистрации 121122300074-7.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГИДРОТЕХНИКИ И ГИДРОДИНАМИКИ

А. Р. Тлявлин

НГУ Сириус, пгт Сириус, Россия
✉ *alexey.tlyavlin@gmail.com*

Ключевые слова: математическое моделирование, гидротехнические сооружения, берегозащита, воздействие волн на сооружения, закон Снелла, модель спектра.

Создание программного комплекса для математического моделирования воздействия волн на сооружения является актуальной задачей, ведь в настоящее время нет моделей, достоверно и однозначно описывающих взаимодействие волн с гидротехническими сооружениями. Это затрудняет и удлинняет процесс реализации проектов по защите берегов, железнодорожных путей и других сооружений.

Зарубежные программные комплексы не всегда подходят под гидрологические и морфологические условия морей России и могут быть недоступны из-за санкций, а российские программные комплексы отсутствуют на рынке. Однако благодаря уникальной экспериментальной базе института, где проводятся научные исследования по берегозащите, возможно создать программный комплекс, учитывающий особенности берегов в России.

Для математического моделирования воздействия волн на сооружения используются уравнения, которые позволяют вычислять характеристики волн. Однако при расчете волн необходимо учитывать множество факторов, таких как приливы, ледовые явления, особенности рельефа дна и другие нюансы, которые могут повлиять на волновое воздействие.

В настоящее время ведется создание программного комплекса для математического моделирования воздействия волн на сооружения, который позволит оптимизировать процесс проектирования морских гидротехнических сооружений, с применением алгоритмов, основанных на различных физических уравнениях, описывающих характеристики волн. Кроме того, данный

программный комплекс будет полезен для области укрепления берегов, которые подвергаются размыву в результате воздействия штормов.

Программный комплекс разрабатывается на базе языка C++, чтобы реализовать сложные вычислительные алгоритмы, требующие высокой производительности и быстродействия, и языка Python, который позволяет экспортировать результаты в различные форматы и интерпретировать результаты расчетов, а также представлять их в удобном виде. Модель спектра основывается на использовании уравнения баланса энергии, передаваемой ветром воде. Трансформация волн на мелководье описана с использованием уравнения баланса волновой энергии в спектральной форме. Для расчета рефракции волн применяются закон Снелла и условие постоянства потока энергии.

Данный программный комплекс будет доступен на российском рынке. Его использование позволит проводить более точные расчеты в условиях морей России, тем самым позволяя проводить более эффективное проектирование морских гидротехнических объектов и повышая их надежность.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ СПЕКТРАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЕТРОВЫХ ВОЛН С ПОМОЩЬЮ ФАЗО-РАЗРЕШАЮЩЕЙ МОДЕЛИ

К. В. Фокина^{1,2}✉, **К. Ю. Булгаков**^{1,2}, **Д. В. Чаликов**^{1,3}

¹ *ИО РАН, Москва, Россия*

² *РГГМУ, Санкт-Петербург, Россия*

³ *Университет Мельбурна, Викториа, Австралия*

✉ *fokinakarina@yandex.ru*

Ключевые слова: спектральное моделирование, фазоразрешающая модель, трехмерные волны, прогноз волн.

В настоящее время изучение морских волн посредством спектрального моделирования является единственным возможным методом, позволяющим описать эволюцию волнового поля на больших пространственных масштабах в течение длительных

периодов времени. Спектральные модели предоставляют спектры, описывающие эволюцию энергии волн в пространстве и времени под воздействием ветра и диссипации, но не содержат никакой информации о самих волнах, их статистических характеристиках.

В работе предлагается вычислительная процедура, при помощи которой можно трансформировать спектральную информацию в двухмерное волновое поле, состоящее из набора линейных мод со случайно распределенными фазами.

В дальнейшем воспроизведенное на основе спектра линейное волновое поле принимается как начальное условие для ускоренной фазоразрешающей модели, описывающей трехмерные волны на основе двумерных уравнений. Анализ результатов, рассчитанных подобной моделью, показал, что она воспроизводит статистические характеристики волн, практически неотличимые от результатов точного трехмерного моделирования.

В докладе будет описана процедура обработки спектральных данных и показано использование разработанного метода для интерпретации спектрального прогноза волн на примере Балтийского моря.

Работа проводилась при поддержке Российского научного фонда (проект № 22-21-00139).

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РЕЧНОГО ПЛЮМА И АПВЕЛЛИНГА НА СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ ШЕЛЬФЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

М. В. Цыганова ✉, **Е. М. Лемешко**, **Ю. Н. Рябцев**

МГИ, Севастополь, Россия

✉ *m.tsyanova@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: плум, Дунай, численное моделирование, Черное море, апвеллинг.

Проявление прибрежного апвеллинга наблюдается у западного побережья Черного моря при южном ветре. В этом же районе сильное влияние на гидрологическую структуру вод

оказывают сток рек, который формирует речной плюм, и вдольбереговое течение, направленное на юг.

Целью данной работы является изучение эволюции плюма на северо-западном шельфе Черного моря и его взаимодействие с апвеллингом на основе численного моделирования.

Влияние развития апвеллинга под действием ветра южных румбов на распространение плюма исследовалось с помощью трехмерной сигма-координатной численной модели ROM-типа для расчета циркуляции в прибрежной зоне с учетом стока реки. Расчеты проведены для прямоугольной области для случаев как однородной по глубине, так и типичной для мая (когда в среднем наблюдается максимальное развитие плюма Дуная) стратификации вод северо-западного шельфа.

Получено, что совместная динамика апвеллинга и речного плюма тесно связана со стратификацией прибрежных вод. В случае нестратифицированных вод шельфа тонкий слой плюма усиливает апвеллинг и даунвеллинг на береговой и морской сторонах речного плюма соответственно. Полученные результаты позволили изучить особенности трансформации речных вод в период действия ветров, вызывающих развитие прибрежного апвеллинга.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № FNNN-2021-0005.

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕРМОХАЛИННЫХ ФРОНТОВ В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ

Е. Д. Чернышова [✉], Н. В. Никольский, И. Г. Шокурова

МГИ, Севастополь, Россия

[✉] *alenaksendzik@rambler.ru*

Ключевые слова: Северная Атлантика, температура, соленость, фронтальные зоны, горизонтальные градиенты, сезонная изменчивость.

В Северную Атлантику за счет океанических течений поступают воды с различными термохалинными характеристиками,

что обуславливает на их границах наличие океанических фронтов. Для исследования фронтальных зон и их характеристик использовались среднемесячные данные о температуре и солености океанического реанализа ORAS5 (1958–2021 гг.). Положение и вертикальная структура фронтов определялись на основе расчета полей горизонтальных градиентов температуры и солености и последующего их осреднения за сезоны.

Фронтальные зоны отмечаются в окрестности всех крупных океанических течений, при этом градиенты температуры и солености усиливаются или ослабевают в зависимости от сезона года. Гольфстрим переносит теплые воды из низких широт в более высокие холодные широты, в результате чего вдоль всего течения присутствует температурный фронт, наиболее выраженный в зимний сезон. Максимальные градиенты температуры на поверхности наблюдаются в районе мыса Гаттерас и в районе Ньюфаунлендской банки и составляют $0,12\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{км}$. К лету за счет сезонного увеличения температуры окружающих вод этот фронт ослабевает. Повышение температуры воды летом также приводит к усилению температурного фронта в районе системы холодных течений – Трансполярного и Восточно-Гренландского. Максимальные градиенты летом здесь достигают $0,07\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{км}$.

Температурный фронт вдоль Лабрадорского течения, переносящего холодные воды из моря Баффина, выделяется во все сезоны. Максимальные значения градиентов температуры уменьшаются от зимы ($0,07\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{км}$) к лету ($0,05\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{км}$). Другая система температурных фронтов Ян-Майенского – порога Мона также наблюдается во все сезоны. Она разделяет теплые воды, поступающие в Северный Ледовитый океан с Северо-Атлантическим и Норвежским течениями, и холодные воды, приходящие из Арктики в Атлантику с Трансполярным и Восточно-Гренландским течениями. Максимальные градиенты в районе фронта наблюдаются зимой и весной и достигают $0,03\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{км}$.

Наиболее выраженные соленостные фронты находятся в районах Лабрадорского и Восточно-Гренландского течений, переносящих менее соленые, по сравнению с атлантическими, воды из Северного Ледовитого океана. Соленостный фронт вдоль Лабрадорского течения присутствует во все сезоны. Максимальные градиенты солености увеличиваются с $0,03\text{ psu}/\text{км}$ зимой до

0,07 psu/км летом, что связано с таянием арктических льдов. Вдоль Восточно-Гренландского течения градиенты также значительно возрастают летом. Максимальные значения горизонтальных градиентов солености в этот сезон составляют 0,04 psu/км.

Анализ вертикальной структуры термохалинного фронта в районе северного участка Гольфстрима показал, что горизонтальные градиенты температуры со значениями более 0,01 °C/км распространяются до глубины 1000 м, а градиенты солености, превышающие 0,001 psu/км, – до глубины 700 м.

Работа выполнена в рамках тем ФГБУН ФИЦ МГИ FNNN-2021-0004 «Океанологические процессы» и FNNN-2021-0002 «Взаимодействие атмосферы и океана».

ВЗАИМОСВЯЗЬ ТЕРМОХАЛИННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕМЕШАННОГО, ПОДПОВЕРХНОСТНОГО И АТЛАНТИЧЕСКОГО СЛОЕВ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

Е. А. Чернявская^{1,2}

¹ ААНИИ, Санкт-Петербург, Россия

² Центр научных исследований и разработок, Великий Новгород, Россия
✉ cherni_ka@mail.ru

Ключевые слова: Арктика, перемешанный слой, галоклин, атлантические воды, вертикальная структура, температура, соленость.

Вертикальная структура Северного Ледовитого океана (СЛО) формируется верхним слоем, слоем тихоокеанских вод (в Американо-Северном суббассейне), слоем атлантических вод и донными водами. В свою очередь, в структуре верхнего слоя выделяют верхний перемешанный слой и слой галоклина.

Каждый слой имеет особенности термохалинной структуры, обусловленные не только процессами формирования, но и взаимодействием с соседними слоями.

По данным зимних экспедиций (март – май) в районе СЛО в 1950–1993 гг., собранным на стандартных горизонтах, а также по данным модели GLO 001_030 Европейского космического агентства за период с 1994 по 2019 г. были рассчитаны поля температуры, солёности и толщины верхнего перемешанного слоя, слоя галоклина и атлантического слоя в узлах регулярной сетки с разрешением 200×200 км, покрывающей весь Арктический бассейн (всего 178 точек).

Результаты анализа показали наличие взаимосвязи между толщинами и термохалинными характеристиками трех слоев. Так, например, хорошо прослеживается тенденция к уменьшению толщины слоя галоклина, являющегося слоем, изолирующим перемешанный слой от тепла атлантических вод. Рост температуры и уменьшение солёности галоклина особенно отчетливо прослеживаются в Амеразийском суббассейне, где, в свою очередь, увеличивается толщина перемешанного и атлантического слоев.

Для дальнейшего исследования взаимосвязей между слоями были рассчитаны пространственные коэффициенты корреляции для толщин слоев, значений температуры и солёности. На основе результатов кластерного анализа пространственных коэффициентов корреляции были выделены пять районов в акватории Арктического бассейна, отличающихся характером взаимосвязей характеристик верхнего перемешанного слоя, слоя галоклина и атлантического слоя.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-71-10052, <https://rscf.ru/project/21-71-10052/>.

ЭВОЛЮЦИЯ ЗЫБИ, ИЗЛУЧАЕМОЙ ИЗ ВНЕТРОПИЧЕСКОГО ЦИКЛОНА

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: внетропические циклоны, Атлантический океан, мониторинг и моделирование поверхностных волн, эволюция зыби.

В данной работе представлены результаты тематического исследования эволюции поверхностных волн, исходящих из внетропического циклона (ВТЦ) в Северной Атлантике. Рассматриваемый ВТЦ зародился на западе Северной Атлантики на 48° с. ш. в полдень 12 февраля 2020 г. Он переместился на северо-восток, достигнув в полдень 14 февраля 2020 г. 60° с. ш. в районе Исландии, и далее перестал двигаться на северо-восток, потерял свою первоначальную форму, превратившись в «воздушную струю» вдоль юго-восточного побережья Гренландии.

За время существования ВТЦ волны, развивающиеся в штормовой зоне, достигли экстремальных значений высоты и длины волны, около 18 и 450 м соответственно. После прекращения существования ВТЦ сгенерированные волны продолжили свое распространение в виде системы зыби, движущейся на северо-восток.

Струя ветра вдоль Гренландии, образовавшаяся после ВТЦ, обеспечивала появление и развитие новой системы ветровых волн. Эти ветровые волны развивались на расстоянии около 1200 км вдоль побережья Гренландии и далее в районе мыса Фарвель покидали штормовую зону, двигаясь в сторону открытого океана в виде систем зыби.

Анализ эволюции этих двух систем волн зыби (одна из которых двигалась на северо-восток от ВТЦ, а другая на юг от мыса Фарвель) проведен с использованием спектральной информации, полученной по данным мультисенсорных спутниковых измерений и результатов моделирования с применением параметрической

волновой модели [1, 2]. Анализ эволюции зыби показал, что затухание энергии зыби обусловлено в основном эффектом расхождения волновых лучей, что дает падение энергии обратно пропорциональное расстоянию от ее источника. Эта скорость падения значительно превышает скорости затухания, предсказываемые нелинейной диссипацией энергии, нелинейным волновым взаимодействием и взаимодействием зыби с воздушным потоком.

Список литературы

1. Kudryavtsev V., Yurovskaya M., Chapron B. 2D parametric model for surface wave development under varying wind field in space and time // Journal of Geophysical Research: Oceans. 2021. Vol. 126, iss. 4. e2020JC016915. doi:10.1029/2020jc016915
2. On surface waves in arctic seas / V. Kudryavtsev [et al.] // Boundary-Layer Meteorology. 2023. Vol. 187, iss. 1–2. P. 267–294. doi:10.1007/s10546-022-00768-9

ТЕОРИЯ ПОДОБИЯ ДЛЯ ДНЕВНОЙ БРИЗОВОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ НА ЭКВАТОРЕ

М. В. Шокуров ✉, Н. Ю. Краевская

МГИ, Севастополь, Россия
✉ shokurov.m@gmail.com

Ключевые слова: бризовая циркуляция, гравитационное течение, теория подобия, линейная теория, численное моделирование.

Бризовая циркуляция – распространенное геофизическое явление вблизи берегов водоемов. Для исследования бриза широко используются теоретические методы, среди которых можно выделить линейную теорию, теорию подобия и идеальное численное моделирование с упрощенным представлением физических процессов.

В рамках линейного подхода на экваторе бриз представляет внутреннюю гравитационную волну, учет нелинейных

слагаемых приводит к возникновению в структуре гравитационного течения и внутренних высокочастотных волн над ним.

Известно, что линейная теория может частично объяснить некоторые наблюдающиеся процессы в тропиках, однако согласно работам, посвященным наблюдениям и реальному численному моделированию, бриз всегда наблюдается в нелинейном режиме. Для нелинейного режима получение аналитического решения затруднительно, поэтому для этого часто используют двумерные модели.

В данной работе с использованием теории подобия рассмотрена задача об изменении структуры и динамики дневной бризовой циркуляции при увеличении влияния нелинейных слагаемых.

Показано, что можно ввести безразмерный параметр – Бризовое число (B_r), которое определяется как отношение нелинейных адвективных членов к линейным и характеризует степень возмущения фоновой плавучести источником тепла вблизи поверхности.

Бризовое число может принимать значения в диапазоне от 0 до 1, при этом наблюдается формирование циркуляционной ячейки, в нижней ветви которой в стратифицированную атмосферу распространяется стратифицированное гравитационное течение. В предельном случае, когда Бризовое число равно 0, структура бриза описывается линейной теорией, в этом случае гравитационное течение не наблюдается. При предельном значении $B_r = 1$ также формируется бризовая циркуляционная ячейка, однако гравитационное течение, сформированное вблизи поверхности, распространяется в однородном перемешанном атмосферном слое.

Было выполнено сравнение скорости фронта гравитационного течения, полученной из гидравлической теории, со скоростью в бризовой циркуляционной ячейке из линейной теории.

Сравнивались также расстояние, на которое распространяется гравитационное течение, и горизонтальный размер ячейки.

Показано, что когда $0 < B_r < 1$ скорость фронта гравитационного течения больше скорости, наблюдаемой в бризовой ячейке, в $B_r^{1/2}$. А расстояние, на которое успевает распространиться

гравитационное течение, меньше размера бризовой циркуляционной ячейки также в $Bg^{1/2}$.

В предельном режиме при значении $Bg = 1$ скорость в бризовой ячейке равна скорости распространения фронта гравитационного течения, также равны размер бризовой ячейки и горизонтальный масштаб бризового гравитационного течения.

Результаты, полученные в рамках теории подобия, были проверены с использованием двумерной модели. Результаты численных экспериментов по порядку величин согласуются с результатами, полученными в теории.

Работа выполнена в рамках темы ФГБУН ФИЦ МГИ № FNNN-2021-0002 (шифр «Взаимодействие океана и атмосферы»).

СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОВТОРЯЕМОСТИ И СКОРОСТИ БЛАГОПРИЯТНЫХ ДЛЯ АПВЕЛЛИНГА ВЕТРОВ У ЮЖНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КРЫМА

И. Г. Шокурова ¹✉, Т. В. Пластун ¹, Т. Е. Касьяненко ¹,
Р. Р. Станичная ¹, С. Б. Крашенинникова ²,
Ю. В. Симонова ¹

¹ МГИ, Севастополь, Россия

² ИнБЮМ, Севастополь, Россия

✉ igshokurova@mail.ru

Ключевые слова: апвеллинг, температура морской воды, вдольбереговой ветер, направление ветра, повторяемость ветра, скорость ветра, Черное море.

Прибрежный апвеллинг, вызываемый вдольбереговым ветром, перемещает богатые биогенными элементами воды из глубин к поверхности, что является важным динамическим фактором, влияющим на продуктивность всей пищевой цепочки прибрежной экосистемы моря. Данные о понижении температуры воды летом за счет апвеллинга позволяют сопоставить их

с данными о ветре и определить направления ветра, предшествующие подъему вод.

Такие ситуации были проанализированы по данным оперативного контроля температуры воды летом 2013 г. на гидрофизическом полигоне МГИ РАН и данным о ветре реанализа ERA5. Анализ показал, что всем событиям апвеллинга предшествовали юго-западные, западные и северо-западные ветры продолжительностью от суток и более. Для ветров этих направлений была проведена статистика их повторяемости, скорости и продолжительности в период 1979–2021 гг.

Получено, что суммарная повторяемость этих ветров достигает наибольших значений в декабре, январе, июне и июле с максимумом в июне. Наименьшие значения повторяемости отмечаются в августе и октябре. В среднем в каждом месяце присутствуют 4–5 ситуаций с ветрами западных направлений продолжительностью сутки и более. В межгодовых вариациях повторяемости и скорости благоприятных ветров выделяются годы с высокими и низкими значениями этих характеристик, что может сопровождаться изменением числа и продолжительности случаев с апвеллингами. Это подтверждает статистически значимая положительная связь по июньским данным 1979–2021 гг. между временными рядами среднемесячных значений повторяемости и скорости ветров западных направлений и рядом суммарного за месяц числа сроков с пониженной температурой воды, вычисленного по ежедневным (три раза в сутки) данным измерений у берега на гидрофизическом полигоне МГИ РАН. Значения коэффициентов корреляции составляют 0,68 и 0,74 соответственно.

Работа выполнена в рамках государственных заданий ФГБУН ФИЦ МГИ по темам: FNNN-2021-0002, FNNN-2021-0003, FNNN-2021-0005, а также ФИЦ ИнБЮМ по теме: 0556-2021-0003 (№ 121041400077-1).

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ СПУТНИКОВОЙ РАДИОМЕТРИИ ПРИ СИЛЬНЫХ ВЕТРАХ

М. В. Юровская^{1,2}✉, В. Н. Кудрявцев^{2,1}, Е. В. Заболотских²

¹ МГИ, Севастополь, Россия

² РГГМУ, Санкт-Петербург, Россия

✉ mvkosnik@gmail.com

Ключевые слова: спутниковая радиометрия, радиояркая температура, ураганные ветра, обрушения волн, микроволновое излучение морской поверхности.

Данные микроволнового зондирования океана из космоса являются на сегодняшний день наиболее надежным источником регулярной информации о солености, температуре морской поверхности, скорости приводного ветра и параметрах атмосферы, получаемой на обширных территориях при любых погодных условиях. Преимуществом пассивных наблюдений микроволнового излучения океана перед измерениями скаттерометрии является отсутствие насыщения сигнала при сильных ветрах, что дает возможность получать информацию о скорости ветра в экстремальных погодных системах, таких как тропические циклоны.

Известно, что радиотепловое излучение океана зависит не только от диапазона микроволнового спектра, угла наблюдения и физико-химических свойств морской воды, но и от сложных взаимосвязанных процессов, протекающих в океане и атмосфере. Основными факторами формирования избыточного микроволнового излучения океана считаются шероховатость морской поверхности и обрушения ветровых волн. Контрасты радиояркой температуры, вызванные модуляциями коэффициента Френеля поверхностными волнами и изменением диэлектрической проницаемости морской поверхности в присутствии пены, увеличиваются с ростом скорости ветра вплоть до 70 м/с и более, что и позволяет восстанавливать поля скорости ветра, в том числе и в ураганах. Для этого используются так называемые геофизические модельные функции (ГМФ), как правило, получаемые эмпирически.

В данной работе рассматриваются подходы к улучшению алгоритмов оценки геофизических параметров по данным микроволновых измерений на основе физических представлений о процессах на границе океан – атмосфера, включая особенности, возникающие при экстремальных ветрах. Недавно разработанная модель оценки полей волнения в тропических циклонах позволяет более детально исследовать эффекты, связанные не только напрямую со скоростью ветра, но и с возрастом волн, их крутизной, наличием зыби. Результаты работы позволят углубить понимание механизмов излучения взволнованной морской поверхности и формирования контрастов радиояркой температуры для совершенствования существующих ГМФ.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №21-17-00236 и государственных заданий № 0555-2021-0004 в МГИ РАН и № 0736-2020-0005 в РГГМУ.

ДОПЛЕРОВСКИЕ ОБРАЗЫ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ

Ю. Ю. Юровский ✉, **В. Н. Кудрявцев,**
М. В. Юровская, П. Д. Пиваев

МГИ, Севастополь, Россия
✉ yyurovsky@gmail.com

Ключевые слова: ветровые волны, ураган, радиолокация, сечение обратного рассеяния, доплеровский сдвиг.

В настоящее время неизвестно, как может проявляться тропический циклон или полярный циклон в измерениях доплеровских скаттерометров как с реальной, так и с синтезированной апертурой. Другими словами, неясен так называемый доплеровский радиолокационный образ циклонов (далее для упрощения изложения рассматриваются только тропические циклоны – ТЦ). Решение данной задачи может помочь в разработке новых спутниковых инструментов, основанных на измерениях доплеровского сдвига частоты рассеянного сигнала. В данной работе выполнены расчеты образов ТЦ в величине средней доплеровской скорости

(ДС), определяемой как центр тяжести доплеровского спектра. В основе расчетов лежит полученная ранее модель центра тяжести доплеровского спектра KaDOP [1]. На вход модели, пригодность которой для условий ураганного ветра обоснована специализированными экспериментами, подавались следующие поля: а) скорость ветра в движущемся ТЦ; б) скорость поверхностного течения, состоящего из дрейфовых течений и течений, индуцируемых бароклинным и баротропным откликом океана на прохождение ТЦ, которые были рассчитаны по модели [2]; в) поля ветровых волн и зыби, генерируемых полем ветра ТЦ, рассчитанные с помощью модели [3]. На выходе модели KaDOP были получены поля ДС, соответствующие ТЦ, для различной геометрии наблюдения, включая случаи пролета сенсора вдоль и поперек траектории циклона, и широкого набора параметров ТЦ. Рассчитаны четыре компоненты доплеровской скорости: фоновая составляющая, обусловленная течением на поверхности; собственная скорость рассеивателей (фазовая скорость резонансных волн, которая определяется полем ветра); две волновые компоненты, связанные с ветровыми волнами и зыбью.

Фоновая составляющая является «полезным сигналом», который необходимо выделить из измеренной ДС, представляющей сумму всех компонент. Для поля поверхностного течения в ТЦ характерна периодическая знакопеременная структура следа циклона, обусловленная резонансным характером генерации дрейфового течения. В поле ДС эта структура проявляется с фазой, зависящей от азимута наблюдения, и амплитудой, определяемой углом визирования. Собственная скорость рассеивателей вносит добавку к ДС, модуль которой определяется резонансной длиной волны и углом визирования, а знак зависит от азимута наблюдения – на ветер либо под ветер. В волновом вкладе в ДС вклад ветровых волн более значим, чем вклад зыби, что обусловлено их большей крутизной и, соответственно, большей амплитудой орбитальных движений и более сильными модуляциями радиолокационного сечения рассеяния. Поле ДС наиболее подвержено влиянию волн в области максимальных значений скорости ветра, зачастую маскируя знакопеременную структуру поля течения. Зыбь отчетливее проявляется на периферии циклона, где, с одной

стороны, невелико влияние ветровых волн, а с другой стороны, увеличена степень модуляции за счет ослабления скорости ветра.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда 21-17-00236.

Список литературы

1. Sea surface Ka-band Doppler measurements: Analysis and model development / Y. Y. Yurovsky [et al.] / Remote Sensing. 2019. Vol. 11, iss. 7. 839. doi:10.3390/rs11070839

2. A simplified model for the baroclinic and barotropic ocean response to moving tropical cyclones: 1. Satellite observations / V. Kudryavtsev [et al.] // Journal of Geophysical Research: Oceans. 2019. Vol. 124, iss. 5. P. 3446–3461. doi:10.1029/2018JC014746

3. Surface wave developments under tropical cyclone Goni (2020): Multi-satellite observations and parametric model comparisons / M. Yurovskaya [et al.] // Remote Sensing. 2022. Vol. 14, iss. 9. 2032. doi:10.3390/rs14092032

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМЕ АТМОСФЕРА – МОРЕ ДЛЯ НОВОРОССИЙСКОЙ БОРЫ

Д. А. Яровая ✉, **В. В. Ефимов**

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

Ключевые слова: новороссийская бора, совместное моделирование, взаимодействие море – атмосфера.

С использованием совместной численной модели WRF-NEMO с разрешением 1 км воспроизведена реакция моря на сильную новороссийскую бору в феврале 2012 г., а также структура атмосферных полей в области боры. Отмечено развитие сильных течений в прибрежной области моря. Даны оценки параметров, определяющих развитие боры.

Показана характерная особенность новороссийской бory – мезомасштабный квазидвумерный циклонический вихрь в атмосфере над морем, связанный с обтеканием воздушным потоком северо-западного края высоких Кавказских гор. Вихрь формируется в прибрежной зоне и после отрыва от берега смещается в открытое море. Особенностью развития циклонического вихря является юго-восточный ветер со скоростью более 10 м/с в прибрежной области кавказского побережья. Изучена реакция верхнего слоя моря на этот вихрь, и даны оценки возмущений полей скорости и температуры в море.

СЕКЦИЯ 3
ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОГО ОСВОЕНИЯ
И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ
МОРСКОЙ СРЕДЫ

ОСНОВНОЙ ИОННЫЙ СОСТАВ ВОД
КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА
И ПРИЛЕГАЮЩИХ АКВАТОРИЙ

Н. Ю. Андрулионис ✉, **И. Б. Завьялов**, **С. А. Рождественский**

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

Ключевые слова: определение солёности, солёность, ионный состав, главные ионы, компонентный состав, морская вода, Черное море, Керченский пролив, Таманский залив, Азовское море.

Работа посвящена изучению водообмена между Азовским и Черным морями через Керченский пролив по данным лабораторных исследований основного ионно-солевого состава и других характеристик их вод, полученным в 2019–2023 гг. Концентрации компонентов основного ионного состава, солёности и плотности поверхностных вод были получены для северо-восточной части Черного моря, вод Керченского пролива и Таманского залива Азовского моря. Значения солёности вод были получены четырьмя различными способами для вод Керченского пролива и тремя (2–4) для вод Черного моря и Таманского залива: 1) расчетом на основе электропроводности по данным STD-зонда (практическая солёность); 2) расчетом по уравнению состояния TEOS-10 на основе измерений плотности (абсолютная соле-

ность); 3) расчетом по хлорности с использованием эмпирической зависимости для вод Черного моря; 4) прямым расчетом на основе суммы компонентов основного ионного состава. Оценка влияния ионных вариаций в водах исследуемых районов на ошибки при расчете солености с использованием STD-данных и хлорного коэффициента, проведенная на большем количестве образцов вод Керченского пролива и Черного моря подтверждает наблюдения, опубликованные нами ранее. В работе приводятся аналогичные оценки для вод Таманского залива.

Показано, что воды Керченского пролива Азовского моря имеют большую неоднородность состава, представленного смесью вод Черного, Азовского морей и вод Таманского залива, и подвержены значительной пространственной и временной изменчивости.

Было установлено, что поверхностной водной массе северо-восточной части Черного моря соответствует соленость $\sim 18.75 \text{ ‰}$ ($\sim 18.2 \text{ PSU}$), а воды в среднем имеют определенный относительный основной ионный состав.

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ МИКРОПЛАСТИКОМ ВОД НИЖНЕГО ДОНА, ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И ВОЛГИ

М. А. Анциферова ^{1,2}

¹ *ИОНЦ РАН, Ростов-на-Дону, Россия*

² *ЮФУ, Ростов-на-Дону, Россия*

✉ *m12antsiferova@mail.ru*

Ключевые слова: микропластик, пластиковый мусор, загрязнение вод, экологическая оценка.

Проблема загрязнения микропластиком окружающей среды активно исследуется учеными из различных областей. Микроскопические частицы пластмасс находят повсюду, вследствие чего исследование важнейшего на юге России водного континуума

Нижний Дон – Цимлянское водохранилище – Нижняя Волга является важной и актуальной задачей, так как эти объекты широко используются в хозяйственной деятельности.

Сбор материала проводился с борта НИС «Денеб» (ЮНЦ РАН) в августе 2022 г. батометром Рутнера на поверхностном горизонте (около 20 см), исследуемый объем пробы составлял 1 л. Отобранные образцы обрабатывались по модифицированному методу NOAA, который включает такие этапы: фильтрация, жидкое окисление, сушка и визуальная сортировка с использованием микроскопа стерео Микромед МС-1 вар. 2С Digital (увеличение от 20х до 40х). Далее определялись степень и вид деградации частиц с помощью растрового электронного микроскопа VEGA II LMU производства фирмы Tescan, а также их состав ИК фурье-спектрометром ФСМ 2202.


Результаты исследования демонстрируют присутствие микропластика в 100 % проб. Средняя концентрация частиц в водах Нижнего Дона составила 21 шт./л, минимальная – 7 шт./л (около Николаевского гидроузла), пик загрязненности составляет 41 шт./л (ст. Старочеркасская). В Цимлянском водохранилище усредненное содержание частиц на литр воды составило 11 шт./л, максимальное число – 18 шт./л, минимальное – 5 шт./л. Замечена тенденция к уменьшению уровня загрязненности при следовании с юга на север плотины. В водах Нижней Волги выявлена средняя концентрация 6 шт./л, при этом максимальное содержание было отмечено на станции 31 (г. Астрахань) – 34 шт./л, минимум составил 8 шт./л. Таким образом, можно сделать вывод о том, что наиболее загрязненными микропластиком являются воды Нижнего Дона, затем Цимлянское водохранилище и наименее – водные массы Нижней Волги, пики концентрации отмечаются в местах, подвергающихся активной антропогенной нагрузке.


Морфологические и морфометрические характеристики найденного в пробах микропластика не отличаются разнообразием. Представлены в основном волокна (94 %), редко пленки (2 %) и гранулы (4 %). Средний размер (длина) варьируется в диапазоне 0,5–0,6 мм при нижней границе рассматриваемых частиц 0,1 мм. Цвет наблюдаемого микропластика преимущественно прозрачный, в редких случаях черный, розовый и синий, единично замечены желтые, зеленые, красные волокна. После

изучения наиболее характерных частиц под растровым электронным микроскопом было установлено, что микропластик разрушается на более мелкие частицы путем раскосмачивания, расслоения, расщепления, растрескивания.

Идентификация спектрометром состава около 20 % найденного микропластика показала, что наиболее распространенный материал микропластика – акрил, полиамид, нейлон.

МИГРАЦИЯ $^{239, 240}\text{Pu}$ ГЛОБАЛЬНЫХ ВЫПАДЕНИЙ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ МОРСКИХ ВОДОЕМОВ И ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

Н. А. Бакунов, А. С. Макаров, Д. Ю. Большианов ,
С. А. Правкин, А. О. Аксенов

АНИИ, Санкт-Петербург, Россия
 *bolshyanov@aari.ru*

Ключевые слова: искусственные радионуклиды, донные отложения, Карское море, Ладожское озеро.

Изотопы $^{239, 240}\text{Pu}$ радиоактивны, обладают высокой токсичностью и длительным (тысячи лет) периодом полураспада. В лито- и гидросфере Земли, за исключением локальных районов, Pu представлен изотопами $^{239, 240}\text{Pu}$ глобальных выпадений. В публикациях содержание плутония в донных отложениях (ДО), как правило, приводится для верхнего слоя грунта (0–2 см) с обсуждением вариабельности загрязнения грунтов в отдельных районах Мирового океана. Вопросам миграции плутония в толщу ДО и механизмам переноса плутония в толщу ДО уделено меньше внимания. Задача исследования состоит в изучении распределения $^{239, 240}\text{Pu}$ глобальных выпадений в ДО водоемов с целью количественной оценки скорости миграции $^{239, 240}\text{Pu}$ в грунтах дна. Объектом исследования стали ДО, в которых определено послойное содержание $^{239, 240}\text{Pu}$. Колонки морских ДО, содержащих $^{239, 240}\text{Pu}$, были взяты во время российско-норвежских экспедиций в Карском море в 1992–1995 гг., российско-финских экспедиций

в Белом море, авторами в Ладожском озере в 2008 г. Относительная ошибка измерения препаратов $^{239, 240}\text{Pu}$ после радиохимического анализа не превышала 40 %. В ДО Ладожского озера, Белого моря, залива Цивольки Карского моря концентрации $^{239, 240}\text{Pu}$ изменяются от 4200 (Ладожское озеро) до 820 мБк/кг (залив Цивольки). Концентрации $^{239, 240}\text{Pu}$ в ДО Белого моря, залива Цивольки и Ладоги находятся на уровне современного техногенного фона. Профили плутония в ДО характеризуются трендом снижения содержания радионуклида от верхних к нижним слоям осадков. Преимущественное содержание $^{239, 240}\text{Pu}$ в поверхностном слое (0–2 см), медленная миграция и наличие градиента концентрации радионуклида между слоями ДО позволяют рассматривать диффузию в качестве основного механизма миграции плутония в ДО. Коэффициенты диффузии (КД) глобального выпадения $^{239, 240}\text{Pu}$ (D) были рассчитаны по условию отсчета времени миграции радионуклида с 1964 г. – даты формирования кумулятивного запаса в грунтах дна. На двух станциях в Белом море коэффициент D изменяется от $1,9 \cdot 10^{-8}$ до $6,9 \cdot 10^{-9}$, а на трех станциях залива Цивольки от $3,4 \cdot 10^{-9}$ до $4,6 \cdot 10^{-9}$ см²/с. Для КД наблюдается слабая тенденция к увеличению его значений с глубиной осадка. В ДО Ладожского озера значения D составляют $1,1 \cdot 10^{-8}$ – $6,8 \cdot 10^{-9}$ см²/с. С использованием КД выполнена реконструкция загрязнения плутонием ДО залива Цивольки с экспозицией 5 и 60 лет, отсчитываемой от даты формирования запаса в грунтах дна. По расчету глубина миграции плутония за 5 лет не превысила 6 см, ~ 60 % плутония осталось в слое 0–1 см. Пятилетнего срока диффузии плутония с $D = n \cdot 10^{-9}$ см²/с оказалось недостаточно для значительной дезактивации приповерхностного слоя грунта. Определения КД плутония для природных условий Белого и Карского морей согласуются с результатами модельных опытов.

В заливе Цивольки не было утечки $^{239, 240}\text{Pu}$ из захороненных объектов РАО; профили распределения $^{239, 240}\text{Pu}$ в ДО определялись коэффициентами $n \cdot (10^{-9} - 10^{-8})$ см²/с. КД $^{239, 240}\text{Pu}$ будут востребованы при прогнозах миграции радионуклида в ДО заливов Новой Земли и открытых районов Карского моря. Коэффициенты диффузии $^{239, 240}\text{Pu}$ в ДО Ладожского озера соизмеримы с КД гло-

бального ^{137}Cs в осадках Ладожского озера. Данные по коэффициентам диффузии $^{239, 240}\text{Pu}$ в ДО Ладожского озера являются ориентиром поведения радионуклидов в донных отложениях глубоких озер России.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-00319, <https://rscf.ru/project/23-24-00319/>.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРОДНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА НА ПРИМЕРЕ КАЦИВЕЛЬСКОГО УЧАСТКА

А. С. Богуславский ✉, В. Ф. Удовик, С. И. Казаков,
И. Г. Берзова, Н. В. Хамицевич, С. А. Нуриев

МГИ, Севастополь, Россия
✉ al_bhs@mail.ru

Ключевые слова: Южный берег Крыма, породные комплексы, георадарное профилирование, древние оползни, отторженцы, палеореконструкция, литодинамика.

В ходе натуральных наблюдений обнажений пород и интерпретации результатов георадарного профилирования с помощью георадаров «SIR-3000», «Лоза», и «ОКО-3» исследованы оползневые породные комплексы Южного берега Крыма на примере кацивельского участка береговой линии.

Обосновывается гипотеза формирования оползневых массивов пород и известняковых отторженцев массандровской свиты в результате мощной тектоно-гидродинамической катастрофы в начале голоцена.

Предложена палеореконструкция изменения геоморфологических особенностей береговой зоны в результате катастрофы: бывшие бухты и долины с водотоками стали мысовыми участками отторженцев (г. Кошка) и древних оползней (мысы Кикинеиз, Троицы), а бывшие мысовые участки коренных пород таврической серии – внутренними берегами современных бухт (Ли-менская бухта).

Разрушающиеся в результате процессов эрозии и абразии породы отторженцев, разнородные блоки и обломки твердых пород, вмещающие суглинисто-супесчаные породы древних оползней современных мысовых участков, являются основными источниками береговых литодинамических потоков и пляжеформирующих материалов.

Работа выполнена в рамках научной темы № FNNN-2021-0005 государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ 2023 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ ПАЛЕОЛАНДШАФТА ПРИБРЕЖНОЙ ТЕРРИТОРИИ КАРАНТИННОЙ БУХТЫ НА ОСНОВЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ И АРХЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

А. А. Букатов ¹✉, В. В. Глазунов ², Н. Н. Ефимова ³,
В. В. Панченко ¹

¹ *Херсонес Таврический, Севастополь, Россия*

² *СевГУ, Севастополь, Россия*

³ *ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург, Россия*

✉ *abukатов@chersonesos-sev.ru*

Ключевые слова: Херсонес Таврический, Карантинная бухта, палеоландшафт, археологические раскопки, электротомография, сейсморазведка, сейсмоакустика.

В 2020–2023 г. в портовой части Херсонеса, у западного берега Карантинной бухты, были проведены комплексные археологические и геофизические исследования. Целью работ являлось детальное картирование древней береговой линии Карантинной бухты и погребенной палеодолины для уточнения расположения и морфологии этих геоморфологических элементов палеорельефа в пределах городища и прибрежной акватории Херсонеса.

Геофизические исследования прибрежной территории включали проведение наземных и акваторных съемок. Наземные геофизические наблюдения проведены методами электротомографии

и сейсморазведки на преломленных и отраженных поперечных волнах. Акваторные работы выполнены методами сейсмоакустики и подводной электротомографии. Геологические исследования включали анализ и обобщение материалов бурения скважин 1979–1987 гг. и современных данных.

Съемка методами электроразведки и сейсморазведки проводилась по серии профилей, пересекающих тальвег палеодолины. Электротомографические наблюдения базировались на стандартной для проведения наземной электротомографии технологии измерений с многоэлектродной электроразведочной аппаратурой «Скала 48К12». Сейсморазведочные работы осуществлялись методом отраженных волн с использованием 48-канальной сейсмостанции «Эллис».

Площадная съемка методом непрерывного сейсмоакустического профилирования осуществлялась в пределах западной прибрежной акватории бухты по профилям, проложенным перпендикулярно береговой линии с использованием донного параметрического профилографа «Гидра».


На основании данных сейсмоакустики построена детальная карта изобат дна прибрежного участка Карантинной бухты, на которой выявлены элементы террас, характеризующие расположение древних береговых линий, датировка которых возможна на основании археологических данных. Геоэлектрические разрезы, построенные по данным электротомографии, позволили установить положение палеодолины и выявить строение отложений в ее пределах, включающих культурный слой, морские пески и рельеф поверхности известняков. По данным сейсморазведки определена глубина эрозионного вреза палеодолины. Геологическая интерпретация геофизической информации выполнена на основании литологических колонок скважин.

Полученные геофизические результаты демонстрируют оптимальность выбранного комплекса геофизических методов для изучения палеоландшафта прибрежной территории Херсонеса у Карантинной бухты. Геофизические карты и разрезы уточняют и дополняют морфологию рельефа дна, строение морских террас, а также расположение скрытых в толще отложений археологических объектов.

ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СЕВЕРО- ВОСТОЧНОЙ АКВАТОРИИ ЧЕРНОГО МОРЯ В ОСЕННИЙ ПЕРИОД 2022 ГОДА

Е. И. Бурдина , Т. Б. Каргамышева, Е. А. Шевцова

АзНИИРХ, Ростов-на-Дону, Россия

 *helensine@yandex.ru*

Ключевые слова: сезонный антициклон, фотосинтез, насыщение кислородом, сероводород, минеральный азот, фосфаты, кремнекислота.

Формирование содержания растворенного кислорода в северо-восточной части Черного моря в осенний период 2022 г. проходило в условиях сезонного антициклона и общей интенсификации Основного Черноморского течения (ОЧТ). Результатом стало пониженное среднее насыщение воды кислородом (92 %) деятельного слоя (0–50 м). В Крымском секторе насыщение воды кислородом в слоях фотосинтеза 20–50 м снижалось до 63–71 % и было ниже среднемноголетних величин.

Наличие подъема глубинных вод отразилось на величинах рН и Eh, которые в слоях фотосинтеза также оказались ниже среднемноголетних. Величина рН в слое 0–50 м в среднем составила 8,20 усл. ед. в обоих секторах, убывала от 8,36 до 8,04 усл. ед. по глубине, что соответствовало слабощелочной реакции среды. Максимальная величина рН (> 8,3 усл. ед.) отмечалась в поверхностном слое при фотосинтезе водорослей (Феодосийский залив, г. Геленджик, с. Архипо-Осиповка, Лоо-Адлер). На горизонтах редокс-зоны (100 м) и дефицита кислорода (200 м) величина рН снижалась до 7,69–7,98 усл. ед. соответственно.

Верхняя граница появления сероводорода в осенний период 2022 г. определялась на 130 м и приподнималась выше многолетней на 20 м. Минимальное количество сероводорода (477 мкг/дм³) в слое дефицита кислорода (200 м) обнаружено в зоне антициклона (с. Архипо-Осиповка), что определило наибольшее опускание верхней границы обнаружения сероводорода до 150 м.

Сезонное антициклоническое состояние водной массы обеспечило квазиоднородное содержание биогенных веществ в деятельном слое с четкой зависимостью от динамических структур в водной массе. Среднее содержание биогенных веществ в Крымском секторе было в два раза ниже, чем в Кавказском, за счет подъема глубинных вод в акватории действия циклонической мейандры черноморского течения (г. Новороссийск – г. Геленджик).

Низкие концентрации аммонийного азота ($< 0,025$ мг/дм³) встречались на обширном пространстве Крымского сектора, а также в центрах интенсивного фотосинтеза (г. Новороссийск – г. Геленджик, с. Архипо-Осиповка, г. Туапсе – г. Сочи – г. Адлер) и совпадали с подповерхностным максимумом кислорода. Содержание минерального азота в деятельном слое было ниже средне-многолетнего. В то же время на 100 м горизонте концентрация минерального азота возрастала не только за счет максимума нитратов, но и вследствие усиления скорости в основном течении, что привело к превышению средне-многолетнего уровня.

Содержание общего азота в деятельном слое при низкой фотосинтетической активности планктона оказалось ниже средне-многолетнего. В районе г. Сочи – г. Адлер антропогенное влияние проявилось повышенными концентрациями общего азота по всей глубине. Содержание общего фосфора в деятельном слое несколько превысило средне-многолетнее значение. В районе г. Сочи отмечено преобладание общего фосфора антропогенного происхождения. Керченское предпроливье также было обогащено общим фосфором, поступающим из Азовского моря.

Кремнекислота и фосфаты, наиболее зависимые от восходящих потоков при динамических процессах, в осенний период 2022 г. характеризовались повышенным средним содержанием в деятельном слое относительно средне-многолетних значений. При этом в слоях 30–50 м содержание указанных биогенных веществ в 1,5 раза превышало норму.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ СВИНЦОМ АБИОТИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ АЗОВСКОГО МОРЯ В 1991–2020 ГОДАХ

М. В. Буфетова

МГРИ-ПИТРУ, Москва, Россия
✉ *mbufetova@mail.ru*

Ключевые слова: свинец, вода, донные отложения, Таганрогский залив, Азовское море.

В работе использованы данные, предоставленные филиалом «Азовморинформцентр» ФГБВУ «Центррегионводхоз» в рамках сотрудничества с кафедрой экологии и природопользования МГРИ по концентрации свинца в воде и донных отложениях в 2010–2020 гг. Также для определения межгодовых трендов использовались литературный ретроспективный материал по содержанию свинца в воде и донных осадках Азовского моря с 1991–2009 гг.

Были выделены два района: Таганрогский залив и открытая акватория Азовского моря (собственно море), что связано с их морфометрическими и гидрологическими особенностями.

В Азовское море свинец может поступать с атмосферными осадками, с речным стоком, в результате абразии берегов, судоходства, дампинга грунта, со сточными водами. В 1991–2009 гг. концентрация свинца в воде открытой части моря была ниже ПДК (10 мкг/л). С 2010 г. наблюдались более высокие уровни загрязнения вод свинцом, но более низкое загрязнение донных отложений. Показано, что с увеличением концентрации свинца в воде его содержание в донных осадках снижалось, что связано не только с насыщением поверхности донных отложений, но и с уменьшением коэффициента накопления.

В Таганрогском заливе кроме небольших пиков в 1992–1998 гг. до 2006 г. концентрация свинца в воде была достаточно низкой. После 2006 г. были отмечены ее изменения в сторону увеличения, которые в целом не превышали ПДК. В период 1991–2020 гг. концентрация свинца в донных осадках Таганрогского залива во всех случаях была ниже допустимой концентрации, нормируемой по «голландским листам» (85 мкг/г сухой массы).

Материалы иллюстрируют сорбционную способность донных отложений, которая является важным компонентом их ассимиляционной емкости в отношении свинца. В работе определены предельно допустимые потоки свинца (59,6 т/год – в открытую часть моря и 21,4 т/год – в Таганрогский залив), которые могут ассимилироваться акваториями без ущерба для их биологических и водных ресурсов.

За весь период наблюдений, кроме 2007–2009 гг., концентрации свинца в водах Таганрогского залива и открытой части Азовского моря практически совпадали. То же самое было отмечено для донных отложений. Однако рассмотрение зависимостей между содержанием свинца в воде моря и залива выявило слабо проявившуюся связь между этими параметрами. В то же время зависимость между содержанием свинца в донных отложениях моря и залива была высоко статистически значимой. Эти данные свидетельствовали о том, что поступающие в Таганрогский залив взвеси с более высоким содержанием свинца переносились в результате гидродинамических процессов в открытую часть Азовского моря и седиментационно депонировались в этой акватории в составе донных отложений. Таким образом, залив может выполнять функцию источника загрязнения собственно моря.

О ПРИЧИНАХ ИЗМЕНЧИВОСТИ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРЕННОГО КИСЛОРОДА И СОЛЕННОСТИ В ОБЛАСТИ ХОЛОДНОГО ПРОМЕЖУТОЧНОГО СЛОЯ ЧЕРНОГО МОРЯ

А. А. Валле

ИПТС, Севастополь, Россия
✉ *ogorodovaa.a@mail.ru*

Ключевые слова: концентрация растворенного кислорода, соленость, западный и восточный циклонические круговороты, свал глубин.

Черное море – одно из наиболее изученных морей Мирового океана. С середины XX в. в Черном море проводились и до сих пор

регулярно проводятся многочисленные рейсы научно-исследовательских судов. В последние 13 лет осуществляется мониторинг вертикальной структуры гидролого-гидрохимических характеристик с помощью буев-профилографов ARGO. По результатам выполненных исследований проводилась данная работа.

Анализ проводился за период с 1923 по 2020 г. на основании данных, полученных на горизонте 75 м в области западного и восточного круговоротов Черного моря, а также в районе свала глубин у северо-западного шельфа.

Показано, что долговременная тенденция к снижению концентрации растворенного кислорода и одновременное увеличение солёности в области холодного промежуточного слоя в центральных частях западного и восточного циклонических круговоротов сопровождается увеличением насыщения кислородом вод на свале глубин в районе северо-западной части моря и уменьшением солёности. Это свидетельствует о важной роли интенсификации вертикальных движений в формировании пространственно-временной изменчивости растворенного кислорода в водах Черного моря на десятилетних масштабах.

ОЦЕНКА ВЫПАДЕНИЯ ЗАКИСЛЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ С АТМОСФЕРНЫМИ ОСАДКАМИ НА АКВАТОРИЮ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО

Л. Н. Василевская¹ ✉, Н. Н. Бортин²,
Д. Н. Василевский², И. А. Лисина¹

¹ ДВФУ, Владивосток, Россия

² ДальНИИВХ, Владивосток, Россия

✉ vasilevskaya.ln@dvfu.ru

Ключевые слова: кислотность атмосферных осадков, концентрации ионов сульфатов, нитратов и аммонийного азота, сеть EANET, залив Петра Великого.

Известно, что к внешним источникам загрязнения морских вод, помимо различных водопользователей и урбанизированных

прибрежных морских водосборных территорий, относится атмосферный сток, который формируется в основном в виде выпадения загрязняющих веществ с атмосферными осадками. Основой закисления атмосферных осадков являются химические взаимодействия оксидов серы и азота с водяными парами.

С использованием средневзвешенных за год концентраций ионов сульфатов, нитратов и аммонийного азота, полученных на фоновой станции ЕАNET Приморская, и материалы наблюдений метеостанции Владивосток Приморского УГМС за атмосферными осадками за 2008–2020 гг., выполнена оценка загрязнения акватории залива Петра Великого и его отдельных заливов (Амурского и Уссурийского) выпадающими с атмосферными осадками оксидов серы и азота.

Анализ материалов показал, что средневзвешенная годовая концентрация ионов в атмосферных осадках на станции Приморская за 2008–2020 гг. составила для сульфатов (SO_4) – 3,4 мг/л, нитратов (NO_3) – 1,7 мг/л и аммонийного азота (NH_4) – 0,9 мг/л. Какой-либо определенной динамики в течение 13-летнего периода не выявлено, однако содержание ионов в атмосферных осадках испытывало значительную межгодовую изменчивость. Так, сульфаты достигали максимальных значений в 2010 г. (4,8 мг/л), а минимальных – в 2019 г. (2,0 мг/л); концентрация нитратов достигала максимума в 2011 г. (3,5 мг/л), минимума – в 2008 и 2014 гг. (0,7 мг/л); аммонийный азот имел максимальные значения в 2011 г. (1,3 мг/л), а минимальные – в 2016 г. (0,7 мг/л).

С учетом суммы средневзвешенной годовой концентрации ионов сульфатов, нитратов, аммонийного азота и выпавших осадков определены ежегодные массы потоков серы и суммарного азота на акватории Амурского и Уссурийского заливов. Выполненные расчеты показали, что в среднем за рассматриваемый период на акваторию Амурского залива выпадает около 1060 т серы и 988 т суммарного азота в год, а на акваторию Уссурийского залива – соответственно 2006 т и 1872 т в год.

Значительную роль в привносе загрязняющих веществ с атмосферными осадками на акваторию залива Петра Великого оказывает трансграничный перенос.

О ВЛИЯНИИ ВОСТОЧНО-АТЛАНТИЧЕСКОГО КОЛЕБАНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ АНОМАЛИЙ рН В ВЕРХНЕМ СЛОЕ ОТКРЫТОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Е. А. Гребнева

ИПТС, Севастополь, Россия
✉ *Lenagrebneva12@gmail.com*

Ключевые слова: глубоководная часть Черного моря, поверхностный слой, композитный анализ, величина рН, Восточно-Атлантическое колебание.

Одной из важнейших интегральных характеристик, выражающих направленность биогеохимических процессов в морской воде, является водородный показатель, характеризуемый величиной рН. В основном современные исследования водородного показателя сосредоточены на получении глобальных климатических тенденций изменения величины рН поверхностных слоев Мирового океана, которые являются прямым следствием поглощения морской водой возрастающего количества атмосферного CO_2 . Согласно опубликованным оценкам в поверхностных водах субполярной части Северной Атлантики за период с 1981 по 2007 г., тренд рН составил $-0,0022 \pm 0,0004 \text{ год}^{-1}$. Для акватории всей Северной Атлантики за период с 1993 по 2017 г. величина рН снижалась со скоростью $-0,017$ ед. рН за десятилетие.

Черное море – внутренний бассейн Атлантического океана. Естественно, оценки долгопериодного тренда величины рН поверхностного слоя черноморских вод близки к приведенным выше. Вместе с тем обнаружено, что, наряду с климатической тенденцией к понижению величины рН в поверхностном слое глубоководной части Черного моря, она подвержена квазипериодическим колебаниям с периодом порядка 10 лет.

С учетом полученных и опубликованных ранее результатов в настоящей работе проверено предположение, что причина таких колебаний величины рН в верхнем слое вод открытой части Черного моря связана с вариациями региональных гидрометеоро-

логических характеристик, в том числе обусловленных изменениями циклонической активности в Атлантико-Европейском секторе (включая Черноморский регион) в различные фазы североатлантического, восточно-атлантического (САК и ВАК), скандинавского и восточно-атлантического – западно-российского колебаний (СК и ВАЗРК).


В результате выполненного композитного анализа получено, что в зимний период Восточно-Атлантическое колебание оказывает значимое влияние на аномалии величины рН верхнего слоя вод Черного моря. С ноября по февраль при отрицательной среднесезонной аномалии индекса ВАК (превышающей по абсолютной величине $0,5 \sigma$ и составляющей в среднем по морю – 1,1) получена положительная среднесезонная аномалия величины рН около 0,09 ед. рН. При положительной фазе ВАК (когда аномалии индекса превышают $0,5 \sigma$) аномалия рН отрицательна и в среднем для всего моря превышает (по абсолютной величине) – 0,08 ед. рН. Разность между аномалиями величины рН на поверхности моря с ноября по февраль между положительной и отрицательной фазами ВАК составляет около –0,17 ед. рН. В поле пространственного композита практически по всей акватории моря эта разность тоже отрицательна. Это значит, что в зимний период года при положительной фазе ВАК+ наблюдается тенденция к уменьшению величины рН. Значимые области отрицательных величин композита рН выделяются в восточной и западной частях моря там, где выполнено достаточное количество измерений.

Полученные закономерности изменчивости величины рН обусловлены региональными аномалиями гидрометеорологических условий в Черноморском регионе в различные фазы ВАК и сопутствующими биогеохимическими факторами.

Работа выполнена в рамках Госзадания ИПТС № госрегистрации 121122300074-7.

ПРОЯВЛЕНИЕ ОПАСНЫХ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ПОДВОДНЫХ БЕРЕГОВЫХ СКЛОНАХ

А. Г. Григорьев , Л. М. Буданов, А. В. Чекулаев,
О. В. Дронь

ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург, Россия
 *Andrey_Grigiryev@vsegei.ru*

Ключевые слова: подводные береговые склоны, оползни, осыпи, углы склонов, коренные породы, морена.

Одной из проблем прибрежной морской зоны являются проявления опасных экзогенных геологических процессов на подводных береговых склонах и их возможное негативное воздействие при проведении подводных гидротехнических работ различного назначения (прокладка подводных трубопроводов, кабелей связи и т. д.). Рассмотрим данный вопрос на примере района Териберской губы Баренцева моря. На данной площади развиты два основных типа подводных береговых склонов: относительно крутые, сложенные коренными породами либо мореной, и пологие, сложенные переработанными моренными отложениями.

К первому типу относятся:

1) береговой подводный склон, расположенный восточнее м. Териберского, характеризуется средними углами от 4° до 11° и перепадом высот от 66 до 170 м; склоны, выполненные гранитоидами, перекрытыми морскими голоценовыми осадками. В верхней части коренные породы выходят непосредственно на поверхность дна. В пределах подводного склона хорошо прослеживаются локальные крутые скаты с углами более 15° , многочисленные обрывы, и уступы. На наиболее крутых участках склона и у подножия скальных обрывов и уступов фиксируются многочисленные осыпи. У подножия крутых склонов, перекрытых голоценовыми осадками, повсеместно наблюдаются оползни;

2) береговой подводный склон, расположенный на западе территории в районе острова м. Олений, имеет крутые борта с углами склона до $19,6^\circ$ и перепадами высот до 87 м. Зафиксирован единичный случай с величиной угла склона 42° . Склоны сложены гранитоидами, перекрытыми мореной и морскими голоценовыми осадками. На наиболее крутых участках склона коренные породы и морена выходят на поверхность дна. На отдельных участках склона наблюдается ряд уступов, частично заполненных голоценовыми отложениями мощностью до 6 м, вероятными последствиями оползней. В нижней придонной части склонов отмечены следы оползней мощностью до 7 м.

Ко второму типу относятся: пологие береговые склоны, расположенные к востоку от о. Олений до горла Териберской губы, имеющие небольшие углы скатов от $0,7^\circ$ до $1,3^\circ$. Разрез представлен коренными породами, на которых залегают отложения основной морены, перекрытые в свою очередь голоценовыми осадками различного генезиса мощностью от 3 до 6 м. На пологих склонах широко распространены развалы валунов, на отдельных участках переходящие в сплошную каменную отмостку. В данном случае последствий оползневой деятельности не наблюдается.

Важным этапом исследований являлось определение мощности верхней наиболее подвижной части разреза – голоценовых отложений, что с учетом установленных углов склонов позволяет проводить приблизительную оценку объемов возможного перемещения пород верхнего горизонта донных отложений. Средняя мощность голоценовых осадков на склонах скальных и моренных гряд колеблется в интервале от 3 до 6 м.

Таким образом, установлено, что на части подводных склонов, сложенных либо выходами пород морены, либо перекрытых голоценовыми осадками с углами падения более 5° , фиксируется гравитационное перемещение донных грунтов (оползни). На крутых склонах с углами падения более 15° , с выходами коренных пород, отмечено образование осыпей. Все это в существенной степени затрудняет проведение подводных гидротехнических работ.

ФОРМИРОВАНИЕ БЕРЕГОВЫХ ТЕРМОТЕРРАС НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

М. Н. Григорьев [✉], О. И. Алексеева

ИМЗ СО РАН, Якутск, Россия

[✉] *grigoriev@mpi.ysn.ru*

Ключевые слова: термотеррасы, термоуступы, термоденудация, термоабразия, криогенные береговые процессы.

Почти половину протяженности льдистых разрушающихся морских арктических берегов Восточной Сибири следует относить к термоабразионно-термоденудационному типу, где термоабразия и термоденудация – наиболее динамичные и тесно связанные друг с другом процессы криоморфогенеза. Морские берега этого типа обычно отличаются наличием на них отчетливо выраженных термотеррас. Слабонаклонные площадки таких террас, выработанные термоденудацией, отделяют термоуступы и термоцирки от термоабразионного клифа, который испытывает непосредственное воздействие морских волн. Постоянное отступление термоабразионного клифа не позволяет стабилизироваться склоновой системе, состоящей из одной или нескольких термотеррас и одного или нескольких термоденудационных уступов. Процесс разрушения термоуступов практически никогда не опережает процесса отступления термоабразионного клифа. Даже при активном отступании береговой линии вглубь суши ступенчатое строение исследуемых берегов с образованием на них термотеррас сохраняется в течение длительного времени.

Анализ морфометрии рассматриваемых типов берегов показывает, что сколько-либо выраженные термотеррасы практически отсутствуют на тех участках побережья, где абсолютные высоты поверхности вблизи уступов ледового комплекса не превышают 25 м. В то же время они являются неизменным элементом берегового рельефа там, где эти высоты больше отмеченного значения. По нашим представлениям, это связано с ограниченной

способностью к долговременному транзиту материала вдольбереговыми потоками наносов. При поступлении большого объема берегового материала в зону прибоя скорости термоабразии уменьшаются. Верхняя часть берегового склона продолжает разрушаться термоденудационными процессами примерно с той же скоростью.

Именно так формируется эта сложная термоабразионно-термоденудационная береговая система. Приблизительные расчеты показывают, что для возникновения диспропорции в темпах отступания нижнего (термоабразионного) и верхнего (термоденудационного) уступа в пределах термоцирка протяженностью около 250 м необходимо наличие потока береговых наносов массой от 6 до 10 тыс. тонн в год.

Скорость термоденудации местами опережает скорость термоабразии. В этом случае в прибрежной зоне формируется слабонаклонная термотерраса, по поверхности которой в направлении к морю осуществляется транзит талого влагонасыщенного материала, переработанного термоденудационными процессами. Однако темпы термоденудации не могут опережать скорость термоабразии в течение длительного времени, поскольку тенденция к выполаживанию берегового склона приводит к накоплению на нем слоя склоновых отложений и затуханию термоденудационных процессов.

Исследование выполнено при финансовой 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», а также гранта РНФ 21-17-00054 «Четвертичный эоловый рельеф и покровные отложения бассейна р. Лены (Восточная Сибирь): строение, возраст, палеогеографическое значение».

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ НА ГРАНИЦЕ ВОДА – ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ В ЮЖНОЙ БУХТЕ

Ю. С. Гурова ¹✉, Е. В. Якушев ^{2,3}, А. В. Березина ^{2,3},
М. О. Новиков ², К. И. Гуров ¹, Н. А. Орехова ¹

¹ МГИ, Севастополь, Россия

² ИО РАН, Москва, Россия

³ Norwegian Institute for Water Research, Oslo, Norway

✉ kurinnaya-jul@yandex.ru

Ключевые слова: донные отложения, поровые воды, кислород, органический углерод, моделирование, Черное море, Севастопольская бухта, модель BROM.

Бухты Севастопольского региона являются примером наиболее антропогенно нагруженных акваторий шельфа Крыма, в которых накопление органических веществ в донных отложениях преобладает над их разложением. Максимальный уровень загрязнения отмечается в Южной бухте, где происходит интенсивное заиливание отложений и накопление в них органического углерода, что приводит к развитию дефицита кислорода в донных отложениях и придонном слое вод и в дальнейшем к возникновению зон экологического риска.

В работе рассматривается изменчивость характеристик окислительно-восстановительных условий в водной толще и поверхностном слое донных отложений при изменяющемся уровне антропогенной нагрузки.

На основе комплексного исследования, включающего анализ химического состава поровых вод и геохимических характеристик донных отложений, изучены условия формирования окислительно-восстановительных условий в отложениях Южной бухты. Пробы были отобраны с использованием трубок из оргстекла, которые герметично закрывали сверху и снизу. Такой метод отбора проб позволил сохранить тонкую структуру поверхностного слоя донных отложений и наддонного слоя вод. Для получения

химического состава поровых вод использовался полярографический метод анализа со стеклянным Au – Hg микроэлектродом. Для определения геохимических характеристик (содержание органического углерода, гранулометрический состав) применялись стандартные геохимические методы.

Для воссоздания окислительно-восстановительных условий в акватории Южной бухты и прогноза их возможного изменения применялась бентосно-пелагическая модель Bottom RedOx Model (BROM). С использованием данных натуральных наблюдений проведена валидация результатов численного моделирования. Полученные результаты показали, что модель воспроизводит естественный сезонный ход рассматриваемых параметров и применима для акватории Южной бухты. Для оценки последствий поступления различного количества органического вещества в акваторию бухты были проведены два численных эксперимента с уменьшением и увеличением его концентрации.

По результатам проведенных исследований установлено, что, несмотря на насыщение придонного слоя вод кислородом (94–113 % нас.), в верхнем слое донных отложений зафиксированы субкислородные условия. Это объясняется преобладанием мелкозернистой фракции и высоким содержанием органического углерода. Результаты математических расчетов показали, что увеличение нагрузки на акваторию бухты приводит к снижению концентрации кислорода и развитию субкислородных условий как в придонном слое вод, так и в водной толще. В верхнем слое отложений формируются анаэробные условия. Уменьшение поступления органического вещества способствует сохранению аэробных условий в водной толще и придонном слое вод в течение всего года. Однако в донных отложениях фиксируются субкислородные условия, на что указывает присутствие восстановленных форм марганца и железа.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ по теме № FNNN-2021-0005 «Прибрежные исследования» и государственного задания ФГБУН ИО РАН № FMWE-2021-0001, при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках Соглашения № 075-15-2021-946, а также при поддержке грантов РФФИ № 20-35-90103 и РНФ № 21-17-00191.

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЗАЛИВА ГРЕНФЬОРД АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН

А. С. Демешкин

*Северо-Западный филиал ФГБУ «НПО «Тайфун», Санкт-Петербург,
Россия*
✉ *typhoon.ecol@mail.ru*

Ключевые слова: мониторинг, загрязняющие вещества, хлорорганические соединения, Шпицберген.

Более 20 лет Северо-Западным филиалом ФГБУ «НПО «Тайфун» проводится мониторинг состояния окружающей среды архипелага Шпицберген. Несмотря на то что архипелаг до сих считается относительно чистой территорией, загрязнение природной среды, обусловленное как местными, так и удаленными источниками, все равно присутствует. Наибольшую опасность представляют хлорорганические соединения (ХОС) и полиароматические углеводороды (ПАУ).

ХОС являются группой устойчивых органических загрязнителей и характеризуются низкой растворимостью в воде, высокой растворимостью в органических растворителях и жирах – липофильностью – и необычайно высокой микробиологической, химической и термической стабильностью. Такие свойства способствуют накоплению этих веществ в жировых тканях живых организмов. Физико-химические свойства обуславливают долгое время жизни ХОС (годы и десятилетия) в абиотических природных средах и придают им способность к аккумуляции в донных отложениях и почвах.

При оценке загрязнения морских вод следует отметить, что хлорорганические соединения слабо растворимы в воде, вследствие чего их концентрации в ней, как правило, намного ниже, чем во взвешенных частицах. Результаты химических исследований проб, отобранных в заливе Гренфьорд, подтверждают этот факт, содержание ХОС в воде незначительно.

Однако при обработке проб водных взвесей наблюдаются другие концентрации. Повышенное содержание ПХБ и других ХОС

во взвешенных частицах объясняется тем, что вода, поступающая с поверхностным стоком в залив, вымывает загрязненные частицы со свалок бытовых и промышленных отходов, с дорог и территорий различных хозяйственных объектов. Растущая антропогенная нагрузка в обозримом будущем может привести к повышению содержания ХОС в организмах рыб, морских млекопитающих и белых медведей, а также птиц, питающихся морской рыбой.

Поступление ХОС в донные отложения напрямую зависит от их содержания в воде. Загрязнение происходит, главным образом, путем осаждения взвешенных в воде загрязненных частиц.

Уровни содержания хлорбензолов и ГХЦГ находятся на уровне фоновых, тогда как концентрации ПХБ и ДДТ превышают фоновые значения. Это объясняется высоким содержанием данных загрязняющих веществ во взвешенных частицах, которые, осаждаясь, увеличивают концентрации ХОС в донных отложениях.

Зафиксированные уровни содержания ХОС свидетельствуют об ощутимом загрязнении донных отложений залива Гренфьорд веществами групп ПХБ и ДДТ, которое может повлиять на жизнедеятельность бентосных микроорганизмов и вызвать вторичное загрязнение самой воды залива.

ВЛИЯНИЕ ДЕГАЗАЦИИ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЗВЕСИ И МОРСКОЙ СЕДИМЕНТОГЕНЕЗ В БАРЕНЦЕВО-КАРСКОМ РЕГИОНЕ

А. П. Денисова [✉], **Е. А. Еременко**, **Е. А. Мороз**, **А. В. Кохан**,
А. В. Ермаков

ГИН РАН, Москва, Россия
[✉] *anden6900@gmail.com*

Ключевые слова: шельф, дегазация, газовые факелы, акустическая мутность, придонные течения.

Процесс дегазации является одним из наименее изученных геологических процессов в шельфовой зоне арктических морей.

Детальное исследование дегазации и ее проявлений в осадке, рельефе морского дна и водной толще в Баренцево-Карском регионе проводилось в ходе рейсов НИС «Академик Николай Стрехов» и «Академик Борис Петров» в 2018–2022 гг. В этих рейсах был проведен комплекс геофизических работ, включавших многолучевую батиметрическую съемку, сейсмоакустическое профилирование и непрерывное сейсмическое профилирование.

На сейсмоакустических профилях при помощи программного усиления в юго-восточной части Баренцева моря и в западной части Карского моря, а также в районе северной окраины Новой Земли были выявлены аномалии в водной толще, которые свидетельствуют о подъеме флюидов. Эти аномалии можно разделить на два основных типа. Аномалии первого типа представляют собой газовые факелы, маркирующие участки сфокусированного выхода газов из толщи донного осадка. Высота их может достигать 70 м. Второй тип аномалий – области акустической мутности в водной толще, формирование которых обусловлено скоплением газовых пузырьков и тонкой взвеси. Аномалии второго типа формируются в областях распространения более газопроницаемых донных осадков, где дегазация происходит без формирования выраженных локальных каналов либо в районах с сильными придонными течениями, которые приводят к рассеиванию сфокусированных газовых факелов.

Процесс дегазации приводит к взмучиванию донного осадка и подъему его в придонный слой водной толщи. Важно отметить, что наиболее подвержены взмучиванию мелкодисперсные осадки: пелитовые и алевроитовые илы. В понижениях донного рельефа, например в днищах палеодолин, широко развитых в пределах Баренцево-Карского шельфа, а также в прогибах на периферии Новой Земли действуют придонные течения. Их наличие зачастую отражается на морфологии флюидогенных форм (покмарок и пингоподобных поднятий). Например, отмечается удлиненность покмарок в плане и их ориентация вдоль направления придонных течений. Совместное действие дегазации и придонных течений приводит к активному выносу дисперсных частиц и снижению фоновой поверхности дна.


Процесс дегазации является одним из недооцененных явлений развития природной среды арктических шельфов. Так, области

выхода газов на поверхность дна становятся своеобразными «оазисами жизни» – вокруг них формируются специфические биохимогенные отложения, а метанопоглащающие микроорганизмы создают пищевую базу для существования морских беспозвоночных организмов (мидий, трубчатых червей и др.). Кроме того, мутность воды, создаваемая подъемом флюидов и взвешенных частиц, оказывает влияние на состав морской флоры и фауны. На фоне общей сравнительно высокой мутности воды в придонном слое шельфовой зоны районы развития дегазации являлись участками локального всплеска содержания взвеси. При этом мутность увеличивается не только непосредственно у дна, но также фиксируется ее повышение в средней части водной толщи, что нарушает общую картину распределения взвеси, характерную для шельфа.

Исследования выполнены при поддержке проекта РНФ 22-77-10091 «Закономерности проявления дегазации на Баренцево-Карском шельфе и ее влияние на рельеф и донные отложения».

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ПРИ ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗАЛИВА СИВАШ

Е. С. Ерёмина , С. В. Станичный, Е. Е. Совга

МГИ, Севастополь, Россия
 *shchurova88@gmail.com*

Ключевые слова: залив Сиваш, Азовское море, спутниковые данные, трансграничный статус.

Залив Сиваш является водно-болотным угодьем международного значения с огромным ресурсным потенциалом. С 2014 г. по 2022 г. в условиях трансграничного статуса залива и недоступности данных гидрометеопоста в Геническе, прекращения работы в 2014 г. гидрометеопоста Чонгарский мост особую актуальность в оценке экологического состояния залива приобретают методы

дистанционного зондирования. Спутниковые данные, кроме возможности охвата всей акватории залива, позволяют получить информацию об изменениях целого ряда параметров, связанных с работой Северо-Крымского канала и его перекрытием в 2014 г.

К настоящему времени в МГИ РАН осуществлен анализ температурного режима залива Сиваш с использованием данных массива NASA о среднемесячных значениях температуры поверхности моря (ТПМ) за 2003–2016 гг. с осреднением в пределах акваторий Южного Сиваша, Восточного Сиваша, Западной части Азовского моря. Всего было построено более четырехсот полей температуры поверхности воды. В дополнение использовались данные Морского портала МГИ РАН: NOAA, MetOp (AVHRR).

При исследовании ледового режима залива Сиваш использовались спутниковые данные сканеров MODIS спутников Terra (EOS AM) и Aqua (EOS PM). Для оценки продолжительности ледового режима и пространственных особенностей ледовых условий в заливе Сиваш были выбраны 2006, 2008, 2012, 2014, 2015 и 2016 гг., когда по спутниковым данным температура поверхности моря опускалась ниже нуля и наблюдался ледовый покров в Азовском море и в Сиваше. Из всех снимков отбирались изображения, выполненные с декабря по март, всего было отобрано около 200 снимков.

Для анализа изменения положения береговой линии, затопляемых и осушаемых территорий залива Сиваш во время функционирования СКК (период с 1984 по 2013 г.) и после его перекрытия (2014 г.) была проведена выборка космических снимков спутников серии Landsat сканеров TM (Landsat-5), OLI/TIRS TM (Landsat-8) на портале Геологической Службы США (USGS), полученных в безоблачную погоду. Отбирались изображения, полученные во время летнего сезона и, соответственно, минимального уровня воды, а также во время весеннего сезона, когда уровень в Сиваше наибольший. Проводилось RGB-комбинирование снимков, сделанных в разное время для одной территории. Обработка изображений осуществлялась в свободно распространяемой программе BEAM VISAT 5.0. Всего было составлено около 30 композитов за 1984–2016 гг., из них выбрано около 10 для качественной оценки сокращения водоемов Присивашья, рисовых чеков и других изменений прибрежной территории залива Сиваш.

Изучение динамики тростниковой растительности было выполнено по данным цифровых многозональных спутников Sentinel-2 L1C. Использовались RGB-композиции с сочетанием каналов 11:8:4. Используемые снимки Sentinel выполнены с 2015 по 2020 г. в вегетативный период с мая по июнь, они сопоставлялись с осенними снимками, всего было отобрано около 40 снимков. Для идентификации тростниковой растительности на снимках при выборе эталона использовались красные и инфракрасные каналы. Надежность в определении эталона тростниковой растительности обеспечивалась также визуальным анализом и полевым дешифрированием в ходе рекогносцировочных маршрутов. Анализируемая территория включала в себя акваторию заливов Князевского и Балгановского (в Восточном Сиваше) и район Алексеевской засухи (Южный Сиваш).

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме FNNN-2021-0005.

ИЗМЕНЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ФИНСКОГО ЗАЛИВА В РЕЗУЛЬТАТЕ ПОДВОДНОЙ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

В. А. Жамойда [✉], Л. М. Буданов, Д. В. Рябчук, А. Ю. Сергеев

ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург, Россия

[✉] *Vladimir_zhamoida@vsegei.ru*

Ключевые слова: полезные ископаемые, железомарганцевые конкреции, Финский залив, подводная добыча.

Одним из основных видов техногенного воздействия, трансформирующего естественный рельеф морского дна и распределение донных отложений в Финском заливе, является подводная добыча полезных ископаемых, наиболее активная со второй половины XX в. Всего в восточной части Финского залива имеется 23 месторождения песков и песчано-гравийных смесей (ПГС) и четыре месторождения железомарганцевых конкреций (ЖМК).

Общий объем добытых песков и ПГС ориентировочно составляет 140–160 млн. м³. В последние годы разрабатывалось шесть месторождений песков и ПГС.

В 2011–2022 гг. в рамках программы государственного мониторинга состояния недр прибрежно-шельфовых зон Баренцева, Белого и Балтийского морей ВСЕГЕИ проведено комплексное обследование участков добычи полезных ископаемых, которое включало: непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НСАП), гидролокацию бокового обзора, многолучевое эхолотирование, донный геологический пробоотбор, видеопрофилирование морского дна, аналитические исследования состава донных осадков.

Месторождения строительных песков и песчано-гравийных смесей имеют различный генезис и возраст. В частности, некоторые из разрабатываемых песчаных аккумулятивных тел сформированы в неоплейстоцене и имеют флювиогляциальный генезис. Но значительная часть добычи производится в пределах подводных террас, сформированных в голоцене в результате чередования трансгрессивно-регрессивных циклов Литоринового моря. В качестве примера можно привести месторождение «Пески», расположенное в северной береговой зоне залива между мысами Флотский и Песчаный, где добыча песков проводилась в 1972–1992 гг. Поверхность террасы сложена песками различной зернистости. По данным НСАП и эхолотирования, относительная глубина техногенных депрессий достигает нескольких метров. В подводных карьерах по добыче песка к настоящему сформировался слой алевропелитов мощностью более 50 см, т. е. даже в условиях активной волновой переработки осадков в прибрежной зоне, восстановления песчаных залежей на месте подводных карьеров не происходит. Средняя скорость накопления илов, накапливающих ряд поллютантов в техногенных депрессиях на данном участке, составляет не менее 1,2 см/год. Кроме того, наблюдается разрушение внешнего склона подводной террасы, что в условиях дефицита вдольбереговых песчаных наносов может привести к деградации берегов.

Сходные процессы, хотя и не столь однозначно приводящие к смене направленности седиментационных процессов, наблюдаются на подводных месторождениях «остров Сескар» и «Стирсудденские банки».

Экспериментально-промышленная добыча 56 000 т ЖМК в 2006–2008 гг. на месторождении «Вихревое» привела к формированию мелкорасчлененного рельефа, где замедленная или нулевая седиментация сменилась на аномально высокую аккумуляцию алевропелитовых илов. В ЖМК, оставшихся в пределах выработок, в результате селективного выноса элементов при их растворении произошло изменение геохимической структуры. Таким образом ЖМК, оставшиеся после отработки месторождения, в результате изменения условий седиментации превратились во вторичный источник загрязнения донных отложений.

ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЙ ИНТЕРФЕЙС ГИС «ЧЕРНОЕ МОРЕ»

Е. В. Жук

МГИ, Севастополь, Россия
✉ alenixx@gmail.com

Ключевые слова: геоинформационная система (ГИС), Черное море, океанографическая база данных, веб-интерфейс, спутниковые данные, расчетные данные.

Веб-интерфейс пользователя разработанной ГИС «Черное море» предоставляет функционал для комплексной работы с разными типами данных: данными контактных измерений (судовые съемки, данные буев-профилемеров ARGO), данными спутниковых наблюдений (изображения MODIS Aqua, SLA L4, SST L4), данными модельных расчетов (модель МГИ), картами климатического атласа. Для каждого типа данных реализованы модули выборки и визуализации, а также построение профилей и временных рядов, поверхностей, расчета статистических характеристик и совместного отображения (наложения слоев).

Выборка данных контактных измерений осуществляется по следующим критериям: идентификаторам (станции, рейса, буй-профилемера и т. д.), временному интервалу (даты начала и конца измерения, месяцы), пространственному охвату (прямоугольная область, заданная на карте или координатами).

Для выборки изображений MODIS-Aqua необходимо указать дату из списка доступных и параметр (температура поверхностного слоя, концентрация хлорофилла и излучаемая радиация).

Данные SLA L4 и SST L4 выбираются по дате в интервале 1993–2023 и 1981–2023 соответственно.

Для запроса данных численных расчетов (на примере результатов работы модели МГИ) необходимо указать дату, параметр (температура, соленость, скорость) и горизонт.

Карты климатического атласа доступны для температуры и солености для каждого месяца до горизонта 300 м и среднегодовые для глубоководной части Черного моря.

Работа выполнена в рамках тем госзадания ФИЦ ФГБУН МГИ РАН FNNN-2021-0003 «Оперативная океанология» и FNNN-2021-0005 «Прибрежные исследования».

ИЗУЧЕНИЕ АНТРОПОГЕННОГО ПОЛИМЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ЗОНЕ СОПРЯЖЕНИЯ СУШИ И МОРЯ НА ПРИМЕРЕ ПЛЯЖЕЙ ЮГО-ЗАПАДНОГО КРЫМА

В. А. Кальпа ✉, **А. В. Багаев**

МГИ, Севастополь, Россия
✉ vel.kalpa@gmail.com

Ключевые слова: антропогенное загрязнение, пластик, микропластик, морской мусор.

Цель данной работы заключалась в определении понятия «морской мусор», его классификации и изучении свойств пластикового мусора. Были рассмотрены также существующие методики мониторинга пластикового мусора на песчаных пляжах, проанализированы их достоинства и недостатки. В рамках исследования были собраны и проанализированы образцы пластикового мусора, найденного на песчаных пляжах Юго-Западного Крыма, в зоне заплеска на макрофитах. Было проведено морфометрическое описание частиц, включающее размер, форму, состояние поверхности и массу. Также была проведена подготовка и анализ образцов «чистого» и «пляжного» пластика на

РФА-спектрометре для определения содержания тяжелых металлов на поверхности.

Морской мусор – это антропогенные отходы, которые попадают в моря и океаны, такие как пластиковые бутылки, упаковки, рыболовные сети, канцелярские принадлежности и другие предметы, которые не разлагаются быстро и могут нанести вред морской жизни и экосистемам.

Методика сбора заключается в следующем: выбираются образцы мусора, которые собираются на побережье в зоне исследования. Для этого мы выбирали полосу выброшенных на пляж водорослей в зоне заплеска. Мы ограничивали прямоугольник 10 м длиной и 1 м шириной, который дополнительно разбивали на 10 равных квадратов. Отбор образцов производили пинцетом с поверхности. Образцы собирались в пластиковые zip-пакеты и подписывались (дата, место отбора проб, номер квадрата). Затем, уже дома, мы считали распределение пластикового и прочего мусора по каждому из квадратов.

Перед проведением отбора проб с возвышенности проводится фотографирование пляжа, отмечается количество «пятен мусора» на пляже, их геометрия. По месту фиксируем координаты с помощью ГНСС приемника (точность до 2 м). В протокол заносили информацию о метеоусловиях, волнении на море, количестве людей на пляже.

Отбор проб проводится на участках пляжа вдоль линии заплеска, где наблюдается скопление макрофитов. После ограничения цветной веревкой и кольшками полосы шириной 1 м и длиной 10 м проводится осмотр и подсчет видимого мусора (антропогенного происхождения макро-, мезо-, микроразмера) с разбиением на квадраты по 1 м².

Исследование собранных образцов проводится в закрытом помещении в перчатках с помощью пинцета. Записывается количественное содержание разных материалов (пластик, металл, дерево и пр.) в тетрадь по каждому квадрату.

Для исследования наличия и концентрации тяжелых металлов на морском мусоре мы использовали Спектроскан МАКС-GV. Аппарат работает следующим образом: образец, который нужно исследовать, устанавливается в устройство для загрузки пробы.

Затем он подвергается облучению рентгеновской трубкой в рабочем положении. В результате взаимодействия рентгеновского излучения с веществом в образце возникает вторичное флуоресцентное излучение. В спектре этого излучения присутствуют характеристические линии элементов, которые составляют образец. Наличие линий определенного элемента в спектре свидетельствует о его присутствии в образце, а интенсивность этих линий позволяет оценить содержание элементов.

Мы исследовали на наличие и концентрацию тяжелых металлов пять «чистых образцов» и пять образцов «пляжного пластика». Такое количество образцов связано с особенностями работы спектрометра.

Собранные фрагменты пластикового «пляжного» мусора не обрабатывались растворителями или дистиллированной водой. Таким образом, полученные спектры во многом отвечают составу поверхностного загрязнения, краски, добавок-улучшителей и лишь в самую последнюю очередь химическому составу самого полимера, из которого был сделан образец. Чаще всего встречались следующие элементы: Ti, Cl, Si, S, Ca, Fe. Были также обнаружены такие элементы как Zn, P, K, Na, Cu, но они встречались значительно реже. Наличие большого содержания хлора и натрия, скорее всего, вызвано испарением морской воды и осаждением NaCl. Наличие титана говорит о красителях в составе частиц или на их поверхности, а кремний и кальций, возможно, появились из-за контакта с песком и битой ракушкой.

Среднее количество пластикового мусора варьировалось от 1 до 14 частиц на 1м² в зависимости от сезона и места сбора проб. Так, выше всего концентрация пластиковых частиц была на пляже «Учкуевка», а ниже всего – в Немецкой балке.

Исследование выполнено в рамках изучения береговой зоны Западного Крыма по теме МГИ «Прибрежные исследования» FNNN-2021-0005.

СОСТОЯНИЕ И ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ЗООПЛАНКТОНА В АБХАЗСКОЙ АКВАТОРИИ ЧЕРНОГО МОРЯ

М. Р. Каталандзе

ИЭАНА, Сухум, Республика Абхазия
✉ marika.katalandze@bk.ru

Ключевые слова: Черное море, Абхазия, биоразнообразие, зоопланктон, активная конвективная пленка нейстона.

Одной из актуальных задач современной гидробиологии и океанологии является изучение особенностей вертикального распределения зоопланктона и понимание причин и тенденций изменений, происходящих в экосистеме Черного моря. Воздействия природных и антропогенных факторов приводят к продуцированию и распределению зоопланктона, способствуют проникновению и натурализации новых видов, что приводит к структурным перестройкам внутри сообщества [1].

Зоопланктон, во-первых, является важнейшим компонентом кормовых ресурсов, обеспечивая формирование запасов планктоноядных рыб; во-вторых, обуславливает успешный переход личинок всех видов рыб в активное питание; в-третьих, является ключевым звеном в цепи питания. Поэтому количественные и качественные изменения зоопланктона являются индикатором того, что произойдет с запасами рыб в ближайшие годы. Из общего количества рыб более 20 % служат объектами промысла в Черном море.

Особенностью абхазской акватории Черного моря является образование активной зоны пленки нейстона на границах встречи двух течений, в которой накапливается большое количество зоо- и фитопланктона.

Материалы (пробы) были собраны на главной биостанции Института экологии АНА. Отбор проб осуществляли с помощью малой планктонной сети Джеди каждую неделю с февраля по май 2023 г. и в толще воды, и на месте образования активной конвективной пленки нейстона. Пробы брали на глубинах от 2 до 9 м

при температуре моря от 10° до 23° С, а после фиксировали 4 % нейтрализованным формалином.

По результатам проведенных исследований в наших пробах выявлено 14 видов и 3 рода зоопланктона. Из надотряда Cladocera был представлен единственный вид рода *Penilia* – *Penilia avirostris* (Dana, 1849); из подкласса Copepoda определены виды *Oithona davisae* (Ferrari F.D. & Orsi, 1984), *Centropages ponticus* (Karavaev, 1895), *Porcellidium viride* (Capcy, 1904), науплеусная форма *Acartia clausi* (Giesbrecht, 1889), *Acartia tonsa* (Dana, 1849), *Paracalanus parvis* (Claus, 1863), *Oithona similis* (Claus, 1866), науплеусная форма *Calanus euxinus* (Hulsemann, 1991); из класса Appendicularia – *Oikopleura (Vexillaria) dioica* (Fol, 1872); из класса Rotifera - род *Synchaeta* sp. (Ehrenberg, 1832); из класса Oligotricha – род *Tintinopsis*; из класса Eurotatoria – род *Asplanchna* sp. (Gosse, 1850).

К меропланктону относят оргазмов, часть жизненного цикла которых проходит в толще воды, ведущих прикрепленный образ жизни [2]. Из меропланктона в пробах были определены личинка двустворчатых (пластинчатожаберных) моллюсков (larvae Lamelibrancha), личинка креветки, ранние стадии жизненного цикла полихет (larvae Polychaeta), личинка баянуса (larvae Balanus).

Проведенные исследования свидетельствуют о большем биоразнообразии планктонных сообществ и требуют дальнейших изучений.

Список литературы

1. Загородняя Ю. В., Павловская Т. В., Морякова В. К. Современное состояние зоопланктона у берегов Крыма // Современное состояние биоразнообразия прибрежных вод Крыма (Черноморский сектор). Севастополь, 2003. С. 49–83. EDN WPADKJ. doi:10.21072/966-02-3133-4
2. Иллюстрированный атлас массовых видов зоопланктона Азовского и Черного морей / Д. Ф. Афанасьев [и др.]. Ростов-на-Дону, 2020. 112 с. EDN HSYISW.

ЗООПЛАНКТОН ГОЛУБОЙ БУХТЫ В 2021–2022 ГОДАХ

А. П. Ключанцева ✉, Т. А. Лукашева, А. В. Фёдоров

ИОО ИО РАН, Геленджик, Россия

✉ agni_text@mail.ru

Ключевые слова: зоопланктон, Черное море, сезонная динамика, видовой состав, численность, биомасса.

Место проведения исследования – Голубая бухта в северо-восточной части Черного моря, город Геленджик Краснодарского края. Отбор проб проводился с пирса с помощью сети Конус малый, облавливаемый слой 0–6 м. Обработку проб проводили в камере Богорова под бинокляром.

Задача: оценить сезонные и годовые изменения в распределении прибрежного зоопланктона, динамику его численности и биомассы.

2022 г. характеризовался поздним началом интенсивного развития планктонных сообществ. Зоопланктон был представлен обычными для северо-восточной части Черного моря видами.

С января по март стандартно лидировали холодноводная *Oithona similis* и эвритермные виды *Acartia clausi*, *Paracalanus parvus*, *Oithona davisae*. Численность в оба года была одинаковой, 1288 экз/м³ и 1337 экз/м³ соответственно.

Весной происходила перестройка мезопланктона. Личинки донных животных в большом количестве появляются в планктоне. Меропланктона в 2022 г. было меньше на 27 % за счет уменьшения личинок *Bivalvia* и *Gastropoda*. Количество личинок *Bivalvia* уменьшилось в 40 раз, а личинок *Gastropoda* – в 3,6 раза по сравнению с 2021 г. Эти виды являются тонкими фильтраторами, чувствительными к загрязнению, а так как в этот период преобладала тихая погода, не происходило интенсивного водообмена с открытой частью моря, это усиливало загрязнение побережья, что отразилось на численности этой части меропланктона.

Науплии *Cirripedia*, входящие в состав меропланктона, увеличили численность более чем в 2 раза. Личинок *Polychaeta* в 2022 г. было меньше почти в 3 раза, а *Decapoda* – в 14 раз больше, чем в 2021 г.

Летом начинается развитие *Penilia avirostris* – представителя летнего зоопланктона, который отмечается в пробах с мая, но в 2022 г. максимальное развитие сдвинулось на сентябрь (2050 экз/м³), что сильнее сказалось на численности общего мезопланктона в 2022 г. Тихая погода в августе ослабила обмен воды в бухте и перенос *Penilia avirostris* из открытой части моря.

За изученный период общая численность мезопланктона вместе с меропланктоном (без ночесветки) в 2022 г. составляла 11342 экз/м³, а биомасса 101,325 мг/м³, в 2021 г. показатели были 18449 экз/м³ и 132 мг/м³. Соответственно, в 2022 г. по численности меньше в 1,6 раза, а по биомассе – в 1,3 раза. 2022 г. характеризовался в целом меньшими показателями средней биомассы, по сравнению с 2021 г. Зато общая численность в 2022 г., включая ночесветку, составляет 72989 экз/м³ и лидирует среди последних лет наблюдений.

Постоянный состав прибрежного зоопланктона доказывает стабильность сообщества и служит ярким доказательством мощных связей между популяциями, а изменение численности является ответной реакцией на биотические и абиотические факторы среды, которые в последнее время стремительно растут. Кутовую часть Голубой бухты можно считать естественной лабораторией для изучения влияния биотических и абиотических факторов на прибрежную биоту.

БАЗА ДАННЫХ ПО ГИДРОХИМИИ И ЗАГРЯЗНЕНИЮ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД КРЫМА

А. Н. Коршенко

ГОИН, Москва, Россия

✉ korshenko58@mail.ru

Ключевые слова: Крым, морская вода, гидрохимические параметры, загрязнение, база данных.

База данных (БД) «Гидрохимия прибрежных вод Крыма» создана на основе результатов государственной системы

мониторинга. В БД включены исходные постанционные значения гидрохимических параметров и концентрации загрязняющих веществ в прибрежных водах всего Крыма. Результаты охватывают период 1980–2022 гг. Наполнение БД историческими данными из архива Севастопольского отделения ГОИН продолжается. Основная часть данных получена в ходе экспедиционных исследований химических лабораторий в Опасном (семь станций в Керченском проливе между портами Крым и Кавказ), в Ялте (одна станция на выходе из порта) и на нерегулярной сетке станций в прибрежье Севастополя и бухтах, а также в Северо-Западном Крыму до кутовой части Каркинитского залива. В исторических массивах до распада Советского Союза также представлены данные экспедиций в центральной части моря. Всего в настоящий момент в БД занесено 22,7 тыс. записей, из которых 9557 относятся к разрезу в самом узком месте Керченского пролива, а 7648 проб были отобраны на постоянной точке в порту Ялта или в Ялтинском заливе. Остальные данные получены на более-менее произвольно выбранных станциях вдоль всего побережья полуострова. В БД включены, кроме точного указания времени, места и глубины отбора проб морской воды, стандартные гидролого-гидрохимические показатели (соленость и хлорность (S, ‰), температура (ТОС), прозрачность по диску Секки, цветность воды, содержание взвешенных веществ, щелочность (Alk), концентрация растворенного в воде кислорода (O₂), сероводорода (H₂S), ионов водорода (pH), биогенных веществ (аммонийный, нитритный, нитратный и общий азот, фосфатный и общий фосфор, кремний (Si-SiO₃)). Из загрязняющих веществ в БД включены данные о нефтяных углеводородах, синтетических поверхностно-активных веществах (СПАВ), фенолах, хлорорганических пестицидах (ХОП групп ДДТ и ГХЦГ, альдрин, гептахлор) и 11 тяжелых металлах (ТМ). По отдельным станциям приведены элементы гидрометеорологического режима: скорость и направление течений и ветра, высота волны, температура и влажность воздуха и другие параметры. Для удобства работы и наполнения БД реализована в стандартном пакете MS-Excel. Информация последних лет также представлена в онлайн БД «Загрязнение морей», реализованной в пакете

PostgreSQL на сайте ГОИН <http://pollut.oceanography.ru/nos/cpnos/>. База используется для подготовки аналитических материалов (ежегодника, обзора и т. д.) о многолетней динамике загрязнения прибрежных вод полуострова. Планируется на основании массива уже накопленных данных провести корректировку подготовленного эколого-географического районирования побережья Крыма. В подготовке структуры БД и ее наполнении принимали участие десятки специалистов и в первую очередь М. Л. Коновалов, С. А. Шибеева, А. О. Долгова.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ БУХТ СЕВАСТОПОЛЯ

Е. А. Котельянец ✉, Е. Е. Совга

МГИ, Севастополь, Россия
✉ plistus@mail.ru

Ключевые слова: бухты Севастопольского региона, Черное море, донные отложения, тяжелые металлы, корреляционный анализ.

Изучение загрязняющих веществ в Севастопольских бухтах представляет значительный научный и практический интерес в связи с экологическими проблемами, которые характерны для прибрежных акваторий, подвергающихся длительному антропогенному воздействию. Объектами исследования в работе были донные осадки мелководных акваторий Крыма с затрудненным водообменом на примере бухт Севастопольского региона (Севастопольской, Казачьей, Балаклавской).

К основным физико-химическим характеристикам донных отложений, влияющим на процесс накопления загрязняющих веществ, включая микроэлементы и тяжелые металлы, относятся содержание органического ($C_{орг.}$) и неорганического карбонатного ($CaCO_3$), углерода, гранулометрический состав и влажность

отложений. Именно эти характеристики играют важную роль в формировании типа осадков и способности к накоплению в них с осадочным материалом различных веществ, в том числе макро- и микроэлементов. В значительной степени эти характеристики определяют и пространственное распределение в донных отложениях прибрежных акваторий микроэлементов и тяжелых металлов.

Изучено пространственное распределение металлов (Zn, Cu, Ni, Co, Cr, Sr, Fe, Mn) в донных отложениях исследуемых акваторий на основе анализа данных, полученных в 12 экспедициях с 2004 по 2018 г. в акваториях Севастопольского региона. Для выявления связей содержания металлов в донных осадках Севастопольских бухт с их физико-химическими характеристиками были рассчитаны коэффициенты корреляции.

В Севастопольской бухте – акватории с затрудненным водообменом – выделены участки донных осадков с превышением геохимического фона целого ряда исследуемых микроэлементов и тяжелых металлов (Cr, Co, Ni, Zn, Sr).

Распределение повышенных концентраций Zn, Cu, Ni, Co, Cr, Fe, Mn в бухте Казачьей регулируется повышенным содержанием органического углерода в исследуемых донных осадках.


Анализ пространственного распределения исследуемых элементов в Балаклавской бухте показал превышение геохимического фона для Cr, Co, Ni, Zn, Sr, особенно в акваториях, находящихся под влиянием стока р. Балаклавки, стока рудоуправления и городских неочищенных стоков.

Для донных отложений акваторий Севастопольского региона установлена статистически значимая корреляция с содержанием илистой фракции для Ni, Ti, Co, Fe, Mn, а с концентрацией органического углерода коррелируют металлы Zn, Fe, Cu и Ni.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме FNNN-2021-0005 «Прибрежные исследования».

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БЕРИЛЛИЯ-7 В ЧЕРНОМ МОРЕ В ЗИМНИЙ СЕЗОН

Д. А. Кременчуцкий , Г. Ф. Батраков

МГИ, Севастополь, Россия
 *d.kremenchutsky@gmail.com*

Ключевые слова: бериллий-7, Черное море, вертикальное распределение, пространственная изменчивость.

Бериллий-7 является естественным радионуклидом. Интерес к нему обусловлен возможностью его использования в роли трассера для исследования процессов поступления веществ в морскую среду и их транспорта в ней. Натурные данные о его содержании в водах Черного моря сильно ограничены, а данные о его вертикальном распределении в зимний сезон отсутствуют вовсе.

В работе представлены натурные данные о пространственной изменчивости вертикального распределения содержания бериллия-7 в водах Черного моря. Показано, что на шельфе отмечаются пониженные величины его содержания, а изменчивость в его вертикальном распределении отсутствует. В глубоководных районах отмечаются повышенные величины его концентрации, а его вертикальное распределение в деятельном слое в целом подобно профилю температуры. Отмечено, что с ростом расстояния от берега относительное содержание бериллия-7 на взвеси уменьшается.

Отбор проб морской воды был выполнен в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ FNNN-2021-0004). Определение содержания бериллия-7 в пробах и анализ полученных данных проведен в рамках гранта, выданного Российским научным фондом (№ 22-77-10056).

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ВОЛНОВЫХ РЕЖИМОВ, ПРЕПЯТСТВУЮЩИХ ЭКСТРЕМАЛЬНЫМ РАЗМЫВАМ БЕРЕГОВ

С. Ю. Кузнецов ✉, Я. В. Сапрыкина

ИО РАН, Москва, Россия

✉ *Kuznetsov@ocean.ru*

Ключевые слова: Черное море, Южный берег Крыма, инструментальный мониторинг, прибрежный ветер, вдольбереговое течение.

В докладе на основе данных натуральных экспериментов на болгарском участке побережья Черного моря и результатов численного моделирования выделяются характерные черты режимов штормового волнения, приводящих к транспорту наносов в сторону берега на определенных участках подводного берегового склона. Анализ проведен в рамках энергетического подхода Бэгнольда к оценкам транспорта наносов. Знаменитую формулу Бейларда, описывающую расход наносов поперек берега в береговой зоне моря, можно представить в виде попарных произведений концентрации, пропорциональной высшим моментам поля придонной скорости частиц воды и самой скорости. В статье проведен взаимный спектральный анализ высших моментов придонной скорости частиц воды и самой скорости; выяснено, какие именно частотные компоненты придонной скорости дают максимальный вклад в расход наносов и определяют не только его величину, но и направление (к берегу или от берега). Показано, что интенсивное волнение, характерное для фазы развитого шторма, переносит наносы в сторону моря, а относительно слабые волновые режимы, характерные для фазы затухания шторма, переносят песок в сторону берега и компенсируют штормовые размывы дна береговой зоны.

**ВЛАЖНОСТЬ И СОДЕРЖАНИЕ СВИНЦА
В ДОННЫХ ОСАДКАХ ГДАНЬСКОЙ ВПАДИНЫ
(ЮГО-ВОСТОЧНАЯ БАЛТИКА) ПО ДАННЫМ
ПОРТАТИВНОГО РЕНТГЕНО-ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО
АНАЛИЗАТОРА OLYMPUS VANTA-C**

Д. Н. Ласкина ^{1,2}✉, **Е. В. Дорохова** ^{1,2}

¹ БФУ, Калининград, Россия

² ИО РАН, Москва, Россия

✉ drlaskina@gmail.com

Ключевые слова: рентгено-флуоресцентный анализатор, влажность донных осадков, концентрации свинца, Гданьская впадина, Балтийское море.

Энергодисперсионные рентгено-флуоресцентные анализаторы (РФА) имеют два основных преимущества перед классическими методами геохимического анализа: портативность и быстрая пробоподготовка, которая не нарушает целостность образца, что позволяет проводить измерения в пробах натуральной влажности. Однако результаты анализов, полученные этим методом и классическим методом в сухих пробах (стационарный волнодисперсионный РФА), могут сильно различаться. Для сравнения результатов, полученных портативным РФА, с данными, полученными классическим методом, и решения некоторых палеогеографических задач требуются значения влажности осадка для пересчета концентраций на сухой вес. Одной из таких задач является изучение содержаний свинца в осадках Балтийского моря для датирования донных отложений.

В задачи данной работы входило: 1) адаптация методики определения влажности осадка по спектральным данным портативного РФА для Балтийского моря; 2) изучение распределения свинца в колонках донных осадков Гданьской впадины Балтийского моря. Для решения этих задач были отобраны девять колонок донных осадков. Пробоотбор производился с помощью больших ударных (БГТ) и малых герметичных (МГТ) грунтовых трубок. Анализ осуществлялся портативным РФА Olympus

VANTA-C с серебряным анодом и кремниевым дрейфовым детектором. Определение влажности по данным рентгеновских спектров, полученных с помощью РФА Olympus Vanta-C, проводилось по методике Дж. Бойла с соавторами. Сравнение влажности осадка, измеренной методом потери масс при высушивании, и влажности по соотношению спектров когерентного и некогерентного рассеяния РФА показало высокую корреляцию ($r = 0,97$).

Для изучения содержаний свинца в осадках Гданьской впадины Балтийского моря, измеренных РФА Olympus Vanta-C, применена двойная процедура пересчета. Сравнение его содержаний, измеренных классическим методом и по данным портативного РФА, показали высокую корреляцию ($r = 0,89$).

Концентрации Pb в нижних секциях осадков, отобранных БГТ, не превышают значений 40 ppb, являющихся фоновыми для осадков Балтийского моря. Начало роста концентраций Pb с максимумом 50–60 ppb в приповерхностном горизонте связано с поступлением тяжелых металлов в атмосферу, датирующимися Римским (около 2000 л. назад) и Средневековым (около 750 лет назад) периодами.

В осадках всех колонок, отобранных МГТ, наблюдалась тенденция к увеличению концентраций вверх по колонке до 90–124 ppb, а затем снижение значений до 47–59 ppb. Пиковые концентрации сопоставимы с максимальными значениями в верхних горизонтах осадков Восточно-Готландской впадины и Ботнического залива и могут быть отнесены к индустриальному периоду 1970-х гг. Снижение концентраций в приповерхностных горизонтах свидетельствует об уменьшении поступлений тяжелых металлов в Балтийское море в 2000-х гг. Более низкие максимальные концентрации Pb в верхних горизонтах осадков, отобранных БГТ, свидетельствуют об их систематическом размыве при отборе.

Изучение влажности выполнено в рамках госзадания ИО РАН (тема № FMWE-2021-0012), исследование распределения свинца выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-17-00170, <https://rscf.ru/project/22-17-00170/>.

ГОЛОЛЕДНО-ИЗМОРОЗЕВЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ НА ПОБЕРЕЖЬЕ КАРСКОГО МОРЯ ПОЛУОСТРОВА ЯМАЛ

И. И. Леонов^{1, 2}, Н. Н. Соколихина¹ ✉

¹ МГУ, Москва, Россия

² Научно-технический центр Федеральной сетевой компании Единой энергетической системы, Москва, Россия

✉ natalia.sokolikhina@gmail.com

Ключевые слова: опасные явления погоды, гололедно-изморозевые отложения, обледенение, зернистая изморозь, кристаллическая изморозь, гололед, мокрый снег.

По данным срочных наблюдений исследовались метеорологические условия формирования гололедно-изморозевых отложений в районе Обской губы. Этот регион был выбран в связи с тем, что, во-первых, основные интенсивные изменения климата происходят в Арктике, а во-вторых, в настоящее время на российском шельфе Арктики в районе полуострова Ямал в среднесрочной перспективе будет нарастать добыча нефти и газа, что увеличивает основные экологические риски. В связи с этим возрастает интерес к изучению повторяемости опасных явлений погоды.

Для каждой метеорологической станции в районе Обской губы подсчитывалось количество атмосферных явлений, во время которых могли формироваться потенциально опасные гололедно-изморозевые отложения. В результате была построена карта-схема наиболее распространенных гололедно-изморозевых отложений в районе Обской губы, на которой видно, что на всей территории преобладающим видом отложений является кристаллическая изморозь. Отложения мокрого снега составляют от 8 до 30 %. Гололед и зернистая изморозь наблюдаются крайне редко.

В процессе работы был исследован годовой ход повторяемости гололедно-изморозевых отложений различных видов. В холодное время года, с ноября по март, наиболее часто образуется кристаллическая изморозь, в переходные сезоны – отложения мокрого снега. По данным срочных наблюдений с 1966 по 2021 г.

оценивались тенденции ежегодного количества метеорологических сроков, во время которых наблюдались атмосферные явления, приводящие к потенциально опасным гололедно-изморозевым отложениям.

Для каждого вида гололедно-изморозевого отложения по определенным диапазонам температуры воздуха и скорости ветра были выделены отложения высокой интенсивности, потенциально относящиеся к опасным явлениям погоды. К этим отложениям относятся гололед, изморозь и мокрый снег. Временные тренды отложений гололеда, изморози (и кристаллической, и зернистой) и мокрого снега за период с 1966 г. по настоящее время имеют тенденцию к росту, хотя сами тренды и не значимы.

ОПЫТНЫЕ РАБОТЫ ПО МЕТОДИКЕ ОПРОБОВАНИЯ ГАЗОВЫХ ФЛЮИДОВ БУХТЫ ЛАСПИ (ЮЖНЫЙ БЕРЕГ КРЫМА)

В. И. Лысенко ¹✉, Н. В. Шик ²

¹ *Филиал МГУ в г. Севастополе, Севастополь, Россия*

² *Севастопольский центр туризма, краеведения, спорта и экскурсий
учащейся молодежи, Севастополь, Россия*

✉ *Niagara_sev@mail.ru*

Ключевые слова: флюид, метан, этан, азот, углекислый газ, сероводород, гелий.

В наши дни мировое сообщество обеспокоено проблемами изменения климата, которое влияет на таяние ледников и повышение уровня Мирового океана. Главная причина таких изменений связана с парниковым эффектом. В его создании участвуют углекислый газ и метан. Поэтому исследования, связанные с изучением поступления метана из недр, являются актуальными.

Участок с выходами газа находится в пределах ядра Ласпинской антиклинали, на пересечении Ласпинского и Берегового разломов. Струйные выходы флюидов находятся на трех пляжных бактериальных постройках. Они расположены на расстоянии от

10 до 60 м от уреза воды современной береговой линии на глубинах от 1,5 до 3,0 м. Поэтому их проще опробовать, чем изученные сипы больших глубин Черного моря.

При отборе первых проб в 2013 г. газ набирался в пятилитровую емкость. Время отбора составляло 35–48 мин. Из этой емкости газ отбирался в пол-литровые бутылки. Вся операция по опробованию проводилась в подводных условиях. Позднее для взятия газа было сконструировано специальное оборудование. Конструкция позволяла отобрать газ в 2,0 см от его выхода в фармацевтический флакон объемом 150 мл. Время заполнения пузырька сократилось до 10–15 мин. После заполнения его газом, пузырек свинчивался с оборудования, сразу затыкался пробкой и закручивался крышкой. Все операции выполнялись под водой около выходов газа.

Определение газового состава флюидов было выполнено в лаборатории МГУ на стационарных газовых хроматографах «Хроматэк-Кристалл 5000», оснащенных пламенно-ионизационными (ПИД) детекторами и детектором по теплопроводности (ДТП).

Флюиды бухты Ласпи имеют многокомпонентный газовый состав. Они представлены метаном, этиленом, пропаном, этаном, пропиленом, бутаном и пентаном. Кроме этого, во флюидах присутствуют азот, кислород, углекислый газ, сероводород и гелий.

Флюиды бухты Ласпи имеют некоторое отличие от подобных холодных сипов Черного моря. По данным опробования факелов сипов на северо-западном шельфе, в состав флюидов входили следующие газы: метан (98,7 %), тяжелые углеводороды (0,15 %), азот (1,05 %), углекислый газ (0,077 %). При этом исследователи отмечали, что пробы, отобранные на большей глубине, характеризуются более высокими содержаниями в них метана. С чем связаны значительные содержания метана в пробах, отобранных на больших глубинах? Это объясняется методикой опробования. Обычно для взятия проб использовалось газопримемное устройство объемом около литра или больше. Сам отбор газа занимал значительный временной интервал. За этот период времени в емкости происходило разделение смеси газа по весу, а часть его растворялась в воде. Поскольку материал для анализа брали из верхней части емкости, то в нее попадал в основном метан. Подобные результаты были у авторов при взятии первых

проб большими емкостями в 2013 г. Отбор газа занимал от 35 до 48 мин, а содержание метана в анализах изменялось от 81,9 до 91,9 %. Наблюдалась зависимость: чем больше время опробования, тем выше концентрация метана.

Установленный авторами временной фактор необходимо учитывать при отборе проб на больших глубинах.

СРАВНЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ $p\text{CO}_2$, ПОЛУЧЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ (ПРЯМЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ И РАСЧЕТ НА ОСНОВАНИИ pH и Alk)

Е. В. Медведев ✉, Н. А. Орехова

МГИ, Севастополь, Россия

✉ eugene.medvedev1984@gmail.com

Ключевые слова: pH , $p\text{CO}_2$, общая щелочность.

Измерение содержания углекислого газа в водах океана – одно из наиболее приоритетных направлений в современной химической океанографии, поскольку разница между содержанием CO_2 в воде и его концентрацией в атмосфере позволяет оценить способность океана к поглощению углекислого газа из атмосферы.

Для решения задачи определения содержания CO_2 существует два подхода: прямые измерения $p\text{CO}_2$ газа и расчет на основании измерения двух других параметров карбонатной системы (pH , Alk , TCO_2). Первый является более точным, но до последнего времени применялся редко. Измерения же pH и общей щелочности проводятся около столетия и лучше стандартизированы. Однако их результаты могут существенно отличаться от прямых измерений. Таким образом, существует задача сопоставления различных.

В данной работе был использован массив данных ФГБУН ФИЦ МГИ РАН, содержащий значения параллельных измерений $p\text{CO}_2$, pH и Alk , полученные в 95-м и 117-м рейсах НИС «Профессор Водяницкий» летом 2017 и 2021 гг.

В обоих рейсах наблюдалась высокая степень корреляции между результатами и прямых измерений $p\text{CO}_2$ и расчетов: 0,86 в 95-м и 0,90 в 117-м рейсе. Но в абсолютных значениях прямые измерения показывали существенно более высокие значения, чем расчетные, от 86 до 222 мкатм. Разница между расчетными и измеренными величинами в 95-м рейсе была значительно меньше (86–133 мкатм), чем в 117-м (149–222 мкатм). В процентном отношении прямые измерения были выше расчетных в среднем на 21 % (18–24 %) и 36 % (32–40 %) в 95-м и 117-м рейсах соответственно.

Исключая ошибку измерений изучаемых величин в силу ряда факторов (высокая степень корреляции между двумя независимыми друг от друга прямым и расчетным методами; хорошая согласованность с результатами других исследований; проведение поверочных измерений, предусмотренных соответствующими методиками), можно утверждать, что расхождения между прямыми измерениями и результатами расчетов связаны с двумя факторами: проведением измерений рН в шкале NBS и использованием полуэмпирических коэффициентов, основанных на океанической воде при расчетах $p\text{CO}_2$.

Использование шкалы NBS и дальнейший перевод рН из нее в Total scale не однозначны, так как различие рН в 0,1 ед. может проводить к разнице полученных значений $p\text{CO}_2$, достигающей 100 мкатм.

Различия в превышении измеренного $p\text{CO}_2$ над рассчитанным между рейсами, 21 и 36 % в 95-м и 117-м рейсах соответственно, можно объяснить различной интенсивностью биотических процессов в Черном море в летний период.

Работа выполнена в рамках гранта № 169-15-2023-002 от 01.03.2023 Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и государственного задания по теме FNNN-2021-0004, данные получены в 95-м и 117-м рейсах НИС «Профессор Водяницкий» (Центр коллективного пользования «НИС Профессор Водяницкий» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»).

ВЛИЯНИЕ БАСЕЙНОВЫХ ФАКТОРОВ НА СТОК В УСТЬЯ РЕК ЮГО-ЗАПАДНОГО КРЫМА

Р. Я. Миньковская [✉], С. В. Наривончик,
Д. А. Антоненков

МГИ, Севастополь, Россия
[✉] *rminkovskaya@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: Юго-Западный Крым, устья рек, изменчивость стока, природные и антропогенные факторы.

Состояние разнотипных морских устьев малых рек Юго-Западного Крыма (Черная, Бельбек, Кача и Альма) формируется под влиянием морских и бассейновых факторов. Водная среда морей, в силу ее инерционности, в меньшей степени подвержена природно-антропогенным изменениям, чем бассейны и сток малых рек, являющийся интегральным фактором образования и эволюции устьев, основным предиктором для балансовых и прогнозных оценок.

Цель работы – дать оценку изменчивости стока рек Юго-Западного Крыма в вершины их устьев.

Информационной базой исследования являлись материалы наблюдений Крымского УГМС на гидропостах в с. Хмельницком (р. Черная), с. Фруктовое (р. Бельбек), с. Суворово (р. Кача) и с. Почтовое (р. Альма) за 1991–2022 гг., а также результаты наблюдений МГИ РАН по специальным программам исследований в вершинах устьев указанных рек в 2017–2023 гг.


В современный климатический период, 1991–2020 гг., зарегулированный сток рек значимых тенденций не имел. Модуль стока рек уменьшался на 40–85 % при увеличении площади бассейна. Причиной уменьшения обводненности водосборов рек являлись: дефицит боковой приточности по направлению от истоков к устьям, особенности дренирования подземных и карстовых вод на различных участках русел, потепление климата и увеличение антропогенной нагрузки на водные объекты в бассейнах рек. По предварительным расчетам установлено, что в последние семь лет в вершины морских устьев рек Альмы, Качи, Бельбека

и Черной поступало воды в среднем на 60–85 % меньше, чем в замыкающие створы стационарных гидропостов. Учет полученных результатов позволит повысить качество балансовых оценок, прогнозов будущего состояния морских устьев рек при увеличении водозабора и изменении климата, моделирования изменчивости стока рек Юго-Западного Крыма, а также будет способствовать инициации аналогичных исследований малых рек и их устьев в других регионах.

ПОТОКИ УГЛЕРОДА СО ВЗВЕШЕННЫМ ВЕЩЕСТВОМ В ЧЕРНОМ МОРЕ

И. Н. Мукосеев , Ю. С. Гурова, Н. А. Орехова

МГИ, Севастополь, Россия

 *igor.mukos@gmail.com*

Ключевые слова: взвешенное вещество, органический углерод, неорганический углерод, Черное море.

В работе изучены особенности вертикального потока органического и неорганического углерода в анаэробной части Черного моря по данным, полученным с помощью седиментационных ловушек.

Седиментационные ловушки были установлены в глубоководной части Черного моря на разрезе мыс Херсонес – пролив Босфор в ноябре 2018 г. на глубинах 150 и 1700 м. Отбор проб производился в течение года с заданной экспозицией 1 месяц. Таким образом, основной материал для работы был получен в период, включающий в себя разные сезоны с ноября 2018 г. по октябрь 2019 г.

Обработка собранного взвешенного вещества проводилась по единой для всех проб методике. Пробы взвешенного вещества отфильтровывали через прокаленные при температуре 450 °С стекловолокнистые фильтры. Определение содержания органиче-

ского и карбонатного углерода проводили методом кулонометрического титрования на анализаторе углерода АН-7529, аналитик И. А. Забегаев (МГИ РАН).

По полученным данным выявлена значительная изменчивость вертикального потока органического и неорганического углерода взвешенного вещества.

Доля органического углерода во взвеси составила 10 %, карбонатного углерода – 2 %.

Отмечено снижение потока органического и неорганического углерода со взвешенным веществом с глубиной. Так, средняя величина потока органического углерода на глубине 150 м составила 13,9 мг/(м²·сут), а на 1700 м – 47,5 мг/(м²·сут). Средняя величина потока неорганического углерода составила 3,06 мг/(м²·сут) и 10,0 мг/(м²·сут) на глубинах 150 и 1700 м соответственно.

В сезонной изменчивости также отмечена неоднородность их изменения. На глубине 150 м наибольшие потоки органического углерода отмечены в ноябре, декабре и июле (2,86; 2,58 и 2,45 мг/(м²·сут) соответственно), на 1700 м – в ноябре и августе (6,54 и 7,94 мг/(м²·сут) соответственно). Минимальные величины потока органического углерода на глубине 150 м фиксировались в августе (0,27 мг/(м²·сут)), на 1700 м – в сентябре (1,96 мг/(м²·сут)).

Величины потока неорганического углерода были значительно меньше. На глубине 150 м максимум величины потока приходится на декабрь (1,18 мг/(м²·сут)), в то время как в январе – марте, мае и августе отмечено отсутствие (содержание менее 0,04 %) неорганического углерода во взвешенном веществе.

На глубине 1700 м максимум потока неорганического углерода приходится на июнь (2,02 мг/(м²·сут)), минимум – на ноябрь и декабрь (0,30 и 0,34 мг/(м²·сут) соответственно).

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ МГИ № FNNN-2023-0001 «Обеспечение климатического и биогеохимического мониторинга потоков углерода в Черном море с использованием многолетних данных наблюдений и результатов численного моделирования».

ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИЙ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВОДАХ РЕКИ ЧЕРНОЙ

М. А. Мыслина [✉], А. В. Вареник, Д. В. Тарасевич

МГИ, Севастополь, Россия

[✉] *myslina@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: река Черная, биогенные элементы, неорганический азот, фосфаты, силикаты, динамика концентраций.

Река Черная – одна из наиболее значительных рек Севастопольского региона по протяженности и водности. Она является основным поверхностным источником водоснабжения г. Севастополя, а также оказывает значительное влияние на экосистему Севастопольской бухты.

Целью данной работы являлась оценка внутри- и межгодового изменения содержания биогенных элементов (неорганического азота, фосфатов и силикатов) в водах р. Черной.

На основе данных, полученных в ходе ежеквартальных экспедиционных исследований ФГБУН ФИЦ МГИ, определено, что динамика содержания биогенных элементов обуславливалась как интенсивностью процессов фотосинтеза и минерализации органического вещества, так и поступлением биогенных элементов с поверхностным стоком с площади водосборного бассейна и сбросом сточных вод.

При этом было выявлено, что с началом более активного освоения земель в Байдарской долине после 2014 г. содержание биогенных элементов в водах р. Черной возросло по всему течению реки. Наиболее явно это проявлялось на станциях, подверженных влиянию сел, где отсутствуют системы канализации и очистки сточных вод.

Работа выполнена в рамках темы госзадания ФГБУН ФИЦ МГИ № FNNN-2021-0004.

ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ И ИХ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА БИОГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЕ МОРЯ

В. В. Навроцкий

ТОИ ДВО РАН, Владивосток, Россия

✉ *vnavr@poi.dvo.ru*

Ключевые слова: шельф, внутренние волны, болюсы, турбулентность, температура, течения, фитопланктон, экосистемы.

В данной работе рассматриваются результаты наблюдений пространственно-временной структуры внутренних волн (ВВ) в зал. Петра Великого и моделирования их генерации и распространения в шельфовой зоне, а также результаты экспериментальных исследований эффектов ВВ и процессов в прибрежной зоне. Обсуждаются механизмы воздействия ВВ одновременно на биологические и геоморфологические процессы.

Нелинейные уравнения мелкой воды решались при задании различной вертикальной структуры поля плотности, крутизны континентального склона, скорости приливного течения. Численное моделирование генерации внутренних гравитационных волн над континентальным склоном и их распространения на шельфе позволило определить условия генерации внутренних волн различных типов и их разрушения в зависимости от величины прилива (скорости приливного течения вблизи границы шельфа), вертикальной структуры поля плотности, крутизны континентального склона, среднего наклона дна в шельфовой зоне.

Анализ проводимых экспериментальных исследований показывает, что выходящие на мелководье внутренние волны часто преобразуются в отдельные объемы устойчиво стратифицированной воды с холодными ядрами (болюсы), разделенные квазиоднородной более теплой водой и распространяющиеся в сторону берега. В процессе трансформации и разрушения внутренних волн генерируются как мелкомасштабная трехмерная турбулентность, так и квазигоризонтальная турбулентность.

В результате резко возрастают горизонтальные и вертикальные потоки импульса, энергии, тепла, примесей и донных осадков. Происходит вентиляция загрязненных прибрежных вод, оптимизация соотношения С:N:P, и тем самым увеличение первичной продукции в шельфовых водах. Большие амплитуды колебаний освещенности при больших ВВ и большие временные горизонтальные и вертикальные перепады температуры и плотности влияют на фотосинтез.

Анализ спутниковых данных о флуоресценции фитопланктона в зал. Петра Великого позволил связать сезонный ход и пространственное распределение концентрации фитопланктона с вертикальной структурой поля плотности и интенсивностью внутренних волн. Видовая, пространственная и временная структура и концентрация фитопланктона в шельфовой зоне определяют характер, состояние и биопродуктивность не только шельфовых экосистем, но и прилегающих зон океана, поскольку вдоль границ континентального склона проходят все течения, формирующие энергетические зоны Мирового океана.

МИРОВОЙ ОКЕАН И КЛИМАТ ЗЕМЛИ

В. В. Навроцкий

ТОИ ДВО РАН, Владивосток, Россия

✉ vnavr@poi.dvo.ru

Ключевые слова: климат, океан, фитопланктон, солнечная активность.

Глобальные изменения климата Земли являются одной из критических проблем современной цивилизации. Они проявляются не только и не столько в увеличении среднегодовой глобально осредненной температуры атмосферы, но прежде всего в усилении пространственных и временных колебаний климатических параметров (температуры, давления атмосферы, скорости ветра,

влажности, осадков, сезонности и др.). Все тепловые и динамические процессы в климатической системе являются проявлением ее энергии, главная часть которой содержится не в средних значениях, а в пространственно-временных дисперсиях климатических параметров. Основными являются две проблемы: 1) источники энергии для изменения климата как пространственно-временного распределения климатических параметров; 2) механизмы изменения этого распределения.

Очевидным является факт, что главным источником энергии в климатической системе Земли является излучение Солнца, более точно – участок спектра, включающий видимую и ближнюю инфракрасную области. Самым естественным объяснением представлялось изменение светимости Солнца, но оно оказалось недостаточным для объяснения наблюдаемых изменений теплового баланса планеты (особенно потепления во второй половине XX столетия) как из-за малости колебаний светимости Солнца (колебания солнечной постоянной порядка 0,1 %), так и из-за отсутствия в светимости трендов, наблюдаемых в тепловом балансе Земли.

В данной статье мы не будем рассматривать долгопериодные колебания, связанные с вариациями наклона земной оси, прецессией точек равноденствия вдоль земной орбиты, изменением эксцентриситета орбиты, вариациями и инверсиями магнитного поля Земли. Основным интерес для нас представляют быстрые, в масштабах десятилетий, колебания с большими амплитудами, которые, по утверждению климатологов, не были характерны для прошлых тысячелетий (утверждение спорное, если вспомнить о быстром подъеме уровня океана в конце последнего ледникового периода). В климатической системе Земли непрерывно происходят взаимные преобразования тепловой и механической энергии и аккумуляция энергии в органическом веществе, но в нулевом приближении можно рассматривать температуру как существенную характеристику энергетического состояния системы. На дисперсию распределения температуры, помимо колебаний солнечной постоянной, могут влиять изменения степени неравномерности (пятнистости) распределения тепла по поверхности Земли и изменения амплитуды пространственно-временных колебаний теплового баланса поверхности.

В сильно нелинейной климатической системе Земли оба эти фактора взаимосвязаны и работают практически одновременно. Большинство исследований проблемы климата было направлено на изучение изменений глобального теплового баланса в связи с изменениями свойств атмосферы под воздействием различных факторов (парниковые газы, солнечная активность, космические лучи и т.п.) и в связи с процессами взаимодействия между океаном и атмосферой. Полученные в этих направлениях полезные результаты недостаточны как с точки зрения энергетики и характеристик климатического процесса в прошлом, так и с точки зрения его возможного прогнозирования. В данной работе основное внимание обращено на процессы усвоения солнечной энергии поверхностью Земли, в которых большое значение имеет взаимодействие живого вещества Земли и климата при наличии воздействия на них внешних факторов и главную роль играет океан.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИИ БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОДЕ УСТЬЕВОГО ВЗМОРЬЯ РЕКИ ЧЕРНОЙ (СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ РЕГИОН)

С. В. Наривончик

МГИ, Севастополь, Россия

✉ *Narivonchik_s@mail.ru*

Ключевые слова: устьевое взморье р. Черной, биогенные вещества, пространственная изменчивость, индекс загрязненности воды, качество воды.

Объектом исследования являлось устьевое взморье р. Черной, подверженное влиянию речного стока и сточных вод, содержащих неорганические формы азота (нитратов, нитритов, ионов аммония) и фосфора (фосфатов). Это может приводить к загрязнению воды биогенными веществами (БВ), эвтрофикации и ухудшению состояния экосистемы устья. Поэтому выявление участков повышенной загрязненности и экологических рисков путем построения схем распределения концентраций биогенных веществ актуально.

Цель работы – дать характеристику пространственной изменчивости содержания в воде БВ и оценить качество воды.

Для этого использовались данные натуральных наблюдений МГИ РАН за 1991–2020 гг. В отличие от предыдущих работ приведены поля распределения медиан концентраций БВ в поверхностном и придонном слоях воды, так как установлено, что распределение этих характеристик качества воды крайне асимметрично. Следовательно, в этом случае среднее арифметическое значение не является достаточно представительным параметром центра выборки.

Оценка уровня загрязненности воды устьевого взморья р. Черной биогенными веществами, выполненная по индексу загрязненности воды (ИЗВБВ), показала, что ИЗВБВ изменяется в поверхностном слое воды от 0,19 в восточной части взморья до 0,09 в западной его части, а в придонном слое воды соответственно от 0,13 до 0,07. Наибольшая загрязненность воды характерна для Южной бухты, где ИЗВБВ равен 0,33 у поверхности и 0,15 у дна, что согласуется с предыдущими исследованиями.

Вдоль оси устьевого взморья р. Черной происходит трансформация БВ, их концентрация закономерно уменьшается от реки к морю. Расчет ИТВ (индекса трансформации веществ, %/км) показал, что содержание фосфатов в воде уменьшается на 7,3 (поверхность), 4,5 (дно), соответственно нитратов – 7,7–8,1, нитритов – 6,8–6,1, аммонийного азота – 11,4–8,9. Следовательно, самоочищение устьевого взморья р. Черной в результате гидродинамических, гидрохимических и гидробиологических процессов преобразования биогенных веществ происходит достаточно активно.

Медианная концентрация биогенных веществ в рассматриваемом районе не превышала ПДК (предельно допустимые концентрации).

Согласно ГОСТ 17.1.2.04–77 вода устьевого взморья р. Черной по содержанию в ней рассматриваемых биогенных веществ относится к классу чистых вод.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ КИНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АССИМИЛЯЦИИ БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ ВОДНЫМИ РАСТЕНИЯМИ

И. П. Науменко , Е. Ф. Васечкина

МГИ, Севастополь, Россия

 *lazarchuk.syst.analysis@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: морфофункциональные признаки, макрофитобентос, кинетика Михаэлиса – Ментен, аффинность.

В последние годы в экологии развивается новый подход в изучении процессов взаимодействия живых организмов с окружающей средой – концепция функциональных признаков, вытесняющая традиционный таксономический подход. Функциональные признаки определяются как морфологические, физиологические, фенологические характеристики, измеряемые на индивидуальном уровне.

При изучении связи между скоростью поглощения питательных веществ и их концентрацией в среде пользуются гиперболической моделью Михаэлиса – Ментен, а кинетические параметры модели V_{\max} (максимальная скорость усвоения) и K_s (константа полунасыщения) применяются для описания способности водных растений ассимилировать неорганические вещества в процессе роста. Таким образом, параметры, описывающие кинетику Михаэлиса – Ментен, являются важными функциональными признаками растений, определяющими эффективность усвоения ими биогенных веществ и роста тканей. Адекватные оценки данных параметров необходимы при моделировании морских экосистем. Изменчивость этих признаков, в том числе индивидуальная потенциальная зависимость от температуры среды и морфологии, еще недостаточно изучена и требует дальнейших исследований.

В связи с этим были выполнены сбор, систематизация и анализ доступной информации об измерениях кинетических параметров для морских макроводорослей и трав в лабораторных условиях. Полученный архив включает 394 записи, содержащие данные о кинетических параметрах поглощения веществ для 80 видов

макрофитобентоса. Эти данные почерпнуты из статей, опубликованных в период с 1976 по 2015 г. За это время в таксономическую классификацию было внесено множество изменений, соответственно наш архив данных был пересмотрен с учетом актуальных видовых наименований из базы данных AlgaeBase (URL: <https://www.algaebase.org/>).

Отмечена высокая изменчивость кинетических параметров, приведенных разными авторами для одного и того же вида растений в узком интервале температур с коэффициентами вариации от 30 до 70 %. Такая вариативность может быть следствием применения отличающихся друг от друга методик и, кроме того, разных начальных условий экспериментов, а именно разного начального содержания элемента в тканях растений.

При анализе данных оказалось полезным рассматривать отношение V_{\max}/K_s , т. е. начальный наклон кривой кинетического уравнения Михаэлиса – Ментен (аффинность), характеризующий эффективность усвоения питательных веществ при низких концентрациях ресурса. Эта величина обладает значительно меньшим разбросом значений по сравнению с V_{\max} и K_s . При анализе зависимости аффинности от морфометрических характеристик растений использовалась классификация по морфофункциональным признакам (Littler M.M, 1980). Было подтверждено ранее отмеченное свойство растений с тонким и ветвистым талломом в среднем более эффективно усваивать питательные вещества при их низких концентрациях в воде.

Для выявления возможной зависимости эффективности усвоения питательных веществ от температуры воды данные разных авторов для одного и того же вида растений осреднялись в узких диапазонах температур, после чего строились зависимости аффинности от температуры воды. Полученные графики различаются для разных видов – это восходящие, нисходящие, а также куполообразные кривые, указывающие на оптимальный для данного вида интервал температур.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ РАН по теме FNNN-2021-0005 «Прибрежные исследования».

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЗАПАСОВ
ПЛЯЖНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ
ГЕОРАДАРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ПЛЯЖЕЙ
ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ
КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА**

**С. А. Нуриев ✉, А. В. Багаев, С. В. Щербаченко,
В. Ф. Удовик, В. В. Никишин**

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

Ключевые слова: георадар, геофизика, объем песка, подповерхностное зондирование, ГИС.

Георадарный метод исследования – это геофизический метод, использующий радарные импульсы для получения изображения подповерхностного слоя земли. Это неинвазивный метод, который может быть использован для обнаружения и определения местоположения захороненных объектов, пустот и других особенностей подповерхностного слоя. В данной работе мы использовали результаты георадарного сканирования пляжей Западного Крыма, полученные в ходе экспедиций МГИ в 2022 г., для обработки методики оценки толщины слоев и расчета объемов песка.

Вычисление объема грунта с помощью георадара может быть выполнено путем измерения толщины подповерхностных слоев. Для этого данные георадара необходимо обработать и проанализировать с помощью специализированного программного обеспечения. Исходными данными для расчетов являются радарограммы, представляющие двумерные скалярные массивы, с данными об интенсивности отраженного сигнала в зависимости от расстояния вдоль разреза и от времени получения сигнала. Заданное значение диэлектрической проницаемости грунта позволяет рассчитать толщину однородных слоев и глубину их залегания (с определенной погрешностью). Протоколы шурфовки являются важным дополнением для уточнения вертикальных расстояний и описания материала слоев.

Интерпретация радарограмм выполняется на основе полевых протоколов и визуального представления характерных особенностей границы раздела слоев. После измерения глубины и толщины подповерхностных объектов можно рассчитать объем песка. Это делается путем переноса пространственных данных в ГИС QGIS, интерполяции в пределах полигона, ограничивающего пляж методом обратных взвешенных расстояний (IDW), и численного интегрирования по площади полигона.

Предлагаемый метод интерпретации данных был использован для предварительных расчетов запасов песка на пляжах г. Евпатории и г. Севастополя. Полученные оценки могут быть использованы для мониторинга межгодовых изменений мощности слоев песка, а также для прогнозирования последствий антропогенного вмешательства в процессы перемещения наносов в береговой зоне.

Данные собраны и проанализированы в ходе экспедиций отдела гидрофизики шельфа МГИ в рамках государственного задания по теме FNNN-2021-0005.

ОРГАНИЗАЦИЯ ОПЕРАТИВНОГО ПОЛУЧЕНИЯ И ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩЕЙ СИСТЕМЕ МОРСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

С. А. Нуриев¹, И. Н. Карцан^{1,2} ✉

¹ МГИ, Севастополь, Россия

² СибГУ, Красноярск, Россия

✉ kartsn2003@mail.ru

Ключевые слова: система спутниковой связи, дрейфующий буй, оперативность получения информации, агрессивная среда, морские измерения.

Оперативная океанография берет свое начало с 1980-х гг. и имеет целью формирование базы изменчивости основных параметров океана, таких как температура, течение, соленость воды

и др. Полученная база является калибровочной информацией для численного моделирования метеорологических прогнозов погоды. Оперативное получение изменчивости параметров приповерхностной атмосферы в океане и параметров в поверхностном слое морской среды существенно повышало вероятность «глубинного» (на 5–10 суток вперед) метеорологического прогноза погоды.

Первые попытки получения оперативной океанографической информации были предприняты со специализированных научных судов, получивших название «научно-исследовательские суда погоды» (НИСП). Информация с данных судов концентрировалась в наземном центре обработки данных и продукции Всемирной метеорологической организации (ВМО), способы передачи были организованы как через КВ связь, так и через спутниковую связь.

С появлением спутниковой связи был предложен вариант оперативной океанографии с использованием якорных буев, но для удешевления всей системы было принято решение использовать поверхностные дрейфующие буи.

В настоящее время в формировании глобальной наблюдательной сети на основе автономных дрейфующих буев для оперативного гидрометеорологического контроля океана и полярных регионов в России работают специалисты ООО «Марлин-Юг». Оперативность получения информации достигалась использованием спутниковой системы Argos или Iridium и в прибрежной зоне с использованием канала мобильной связи GSM (GPRS).

В складывающейся политической мировой обстановке стоит кардинальный вопрос об импортозамещении как технической части, так и программной, в том числе и уход от зарубежных сегментов связи.

Существует один оператор отечественной системы спутниковой связи, созданный по заказу Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос» – АО «Спутниковая система «Гонец», однако отсутствуют терминалы и антенные системы, пригодные для применения в автономных малогабаритных устройствах мониторинга морской среды.

Цель работы заключается в оценивании возможностей имеющихся отечественных систем передачи информации примени-

тельно к малогабаритным устройствам мониторинга окружающей среды, удовлетворяющим требованиям автономной долговременной работы в условиях воздействия агрессивной среды, в том числе и морской.

Научная новизна работы определяется тем, что будет предложен и теоретически обоснован (исследован) новый класс автономных устройств мониторинга окружающей среды, в том числе морской, отличающийся способом организации связи, что обеспечивает оперативность, надежность и при необходимости скрытность получаемой информации.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме FNNN-2021-0005.

ЭВОЛЮЦИЯ ЛАГУННЫХ БЕРЕГОВ ПЕЧОРСКОГО МОРЯ И БЮДЖЕТ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА

С. А. Огородов ✉, **П. В. Красильников**, **Л. А. Сергиенко**,
А. В. Баранская, **Н. Г. Белова**, **Г. А. Кажукало**, **А. В. Шишов**

МГУ, Москва, Россия
✉ ogorodov@geogr.msu.ru

Ключевые слова: береговые барьеры, лайды, органическое вещество почв, «голубой углерод».

В исследованиях, связанных с глобальными изменениями климата, существует направление, связанное с ролью океанов в мировом балансе углерода, а также направление, оценивающее связывание углерода климатически активных газов биомассой и почвенным органическим веществом наземных экосистем. В последние годы с точки зрения углеродного баланса изучаются и транзитные между морем и сушей береговые ландшафты. Так, одними из потенциально перспективных экосистем для секвестрации атмосферного углерода называют водно-болотные угодья соляных маршей приливных морей. В качестве примера обычно приводятся экосистемы чрезвычайно продуктивных

мангровых лесов. Действительно, на прибрежных маршах и осушках в условиях тропических морей скорость секвестрации органического углерода весьма высока. Гораздо менее изучены северные береговые экосистемы, в которых баланс углерода определяется не только биологической продуктивностью, но и привносом и выносом углерода в системе море – наземная экосистема. В частности, до сих пор недостаточно понятно, какова роль потерь органического углерода в связи с абразией берегов в холодно-умеренном и арктическом климате Белого, Печорского и Карского морей, где лайды и осушки занимают значительную часть протяженности береговой линии. Ответить на этот и другие смежные вопросы призван проект РНФ «Запасы и динамика „голубого углерода“ в береговой зоне морей западного сектора Российской Арктики», разрабатываемый под руководством члена-корреспондента РАН П. В. Красильникова.

Одним из объектов изучения в рамках обозначенного проекта РНФ выбраны лагунные экосистемы Печорского моря в пределах Варандейского берегового района. Лайды и осушки находятся здесь под защитой береговых барьеров, крупных аккумулятивных песчаных форм, образовавшихся в ходе голоценовой трансгрессии Мирового океана. На значительном протяжении береговой линии барьеры надстроены эоловым процессом, под воздействием которого образовался мощный дюнный пояс (авандюна), имеющий абсолютные отметки от 4 до 10 м, абс. Высота приливов и штормовых нагонов достигает 1,5–3,5 м, и на отдельных низких участках барьера с отметками в пределах 2–3 м, абс., волновой заплеск в период экстремальных штормовых нагонов преодолевает его вершину. Однако в большинстве случаев подъем уровня и затопление осушек и лайд происходит со стороны заливов-лагун, где на фоне чрезвычайно низких уклонов подводного берегового склона преобладают условия неволновой седиментации. В пределах осушки и лайды обычно можно выделить несколько высотных уровней с различным характером поверхности и составом растительных сообществ и, соответственно, условиями секвестрации органического углерода. Эти уровни соответствуют приливам и нагонам различной повторяемости и хорошо дешифрируются на спутниковых снимках. В процессе эволюции лагунных экосистем и накопления органического вещества на

лайдах сформировалась торфяная подушка мощностью от нескольких сантиметров до 1 м в зависимости от локальных условий и продолжительности процесса накопления органики. Эта торфяная подушка обычно вскрывается в основании авантюны, в подмываемых в результате волновой абразии уступах берегового барьера. Таким образом, бюджет органического углерода в лагунно-барьерных системах одновременно имеет и приходную, и расходную составляющие.

Работа выполнена при поддержке проекта РНФ № 23-67-10006.

ДИНАМИКА БЕРЕГОВ КАРСКОГО МОРЯ НА ФОНЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА И ЛЕДОВИТОСТИ

С. А. Огородов ✉, **Н. Н. Шабанова**, **Г. А. Кажукало**,
А. В. Новикова, **С. А. Мысленков**, **Н. Г. Белова**,
Д. М. Богатова

МГУ, Москва, Россия
✉ ogorodov@geogr.msu.ru

Ключевые слова: Карское море, берега, многолетнемерзлые грунты, гидрометеорологический потенциал термоабразии.

На значительной протяженности берега́ Карского моря сложены дисперсными льдистыми грунтами. Динамика таких берегов находится в тесной зависимости от термического и волно-энергетического факторов. Изменения климата, имевшие место за последние полвека, ознаменовались в регионе ростом суммы положительных температур, расширением продолжительности безледного периода, а также некоторым ускорением подъема уровня моря. Прогнозы динамики берегов, которые начали массово генерироваться на рубеже XX и XXI вв., говорили в пользу того, что на фоне роста гидрометеорологического форсинга произойдет катастрофическое ускорение разрушения арктических берегов и прежде всего берегов термоабразионного типа.

Анализ разновременных аэрокосмических материалов за последние 60 лет открытого для волнового воздействия репрезентативного участка побережья Западного Ямала от мыса Харасавэй до мыса Бурунный протяженностью 21 км, включающего как абразионные, так и аккумулятивные сегменты берега, показал, что несмотря на заметный рост суммарного волнового и термического воздействия, катастрофического, да и сколько либо существенного увеличения среднесуточных скоростей (0,5–1 м/год) отступления береговой линии не произошло. В то же время прямые мониторинговые наблюдения за динамикой берегов, ведущиеся лабораторией геоэкологии Севера географического факультета МГУ на ключевых участках нефтегазового освоения с начала 80-х гг. прошлого века, включая район Харасавэйского ГКМ, свидетельствуют, что межгодовая и внутрисезонная динамика береговой линии и берегового уступа имеет значительные отклонения от среднесуточных величин с максимумами (до 8 м за шторм), обусловленными экстремальными гидрометеорологическими событиями или локальным усилением техногенного воздействия.

Совместный анализ факторов, определивших эволюцию морского берега в пределах Харасавэйского участка, начиная с 1964 г., и морфодинамической реакции этого берега на указанные факторы позволил сделать некоторые предварительные выводы. Несмотря на более низкий гидрометеорологический потенциал термоабразии (интегральный показатель, учитывающий сумму положительных температур и объем волновой энергии, приходящей на внешнюю границу береговой зоны), высокие скорости отступления берегов в середине 70–80-х гг. прошлого века, сопоставимые с современными, были обусловлены началом активного освоения Харасавэйского ГКМ и многочисленными нарушениями литодинамического режима и температурного режима мерзлых пород в связи массовым изъятием наносов с пляжа и строительством подходного канала порта Харасавэй. С начала XXI в. на фоне потепления климата и снижения ледовитости и интенсификации факторов, определяющих интенсивность береговых процессов, произошло усиление метакронности термического и волнового воздействия, что привело к неполной реали-

зации потенциала термоабразии. Рост суммарной волновой энергии за безледный период компенсировался снижением повторяемости экстраординарных штормовых событий. В отсутствие волновой переработки и периодического удаления материала с подножия берегового уступа термоденудационный процесс замедляется.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 22-17-00097.

pCO₂ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ

Н. А. Орехова

МГИ, Севастополь, Россия
✉ natalia.orekhova@mhi-ras.ru

Ключевые слова: pCO₂, поверхностный слой вод, Черное море.

Мировой океан является одним из основных стоков углекислого газа – его воды содержат около 93 % всего углерода, поглощая до 25 % избыточного атмосферного углекислого газа (CO₂), поступающего с дополнительными источниками. Влияние различных физических, биогеохимических и биологических процессов определяет сезонную динамику парциального давления CO₂ (pCO₂) в поверхностных водах, что делает актуальной проблему исследования вклада различных факторов в динамику pCO₂.

В работе использованы данные прямых измерений pCO₂ в поверхностном слое вод Черного моря в 2015–2021 гг. в различные гидрологические сезоны – с апреля по декабрь.

За период исследований pCO₂ в поверхностном слое вод изменялось в широких пределах – от 324 до 570 мкатм при среднем значении 460 мкатм, таким образом, диапазон изменчивости pCO₂ составляет 25–30 % от среднего значения

Прослеживалась выраженная внутригодовая изменчивость – рост концентрации CO₂ с апреля и достижение максимальных значений в июле, и дальнейшее снижение pCO₂ с минимумом концентрации в декабре. В целом сезонный ход CO₂ в поверхностных водах характеризуется 30%-ным снижением pCO₂ от теплого к холодному периоду года с 500 до 358 мкатм.

По характеру изменчивости $p\text{CO}_2$, температуры, pH и концентрации хлорофилла *a* было предположено, что на динамику $p\text{CO}_2$ наибольшее влияние оказывает температурный фактор. Это обусловлено прежде всего тем, что, с одной стороны, увеличение температуры хоть и приводит к снижению растворимости CO_2 и, как результат, $p\text{CO}_2$, однако, с другой стороны, увеличение температуры способствует интенсификации биогеохимических процессов трансформации органического вещества – окисления органического вещества и продукции CO_2 , тем самым увеличивая $p\text{CO}_2$, что и наблюдается в летний период, либо смещая равновесие в сторону продукции карбонатов и изъятия CO_2 , что характерно для холодного периода.

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» и гранта № 169-15-2023-002 от 01.03.2023 Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

МНОГОМАСШТАБНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ФИЗИЧЕСКИХ, ХИМИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ТРОПИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ИНДИЙСКОГО ОКЕАНА

С. А. Пионтковский

СевГУ, Севастополь, Россия
✉ spiontkovski@mail.ru

Ключевые слова: Индийский океан, кинетическая энергия, мезомасштабные вихри, биолюминесценция, фитопланктон, зоопланктон, уловы тунцов.

Данные ныне действующей «Международной индоокеанской экспедиции-2» (в которой участвует и Россия), в совокупности с базами данных WOD-2018, WOA-13, NCEP/DOE, DAAC, OBIS, Copernod, JeDI, FishBase, Giovanni и FSU, использованы для анализа крупномасштабного и мезомасштабного распределения,

многолетней и сезонной изменчивости ключевых характеристик эпипелагиали: температуры, кинетической энергии, концентрации растворенного кислорода, интенсивности биолюминесценции, биомассы фитопланктона, зоопланктона и уловов мелких и крупных пелагических рыб (сардин и желтоперых тунцов) в тропической западной части Индийского океана. Приведены статистические оценки взаимосвязей физических, химических и биологических характеристик в 1958–2018 гг.

В частности, выявлено всесезонное существование заглубленного максимума биомассы биолюминесцирующего фитопланктона с доминированием *Noctiluca scintillans* (Macartney) Kofoid and Swezy, 1921, который формирует основу цветения в поверхностном слое в период зимнего и летнего муссонов.

Показано, что известный «Парадокс биомассы зоопланктона» (отсутствие ее сезонной изменчивости) поддерживается: 1) сезонной перестройкой размерной структуры, в которой доминирующие мелкоразмерные организмы замещаются малочисленными крупными; 2) существованием заглубленного максимума биомассы фитопланктона, обеспечивающего всесезонное питание зоопланктона; 3) сезонно-постоянным трофическим прессом хищников (мелких пелагических рыб-миктофид); 4) адвекцией вод с большой биомассой зоопланктона (с севера на юг).

Обсуждается экологическая роль мезомасштабных вихрей в формировании пространственной неоднородности поля биомассы фитопланктона, зоопланктона, биолюминесценции и вариабельности уловов пелагических рыб. Показано, что плотность упаковки вихревого поля (циклонических и антициклонических вихрей) является экологически значимым фактором, влияющим (положительно) на уловы желтоперых тунцов. С использованием климат-разрешающей модели SEAPODYM представлены прогнозы уловов к концу XXI в.

В многолетней изменчивости выявлено обострение вертикальных градиентов температуры и кислорода и (как следствие) компрессия биотопа эпипелагического сообщества. Показано, что глубина залегания критической (для пелагических рыб) концентрации растворенного кислорода переместилась со 140 м на 75 м (в 1960–2020 гг.).

Работа выполнена в рамках РНФ проекта № 23-24-00007.

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕННОСТИ МОРСКИМ МУСОРОМ ЧЕРНОГО МОРЯ

М. П. Погожева^{1,2✉}, Д. Гонзалес-Фернандес³,
И. П. Третьяк⁴, Ю. Котельникова⁴, Н. Мачидадзе^{5,6},
К. Биладшвили⁵, Г. Ханке⁷

¹ ГОИИ, Москва, Россия

² ИО РАН, Москва, Россия,

³ Университет Кадиз, г. Кадиз, Испания

⁴ Украинский центр экологии моря, Одесса, Украина

⁵ Тбилисский государственный университет имени Ивана Джавахишвили, Тбилиси, Грузия

⁶ Институт геологии Ал. Джанелидзе, Тбилиси, Грузия

⁷ ЕК Центр совместных исследований, Испра, Италия

✉ pogojeva_maria@mail.ru

Ключевые слова: морской мусор, загрязнение морей, Черное море, речной мусор, оценка экологического состояния.

В настоящее время загрязнение морским мусором, особенно состоящим из пластика, является одной из наиболее актуальных проблем антропогенного воздействия на морскую среду в глобальном масштабе [1]. По текущим оценкам количество пластика, поступающего с суши в морскую среду ежегодно, варьируется от 4,5 до 12,7 млн. т, еще 1,75 млн. т происходит из морских источников, таких как рыболовство, аквакультура (рыбоводство) и судоходство [2]. Макропластик (бутылки, пакеты и пр.) и микропластик (фрагменты и синтетические волокна размером менее 5 мм) [3] обнаруживаются во всех природных средах. В 2013–2020 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 [4], концентрации пляжного и плавающего мусора [5], а также микропластика в водной толще и в донных отложениях. Для регистрации данных о макромулоре использовалась международная методика, включающая визуальные наблюдения и регистрацию мусора с помощью специализированных мобильных приложений. Методика содержит единый перечень и классификацию наблюдаемого мусора, что упрощает процесс обработки и анализа данных и позволяет их сравнивать с данными подобного мониторинга в других районах. Полученные данные помогают получить представление о количестве плавающего мусора, проанализировать его состав по категориям и приблизительный размер. Наблюдения проводились силами предварительно обученных наблюдателей на специально выбранных репрезентативных пляжах, с мостов в устьях рек в течение года и во время проведения комплексных экспедиций на научных судах в море. Средняя концентрация пляжного мусора составила 652 шт/100 м (83 % пластик), средняя концентрация плавающего мусора составила 90,4 шт/км² (97 % пластик), а количество мусора, поступающего с водами рек, варьировало от 6 до 72 шт/час (84 % пластик). Микропластик в водной толще был обнаружен в 10 пробах из 14 и в 83 % проб донных отложений. Наибольшее содержание частиц микропластика было отмечено в северо-западной шельфовой части моря, средняя концентрация составила 107 шт/кг [6].

В настоящее время существенно недостает данных об оценке уровня загрязнения морским мусором в Черном море и путях его поступления, которые связаны в основном с отсутствием программ регулярного мониторинга морского мусора в странах Черного моря. В то же время это является глобальной экологической проблемой, которая угрожает морской фауне, прибрежным экосистемам, приморскому населению и развитию морской экономики, включая туристическую индустрию, рыболовство и судоходство. Это постоянно и быстро нарастающая проблема, которую необходимо должным образом решать с помощью целенаправленного сокращения производства пластиковых отходов, регулирования законодательства, усовершенствования системы обращения с отходами и сопутствующей инфраструктуры на местном, национальном и региональном уровнях.

Список литературы:

1. Kershaw P.J. Marine plastic debris and microplastics global lessons and research to inspire action and guide policy change. Nairobi: UNEP, 2016. 192 с.
2. Plastic waste inputs from land into the ocean / J. R. Jambeck [et al.] // *Science*. 2015. Vol. 347, iss. 6223. P. 768–771. doi:10.1126/science.1260352
3. Guidance on monitoring of marine litter in European seas / F. Galgani [et al.]. Ispra, Italy : Joint Research Centre, 2013. 126 p. doi:10.2788/99816
4. Anthropogenic litter input through rivers in the Black Sea / D. González-Fernández [et al.] // *Marine Litter in the Black Sea* / Eds. Ü. Aytan, M. Pogojeva, A. Simeonova. Istanbul, Turkey, 2020. P. 183–191. (Turkish Marine Research Foundation ; publication No. 56).
5. Floating marine macro litter in the Black Sea: Toward baselines for large scale assessment / D. González-Fernández [et al.] // *Environmental Pollution*. 2022. Vol. 309. 119816. doi:10.1016/j.envpol.2022.119816
6. Microplastics in the Black Sea sediments / Alessandra Cincinelli [et al.] // *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 760. 143898. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143898>

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА
ФИТОПЛАНКТОНА КАК БИОИНДИКАТОРА
СОСТОЯНИЯ МОРСКОЙ СРЕДЫ
СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ**

Т. Д. Ракитин

СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия
✉ tikhtrakitin13@gmail.com

Ключевые слова: MODIS-Aqua, космический мониторинг, Японское море, береговая зона, ландшафтно-биономическое районирование, морфоструктурные области и районы, фитопланктон, хлорофилл *a*.

Пространственно-временная динамика фитопланктона обусловлена экологическими условиями места обитания.

Пространственная область распространения планктонных морских водорослей ограничивается морфоструктурными особенностями ландшафта в береговой зоне Японского моря. Временная динамика фитопланктона коррелирует с месячным ходом температуры поверхности воды в течение года.

Морское пространство береговой зоны, где «цветут» микроводоросли, относится к крупным геоморфологическим структурам горной страны Сихотэ-Алинь и Западно-Сахалинскому хребту, которые формируют берега абразионного и аккумулятивного типа с продольным и поперечным подтипом. Морфоструктурное районирование опирается на принципы ландшафтно-биоэкономического районирования береговой зоны и шельфа, предложенные К. М. Петровым. Выделяются следующие морфоструктурные области и районы: I. Сихотэ-Алиньская (Южно-Приморский, Центрально-Приморский) с берегами поперечного и продольного подтипов; II. Островная Сахалинская область (Северный, Перешеек Поясок, Южный), где 1-й и 3-й районы с продольными осями складок, 2-й – с поперечным подтипом; III. Область берегов северной части Татарского пролива объединяет долину р. Амур и северные берега о. Сахалин. Нижнее течение реки Амур занимает широкую аккумулятивную равнину, в то время как побережье о. Сахалин, окаймляющее север Татарского пролива, представлено денудационно-аккумулятивной равниной.

Региональные гидрометеорологические характеристики Японского моря прямо связаны с активностью фитопланктона. В береговой зоне фитопланктон ярко реагирует на периодические и непериодические природные факторы, которые оказывают воздействие на морскую среду. К первым следует отнести: сезонные колебания температуры поверхности воды, вертикальную циркуляцию водных масс, ледовитость и соленость вод. Во второй категории находятся: мощные тайфуны, вызывающие повышение уровня воды и аномальные приливы – отливы с цунами, сопровождаемым вулканической деятельностью. Главным экологическим фактором, который влияет на активность фитопланктона, является температура.

Для определения временной динамики активности фитопланктона проводится сравнительный анализ значений данных об изменении хода температуры воды и динамики концентрации

хлорофилла *a*, полученных с MODIS-Aqua за 10 лет (2013–2022 гг.). Сравнительный анализ показал, что значения температуры коррелируют с динамикой фитопланктона в исследуемых районах Японского моря, и значения характеристик могут различаться в разные месяцы и в разных районах. Аномальные скачки хлорофилла *a*, возможно, имеют фактор сопряжения со стихийными явлениями.

МОНИТОРИНГ САКСКОГО СОЛЕНОГО ОЗЕРА: ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

И. И. Руднева¹, П. В. Гайский¹, О. В. Шайда¹,
В. Г. Шайда²✉

¹ МГИ, Севастополь, Россия

² ООО Экосервис А, Москва, Россия

✉ svg-41@mail.ru

Ключевые слова: сезонные изменения, соленое озеро, антропогенное влияние, парниковые газы, гидрохимические параметры, температура.

На Крымском полуострове расположено 45 гиперсоленых озер, которые различаются по своему генезису и физико-химическим характеристикам рапы. Приморские соленые озера 6500–7000 лет назад были частью Черного моря, но затем в результате геологических процессов отделились от него посредством песчаных барьеров. Они обладают ценными гидроминеральными и биологическими ресурсами, благодаря чему активно используются в хозяйственной деятельности, которая иногда приводит к негативным последствиям для этих экосистем. Мониторинг Сакского соленого озера позволил установить с помощью специальных датчиков сезонные флуктуации CO₂ и CH₄ на границе раздела вода – воздух, а также изменения гидрохимических параметров. С увеличением температуры воздуха и рапы в летний период до +30 °С и выше происходил рост солености до 240 ‰, снижение

содержания кислорода, что неблагоприятно сказывалось на жизнедеятельности гидробионтов и, в частности, жаброногого рачка артемии, приводило к образованию гипо- и аноксических зон и гибели гидробионтов. Последующее разложение органического вещества ухудшало экологические условия в озере и нарушало основные механизмы функционирования. Мониторинг соленых озер важен для понимания механизмов функционирования экосистемы в условиях изменения климата и нарастающей антропогенной нагрузки.

РЕКРЕАЦИЯ В КРЫМУ И СЕВЕРНОМ ПРИАЗОВЬЕ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

А. Ю. Санин

ГОИИ, Москва, Россия
✉ *eather86@mail.ru*

Ключевые слова: Крым, Северное Приазовье, туризм, виды туризма, рекреационный потенциал.

Крым и Северное Приазовье объединяют сложившиеся за последние два с половиной столетия хозяйственные связи, а также тот факт, что одной из специализаций регионов (особенно прибрежных населенных пунктов) является рекреация. В свою очередь, регионы характеризуются если не полностью одинаковыми (к примеру, горнолыжный туризм возможен лишь в Крыму), то весьма сходными перечнями видов туризма, развитых в настоящее время и потенциально возможных. К ним относятся, прежде всего, наиболее популярная среди туристов пляжно-купальная рекреация, экскурсионный туризм, бальнеологический туризм (использование лечебных грязей, крупнейшие центры Саки в Крыму и Бердянск в Северном Приазовье), в перспективе – сельский, экологический, событийный и спортивный туризм.

Обстановка в регионах в настоящее время в значительной степени сдерживает развитие туризма, особенно в Северном Приазовье, что оказывает негативное влияние на местную экономику,

особенно для прибрежных населенных пунктов; для них это один из факторов, способствующий оттоку населения.

Автором разработана методика оценки рекреационного потенциала прибрежных территорий, которая была применена для Федосии, Фороса (Большая Ялта), пос. Стерегущее; планируется ее применение для других туристических центров Крыма и Приазовья для выявления тех из них, которые наиболее перспективны для рекреационного развития (дополнительно автор использует SWOT-анализ). Результаты оценки логично учитывать при планировании перераспределения туристических потоков в пространстве и времени, для чего, в свою очередь, часто необходимо выявлять новые виды туризма, для развития которых есть предпосылки. Перераспределение рекреантов во многом случаях представляется необходимым для вовлечения в рекреационную отрасль новых районов Крыма и Приазовья, что окажет позитивное влияние на экономику последних.


В настоящее время развитие Крыма и особенно Приазовья как туристического региона сдерживает снижение транспортной доступности региона, обеспокоенность потенциальных рекреантов происходящими событиями и ряд других факторов. Для Приазовья следует отметить также режим военного положения и комендантский час как его следствие, что может существенно снизить качество отдыха.


Несмотря на неопределенность будущего, уже в настоящем острой необходимостью является обеспечение максимального комфорта отдыхающих и, насколько это возможно, их безопасности. К возможным мерам для обеспечения этого относится субсидирование транспортных перевозок, в частности автобусных (например, между Донбассом, жители которого традиционно ездят на Азовское море на отдых и в настоящее время пребывают в сходной ситуации (обстрелы, комендантский час и т. д.), и туристическими центрами Северного Приазовья, а также расширенное информирование туристов о возможных угрозах их безопасности. Для Крыма в отсутствие авиасообщения имеет смысл также интенсификация в дополнение к автобусным железнодорожных и морских пассажирских перевозок.

На рекреационное использование прибрежных территорий в Крыму и Северном Приазовье, как и на эти регионы в целом, негативное влияние окажет разрушение плотины Каховской ГЭС

и обмеление Каховского водохранилища. В частности, это может отразиться на водоснабжении ряда населенных пунктов и привести к загрязнению морских вод. Однако система черноморских течений в некоторой мере «защищает» побережье Крыма, намного сильнее может пострадать прибрежная зона Николаевской и Одесской областей.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ И СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ РАСТВОРЕННОГО КИСЛОРОДА В ЧЕРНОМ МОРЕ НА ОСНОВНЫХ ИЗОПИКНИЧЕСКИХ ГОРИЗОНТАХ

С. В. Свищев , А. А. Кубряков

МГИ, Севастополь, Россия
 *sergsvishchev09@gmail.com*

Ключевые слова: кислород, сезонная изменчивость, пространственная изменчивость, изопикнические горизонты, Черное море, буи Био-Арго.

Растворенный в воде кислород – один из важных показателей, характеризующих пригодность водоема как среды для обитания различных организмов, но также как хозяйственно-сырьевого и рекреационно-туристического источника. Его содержание во многом определяет качество воды и интенсивность протекающих в водоеме процессов. Определяемая в воде концентрация кислорода является результирующей величиной, зависящей от комплекса разнонаправленных внутриводоемных процессов, протекающих как в толще воды, так и на границах раздела фаз.

Изучению пространственного распределения растворенного кислорода в Черном море посвящено относительно ограниченное количество работ, в которых рассматривается пространственное распределение по горизонтам глубины или по граничным горизонтам условной плотности между холодным промежуточным слоем (ХПС) и главным термоклином, субкислородной зоны (изопикны 15,4 и 15,90–16,25).

На настоящий момент в МГИ РАН накоплен большой массив измерений вертикального распределения кислорода, использовавшихся для исследования многолетней изменчивости концентрации кислорода в ряде монографий, где было показано, что зависимость между содержанием кислорода и глубиной существует лишь для глубин, не превышающих толщины деятельного слоя. Связь с горизонтом условной плотности, по последним оценкам, также не такая строгая в силу неконсервативного характера биогеохимической структуры вод моря и отсутствия установившегося динамического равновесия между ежегодным образованием кислорода и его поступлением из атмосферы, с одной стороны, и убылью в атмосферу и потреблением на окислительные процессы – с другой.

В последнее десятилетие в Черном море ведутся непрерывные измерения концентрации кислорода при помощи буев Био-Арго, позволяющих получить детальную информацию о ее временной изменчивости с высоким вертикальным разрешением (1 м). В настоящей работе по сводному массиву данных были построены сезонные пространственные карты содержания кислорода и его аномалии от среднегодового на различных горизонтах условной плотности.

Наблюдаются следующие пространственные и сезонные особенности распределения концентрации кислорода в Черном море, обусловленные синергетическим влиянием физических и биогеохимических процессов:

– для изопикн, меньших 13,8, минимумы содержания кислорода на северо-западном шельфе (в августе) и в западном круговороте (в октябре) близки, причем концентрация кислорода в них выше на 10–30 μM по сравнению с восточным круговоротом;

– для изопикн, больших 14,0, отвечающих холодному промежуточному слою и верхней границе главного термоклина, близки изменения в западном и восточном круговоротах, причем концентрация кислорода в них ниже на 15–50 μM по сравнению с шельфом, что объясняется затрудненностью проникновения поверхностных богатых кислородом вод сквозь плотностной барьер в более глубокие изопикнические слои;

– отмечается минимум кислорода в юго-западной части Черного моря в летне-осенний период. Этот минимум вероятно связан

с распространением распресненных вод Дунайского шельфа, богатых биогенными веществами и органическим веществом, под влиянием Основного Черноморского течения в сторону Босфора и побережья Турции. При этом со временем процессы потребления кислорода на деструкцию органического вещества начинают преобладать над процессами продукции и приводят к уменьшению содержания растворенного кислорода в слое от изопикны 14,2 до изопикны 15,7.

ПОТОКИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$ В ЧЕРНОМ МОРЕ

Е. В. Слизченко ¹✉, В. А. Разина ¹, Ю. Г. Шибецкая ¹,
Н. А. Бежин ^{1,2}

¹ МГИ, Севастополь, Россия

² СевГУ, Севастополь, Россия

✉ evgeniy774@gmail.com

Ключевые слова: ^{210}Po , ^{210}Pb , дефицит полония, поток органического углерода, осадительный метод, Черное море.

Радионуклиды ^{210}Po ($T_{1/2} = 138,4$ года) и ^{210}Pb ($T_{1/2} = 22,3$ года) являются частью цепочки распада ^{238}U . ^{210}Pb образуется в результате распада ^{226}Ra ($T_{1/2} = 1601$ год), через короткоживущие радионуклиды, период полураспада которых составляет менее 30 минут (^{222}Rn , ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Po), в то время как ^{210}Po образуется в результате распада ^{210}Pb через ^{210}Bi ($T_{1/2} = 5,0$ д).

В морской воде ^{210}Pb и ^{210}Po активно адсорбируются на поверхности частиц, в то время как ^{210}Po накапливается в тканях живых организмов. Различия в удельной активности между ^{210}Po и ^{210}Pb в толще вод могут быть использованы для количественной оценки скорости обмена растворенных веществ и их потоков со взвешенным веществом во временном масштабе месяцев (^{210}Po) и десятилетий (^{210}Pb) в отличие от другой классической радионуклидной пары $^{238}\text{U}/^{234}\text{Th}$, позволяющей получать информацию

о потоках органического вещества в коротком временном масштабе (2–3 недели). Показатели неравновесия $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$ могут быть применены для понимания биогеохимических циклов других микроэлементов, которые демонстрируют аналогичное биоактивное и химически активное взаимодействие со взвесью.

Среди наиболее распространенного применения таких трассеров является использование неравновесия $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$ для оценки скорости осаждения взвешенных частиц и скорости перемешивания водных масс, а в последнее время неравновесие $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$ используется для оценки потока взвешенного органического углерода из поверхностного слоя в толщу вод.

Известно, что в Черном море ранее концентрация ^{210}Pb в растворенной форме и во взвешенном веществе не определялась, нет данных по потокам и распределению $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$.

Поэтому в настоящей работе в ходе второго этапа 125-го рейса НИС «Профессор Водяницкий» в декабре 2022 г. были отобраны пробы для определения концентраций ^{210}Pb и ^{210}Po в растворенной и взвешенной форме. Для определения взвешенных ^{210}Pb и ^{210}Po объем пробы, прокачанный через префильтр, составлял 1000 л морской воды. Концентрирование растворенных ^{210}Pb и ^{210}Po было выполнено с использованием уникальной осадительной методики, которая включает радиохимическую подготовку с последующим электрохимическим осаждением ^{210}Pb (^{210}Bi) и ^{210}Po и позволяет определять концентрацию растворенного ^{210}Pb и ^{210}Po буквально в 20 л морской воды, что существенно упрощает пробоотбор и дальнейшее решение океанологической задачи – оценки потока взвешенного органического углерода. По полученным данным с использованием стационарной модели впервые для Черного моря были определены потоки взвешенного ^{210}Po , из которых были определены количественные параметры седиментации взвешенного вещества.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема «Океанологические процессы» № FNNN-2021-0004).

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ГОЛОЛЕДА НА РОССИЙСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ БАРЕНЦЕВА МОРЯ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

Г. В. Суркова ✉, А. И. Лаврентьева

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

Ключевые слова: гололед, изменение климата, синоптика, Баренцево море.

За последнее время заметно усилилось внимание общества к изучению и прогнозированию опасных метеорологических явлений (ОЯ) в холодный период года. В ходе работы рассмотрено такое явление, как гололед.

Гололед – один из самых опасных видов обледенения на поверхности земли и различных объектов; он наносит урон топливно-энергетическому комплексу, транспортной сети, затрудняет работу служб ЖКХ, повышает травмоопасность для людей. Обледенение судов создает значительные риски для судоходства.

В работе представлены результаты исследования повторяемости гололедных явлений и оценки их временных трендов в российской части побережья Баренцева моря в условиях меняющегося климата. В ходе работы изучались основные причины формирования и распределения гололеда на севере европейской территории России с опорой на данные измерений метеорологических станций (3-часовые) и синоптическую ситуацию в изучаемом районе. Определены пространственные и временные изменения комплекса метеорологических условий у поверхности земли, способствующих образованию гололеда. Изучены и проанализированы изменения повторяемости и интенсивности опасного явления во времени в период 1986–2022 гг.

При анализе повторяемости гололеда было получено, что для исследуемой территории характерны три максимума, расположенных в меридиональном направлении. Их наличие объясняется, предположительно, особенностями орографии территории и синоптическими процессами.

По результатам исследования временных изменений повторяемости гололеда показано, что для западных районов Мурманской области и Республики Карелия, где образование гололеда проявляется нечасто относительно всей изучаемой территории, в течение года наблюдается положительный тренд числа срочных наблюдений, во время которых были зафиксированы гололедные отложения.

Получено, что наибольшие изменения повторяемости срочных наблюдений, во время которых были зафиксированы гололедные отложения, проявляются в переходные сезоны года. В весенний период на большей части исследуемой территории происходит увеличение повторяемости таких наблюдений, а в осенний распределение случаев носит более сложный характер: неоднородное распределение по изучаемой области. На территории Кольского полуострова наблюдается положительная динамика, а отрицательная – для района о. Вайгач (станция им. Е. К. Федорова, Ненецкий автономный округ). В зимний период года изменения относительно невелики для всей исследуемой территории.

**НАУКА О МОРЯХ И ОКЕАНАХ:
ОТ ШЛЮПОК И ПАРУСНИКОВ ДО ФЛАГМАНА
НАУЧНОГО СУДНА «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ
КЕЛДЫШ», АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ДЗЗ
И «ЦИФРОВИЗАЦИИ». СТРАТЕГИИ И ПРИОРИТЕТЫ**

Т. А. Сушкевич

ИПМ РАН, Москва, Россия

✉ *tamaras@keldysh.ru*

Ключевые слова: история знаний, моря и океаны, Академия наук, М. В. Келдыш, стратегии и приоритеты.

240-летию со дня рождения города Севастополя («священный город» на греческом языке) – единственного дважды Героя – и основания Черноморского флота посвящается.

2022–2023 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 обязательном 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 и революции 1917 г. спасение и ускоренное развитие науки и образования возглавили академики: Владимир Иванович Вернадский (12.03.1863–06.01.1945), геолог, минералог, кристаллограф, геохимик, историк науки; Александр Петрович Карпинский (07.01.1847–15.07.1936), геолог, первый избранный президент РАН (15.05.1917–27.07.1925) и первый президент АН СССР (27.07.1925–15.07.1936); математик Владимир Андреевич Стеклов (09.01.1864–30.05.1926); первый народный комиссар просвещения (1917–1929) Анатолий Ва-

ильевич Луначарский (23.11.1875–26.12.1933), писатель, литературовед, драматург, поэт, искусствовед, переводчик (знал семь европейских языков), публицист. Во время Первой мировой войны в 1915 г. В. И. Вернадский выступил в качестве учредителя и председателя Комиссии по изучению естественных производительных сил (КЕПС), которую поддержал А. П. Карпинский, что помогло с топливом во время войны, а также позволило спасти Академию наук, науку, ученых после революций 1917 г. В. И. Вернадский в докладе на тему «Мысли о современном значении истории знаний», прочитанном на первом заседании Комиссии по истории знаний АН 14.11.1926, высказал много умных и полезных мыслей, актуальных и ныне. Важно помнить о преемственности в науке: «История науки является в такие моменты орудием достижения нового», говоря о переломных моментах или острых проблемах в истории государства.

В период обострения «холодной войны» после Великой Отечественной Войны 1941–1945 гг. с угрозами «ядерной войны» образцами высшего служения Родине стали советские лидеры – академики Академии наук СССР три русских гения – «Три К»: Мстислав Всеволодович Келдыш (10.02.1911–24.06.1978), единственный математик – трижды Герой Социалистического Труда (1956, 1961, 1971), главный теоретик космонавтики и главный математик, основатель первого в мире Института прикладной математики АН СССР в 1953 г., стоящий у истоков «цифровой цивилизации»; Сергей Павлович Королев (12.01.1907–14.01.1966) – главный конструктор космонавтики, дважды Герой Социалистического Труда (1956, 1961); Игорь Васильевич Курчатов (12.01.1903–07.02.1960) – «Отец русской атомной бомбы», трижды Герой Социалистического Труда (1949, 1951, 1954). Они возглавили три эпохальных проекта: «Атомный проект», «Космический проект», «Ракетно-ядерный щит» – и совершили научно-техническую революцию в СССР, и их имена навечно вошли в историю мировой цивилизации человечества, СССР и России. Эти академики – гордость великой Академии наук СССР и мировой науки! Эти герои и прежде всего М. В. Келдыш – лучший президент Академии наук (19.05.1961–19.05.1975) за всю ее почти 300-летнюю историю – подняли престиж науки и советских

ученых на такую недостижимую высоту, что АН СССР стала форпостом СССР в мире и СССР уважали во всем мире, а не только боялись! Это благодаря их научным подвигам и заслугам был обеспечен стратегический паритет двух политических систем и военных блоков во главе с СССР и США и более 75 лет нет глобальных мировых войн. СССР стал мировым лидером по атомной энергетике, атомному подводному флоту и атомным ледоколам.

И. В. Курчатов: «В любом деле важно определить приоритеты. Иначе второстепенное, хотя и нужное, отнимет все силы и не даст прийти до главного». Указ Президента от 31.03.2023 № 229 «Об утверждении Концепции внешней политики РФ» фактически является актуализацией приоритетных направлений, целей и задач внешнеполитической деятельности в новых условиях и вызовов для отечественной науки и развития постиндустриального технологического уклада. На государственном уровне приняты ключевые директивные документы: Указ Президента РФ от 01.12.2016 № 642 «О Стратегии научно-технологического развития (НТР до 2035 г.)»; Указ Президента РФ от 15.03.2021 № 143 «О мерах по повышению эффективности государственной научно-технической политики (до 2035 г.)»; Распоряжение Правительства РФ от 20.05.2023 № 1315-р «Концепция технологического развития до 2030 г.»; Распоряжение Правительства РФ от 30.08.2019 № 1930-р «Стратегия развития морской деятельности Российской Федерации до 2030 г.»; Указ Президента от 31.07.2022 г. № 512 «Об утверждении Морской доктрины Российской Федерации до 2030 г.»; Распоряжение Правительства РФ от 22.06.2015 № 1143-р «Об утверждении концепции федеральной целевой программы «Мировой океан» на 2016–2031 гг.»; Распоряжение Правительства РФ от 29.10.2022 № 3240-р «Об утверждении инновационного проекта «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ»; Постановление Правительства РФ от 14.02.2023 № 217 «Об утверждении правил предоставления в 2023-2024 годах грантов в форме субсидий из федерального бюджета федеральным государственным бюджетным учреждениям науки и федеральным государственным бюджетным учреждениям на выполнение научных исследований и работ в рамках реализации важнейшего инновационного проекта госу-

дарственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ», в котором назначены шесть головных организаций, в том числе ФГБУН Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН – разработка системы климатического и экологического мониторинга ключевых районов Мирового океана и морей РФ и региональных модельных систем, формирование ретроспективных анализов акваторий субполярной Северной Атлантики, северо-западной части Тихого океана и морей Российской Федерации. Принимаются меры по наращиванию космической группировки (РФ занимает пятое место, а во времена СССР была лидером).

Объявлены новые приоритеты НТР до 2030 г.: искусственный интеллект (ИИ), современные и перспективные сети мобильной связи, квантовые вычисления, квантовые коммуникации, новое индустриальное ПО, новое общесистемное ПО, системы накопления энергии, водородная энергетика, перспективные космические системы и сервисы, технологии новых материалов и веществ. К 2030 г. экономика должна обеспечивать производство высокотехнологичной продукции – чипов и другой микроэлектроники, высокоточных станков и робототехники, авиакосмической техники, телекоммуникационной техники, беспилотников, программного обеспечения. Необходимо обеспечить технологический суверенитет и безопасность страны с учетом угроз «надзорного капитализма» (Зубофф Шошана. Эпоха надзорного капитализма: битва за человеческое будущее на новых рубежах власти. М. : Издательство Института Гайдара, 2022. 781 с. / Пер. с англ.: Zuboff Shoshana. The Age of surveillance capitalism. New York: Public Affairs, 2019).

Государство Российское – сверхдержава на морях и океанах: морскому флоту, морскому делу и морской науке более 300 лет, начиная с реформ Петра Великого в начале XVIII 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).

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДНОЙ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ В КОНТЕКСТЕ РАЗВИТИЯ АКВАКУЛЬТУРЫ

В. М. Тарбаева

МОО «Природоохранный союз», Санкт-Петербург, Россия
✉ *tarbaeva@yandex.ru*

Ключевые слова: аквакультура, форелеводство, загрязнение, мониторинг, рыбохозяйственное обоснование.

В национальном проекте «Развитие агропромышленного комплекса» аквакультура занимает важнейшее место: значительные средства вкладываются в формирование инфраструктуры, связанной с товарным выращиванием ценных видов рыб. Развитие промышленной аквакультуры требует ее рассмотрения в аспекте водопользования бассейна вместе с речными системами различными отраслями.

Без решения проблемы загрязнения морей невозможно развитие марикультуры, а также, наоборот, развитие аквакультуры не должно негативно влиять на качество водной среды обитания.

В свете данной проблемы дана оценка воздействия садковых рыбоводных хозяйств на водные объекты. Выявлены основные факторы загрязнения водной среды при аквакультуре, при этом особое внимание уделено фосфору. Описан успешный опыт ограничения поступления фосфора в водоемы в результате аквакультурной деятельности в странах Европы, особенно в северной части, где водоемы наиболее уязвимы в отношении эвтрофикации.

Предложены пути решения, что необходимо сделать, чтобы рыбоводство развивалось и при этом не наносило вред окружающей среде. Обоснован вывод – для снижения биогенной нагрузки на водоемы необходимо совершенствовать технологии кормов для аквакультуры.

ОБНОВЛЕННЫЕ ДАННЫЕ О ДИНАМИКЕ КЛИФОВ НА УЧАСТКАХ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОГО КРЫМА

В. Ф. Удовик, А. В. Петроченко ✉

МГИ, Севастополь, Россия
✉ galaxys4441357@gmail.com

Ключевые слова: динамика клифов, береговая зона, Западный Крым, скорость отступления берега.

Получение достоверных данных о динамике пространственного положения верхней кромки клифов выступает основной задачей при расчетах средней и максимально возможной скорости отступления берегов. Решение данной задачи применительно к участкам побережья Западного Крыма является особенно актуальным в связи с существенным увеличением темпов освоения рекреационного потенциала данного региона и планами реализации масштабных проектов по застройке прибрежных территорий и осуществлению комплекса берегоукрепительных мероприятий.

Цель данной работы – актуализировать данные о динамике положения верхней кромки клифов на участках береговой зоны Западного Крыма с использованием современных ГИС-технологий при обработке результатов контактных инструментальных измерений и данных дистанционного зондирования.

На абразионных участках берегов скорости разрушения и отступления клифов являются основными параметрами при определении и прогнозе площадей безвозвратно теряемых территорий и объемов материала, поступающего в бюджет наносов литодинамической системы. Опубликованные в литературе оценки средней скорости разрушения клифов на побережье Западного Крыма зачастую существенно различаются для одних и тех же участков береговой зоны. Анализ публикаций показал, что во многих случаях краткосрочные и эпизодические измерения на незакрепленных створах либо фиксация единичных экстремальных значений в районах локальных оползней и обвалов интерпрети-

руются в качестве средних скоростей отступления берега на протяженных участках, что приводит к их существенному завышению.

Для актуализации и повышения достоверности оценок средней скорости отступления клифов на участках береговой зоны Западного Крыма использованы следующие данные:

– архивные и современные данные повторных измерений расстояния от реперных точек до кромки клифа на закрепленных створах с использованием геодезической измерительной ленты за период с 1980-х гг. до 2022 г.;

– результаты фиксации положения кромки клифа на опорных полигонах с использованием комплекта спутниковых приемников геодезического класса EFT M1 в режимах PPK (кинематика в постобработке) за период 2016–2017 гг. и RTK (кинематика в реальном времени) за период 2017–2023 гг., полученные в рамках мониторинговых работ МГИ РАН.

Дополнительно привлечены наборы спутниковых снимков, предоставляемых интернет-сервисом с открытым доступом «Google Планета Земля» за период 2004–2021 гг.

При постобработке данных в режиме PPK использованы программы EFT Post Processing, Trimble Business Center и AutoCad. Получены точные координаты реперных точек на закрепленных измерительных створах в системе координат WGS-84. На основе ГИС-технологий реализована методика представления и взаимного преобразования данных в линейные и сферические (WGS-84) координаты. В результате получены длительные ряды наблюдений, включающие высокоточные данные контактных измерений и результаты обработки спутниковых снимков с координатной привязкой по контрольным точкам. В качестве примера приводится алгоритм использования данной методики для исследования динамики клифов и расчета средних скоростей отступления берега на участках побережья Западного Крыма в районах пгт Николаевка и с. Береговое. Работа выполнена в рамках темы FNNN-2021-0005.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФОТОСИНТЕЗА ОСНОВНЫХ ВИДОВ МАКРОФИТОВ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ КРЫМА

Т. А. Филиппова [✉], Е. Ф. Васечкина

МГИ, Севастополь, Россия

[✉] *filippovata@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: удельная скорость фотосинтеза, темновое дыхание, цистозира, ульва, кладофора, вертебрата, энтероморфа, зостера.

Процесс фотосинтеза морских макроводорослей и трав является основным источником кислорода в прибрежной зоне. Функционально скорость фотосинтеза можно описать при помощи фотосинтетической кривой (P_I-кривой), определяющей зависимость скорости фотосинтеза от освещенности. Основными параметрами P_I-кривой являются: максимальная скорость фотосинтеза, начальный наклон фотосинтетической кривой, величина темнового дыхания, насыщающее значение освещенности. В литературе отсутствуют натурные данные параметров P_I-кривой для макрофитов крымского побережья. Цель настоящей работы заключалась в экспериментальном определении указанных параметров для основных макрофитов, характерных для прибрежной зоны Крыма.

Объектами исследования были выбраны пять видов макроводорослей: цистозира, ульва, кладофора, вертебрата и энтероморфа – и морская трава – зостера, собранные на пляже «Парк Победы» и «Серебряный» (Севастополь) в июле – августе 2022 г. Эксперименты проводились при температуре 25–26 °С в морской воде с соленостью S = 18 ‰. Скорость выделения кислорода в процессе фотосинтеза оценивали по изменению концентрации O₂ в морской воде при изменении освещенности от 0 до 15000 лм, которую обеспечивали пять светодиодных ламп, со световым потоком 3000 лм каждая.

Концентрацию кислорода, выделяемого макрофитами в процессе фотосинтеза, измеряли датчиком растворенного

кислорода в герметично закрытом стеклянном сосуде объемом 1 л, наполненном морской водой. Перемешивание воды в сосудах осуществляли при помощи магнитной мешалки. Во время каждого эксперимента образец макроводорослей выдерживали при постоянной интенсивности света до достижения постоянной скорости изменения содержания кислорода в воде в течение 10 минут. Измерения при каждом значении освещенности проводились с дискретностью 5 мин. Первое измерение проводили в полной темноте для оценки скорости дыхания макроводорослей. Для оценки отношения сухого веса к сырому проводились измерения массы трех образцов каждого вида, которые затем высушивались при температуре 75 °С в сушильном шкафу для определения сухого веса образцов.

Измерения удельной скорости фотосинтеза при различной интенсивности света интерполировались и экстраполировались с помощью РI-кривой. Используя это приближение, мы нашли указанные выше параметры фотосинтеза. Эти оценки были сопоставлены с литературными данными по аналогичным макрофитам, но поскольку мы не нашли данных по растениям, произрастающим в прибрежной зоне Черного моря, мы использовали для сравнения оценки, полученные для Средиземного и Балтийского морей. Для цистозиры, зостеры и вертебрата наши оценки были близки к опубликованным, а для ульвы, кладофоры и энтероморфы существенно различались, что, возможно, свидетельствует о том, что быстрорастущие зеленые водоросли с тонкой структурой тканей сильнее зависят от условий среды по сравнению с растениями, обладающими более жестким строением.

Полученные оценки были использованы в имитационной модели функционирования донных фитоценозов для уточнения влияния мутности воды и содержания биогенных элементов на рост донных растений в прибрежной зоне Крыма.

Работа выполнена в рамках темы FNNN-2021-0005.

ПОВЕРХНОСТНОЕ И ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЛГОЖИВУЩИХ ИЗОТОПОВ РАДИЯ В ЧЕРНОМ МОРЕ

Ю. Г. Шибецкая¹✉, О. Н. Козловская¹, В. А. Разина¹,
Д. А. Кременчуцкий¹, Н. А. Бежин^{1,2}

¹ МГИ, Севастополь, Россия

² СевГУ, Севастополь, Россия

✉ iuliia.shibetskaia@gmail.com

Ключевые слова: ^{226}Ra , ^{228}Ra , Черное море.

Природные радионуклиды давно применяются для исследования различных процессов в океане. Изотопы радия ^{226}Ra и ^{228}Ra , характеризующиеся длительным периодом полураспада, равным 1600 лет и 5,75 года соответственно, используют как трассеры для исследования процессов перемешивания (вертикального и горизонтального) в прибрежных и в глубоководных районах Мирового океана. С их помощью выявляют и идентифицируют источники пресных вод в морской среде, а также оценивают объем поступающих пресных вод и количество веществ (биогенные вещества, тяжелые металлы и др.), попадающих с ними в воды морей и океанов.

Экспедиционные работы для отбора проб в поверхностном слое Черного моря выполнялись в ходе 106-го (18 апреля – 13 мая 2019 г.), 116-го (22 апреля 2021 г. – 17 мая 2021 г.) и 121-го (19 апреля – 14 мая 2022 г.) рейсов НИС «Профессор Водяницкий». Повышенные величины содержания ^{228}Ra отмечаются в глубоководной части моря, пониженные – в прибрежной. Пространственная изменчивость содержания ^{226}Ra имеет более сложный характер по сравнению с ^{228}Ra . Так, повышенные и пониженные значения концентрации отмечаются как в прибрежных, так и в глубоководных районах моря. В центральной части моря содержание ^{228}Ra изменяется от 47,2 до 121,7 дпм/м³ и составляет в среднем $79,3 \pm 27,7$ дпм/м³, в то время как содержание ^{226}Ra варьируется в диапазоне от 59,2 до 86,8 дпм/м³ около среднего значения $72,1 \pm 8,9$ дпм/м³. Проанализировано влияние источников поступления пресных (субмаринная разгрузка, речной сток) или

распресненных вод (поступление вод из Азовского моря) на распределение обсуждаемых радионуклидов.

В ходе второго этапа 125-го рейса на НИС «Профессор Водяницкий» (2 декабря – 26 декабря 2022 г.) проводился отбор проб для получения вертикальных профилей активности изотопов радия. Вертикальное распределение активности ^{228}Ra отличается от распределения активности ^{226}Ra вследствие радиоактивного распада в более глубоком слое. Для Черного моря вертикальное распределение активности ^{228}Ra получено впервые.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема «Океанологические процессы» № FNNN-2021-0004).

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.

АтлантНИРО – Атлантическое отделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», г. Калининград.

БФУ – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта», г. Калининград.

ВНИРО – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», г. Москва.

ВСЕГЕИ – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского», г. Санкт-Петербург.

ГИН РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени Геологический институт Российской академии наук, г. Москва

ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова», г. Новороссийск.

ГОИН – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова», г. Москва.

ГТУ, г. Стамбул, Турция.

ДальНИИВХ – Дальневосточный филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», г. Владивосток.

ДФУ – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный федеральный университет», г. Владивосток.

Дальрыбвтуз – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет», г. Владивосток.

ЕК Центр совместных исследований, г. Испра.

ИВМ РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт вычислительной математики Российской академии наук», г. Москва.

ИВПС КарНЦ РАН – Институт водных проблем Севера Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр Карельский научный центр Российской академии наук», г. Петрозаводск.

ИКИ РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт космических исследований 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.

Институт геологии Ал. Джанелидзе, г. Тбилиси.

ИНОЗ РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт озероведения Российской академии наук», г. Санкт-Петербург.

Институт океанографии Вьетнамской академии наук и технологий, г. Нячанг, Вьетнам

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.

ИПМех РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского 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.

ИЭАНА – Институт экологии Академии наук Абхазии, г. Сухум, Республика Абхазия.

ЙТУ, г. Стамбул, Турция

КамчатНИРО – Камчатский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», г. Петропавловск-Камчатский.

МГИ – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН», г. Севастополь.

МГРИ-РГГРУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе», г. Москва.

МГУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», 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.

МОО «Природоохранный союз», г. Санкт-Петербург.

МФТИ – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», г. Долгопрудный, Россия.

МЦФПМ – Московский центр фундаментальной и прикладной математики, г. Москва.

Научно-технический центр Федеральной сетевой компании Единой энергетической системы, г. Москва.

НИУ МГСУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва.

НТУ Сириус, пгт Сириус.

ООО «Марлин-Юг», пгт Матвеев Курган.

ООО «Проектно-строительная компания «Перспектива», г. Сочи.

ООО Экосервис А, г. Москва.

РГГМУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург.

РГПУ им. А.И. Герцена – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена», г. Санкт-Петербург.

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.

Северо-Западный филиал ФГБУ «НПО «Тайфун», г. Санкт-Петербург.

СКОЛТЕХ, Сколково.

СибГУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск.

СПбГУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург.

Тбилисский государственный университет имени Ивано Джавахишвили, г. Тбилиси.

ТИНРО – Тихоокеанский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», г. Владивосток.

ТОИ ДВО РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук», г. Владивосток.

Украинский центр экологии моря, г. Одесса.

Университет Кадиз, г. Кадиз.

Университет Мельбурна, г. Виктория.

Филиал МГУ в г. Севастополе – Филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова в г. Севастополе, г. Севастополь

Херсонес Таврический – Федеральное государственное бюджетное учреждение культуры «Государственный историко-археологический музей-заповедник «Херсонес Таврический», г. Севастополь.

Центр научных исследований и разработок, г. Великий Новгород.

ИОНЦ РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук», г. Ростов-на-Дону.

ЮФУ – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет», г. Ростов-на-Дону.

Norwegian Institute for Water Research, Oslo.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Айдоган Б.	197
Аксенов А. О.	229
Александров С. А.	155
Алексеева О. И.	244
Алескерова А. А.	41
Андрулионис Н. Ю.	226
Анкудинов Н. О.	117
Антипов Н. Н.	118
Антоненков Д. А.	49, 275
Анциферова М. А.	227
Артамонов А. Ю.	50, 112
Артамонов Ю.В.	108, 173
Артамонова К. В.	52, 56
Архипкин В. С.	151
Атаджанова О. А.	54, 79
Аят Айдоган Б.	197
Бабич М. С.	56
Бабич С. А.	56
Багаев А. В.	129, 256, 286
Баклагин В. Н.	46
Бакунов Н. А.	229
Баранская А. В.	289
Батраков Г. Ф.	266
Башарин Д. В.	120
Баянкина Т. М.	199
Бежин Н. А.	305, 318
Безгин А. А.	102
Безгрешнов А. М.	91
Белова Н. Г.	289, 291
Белоконь А. Ю.	122
Березина А. В.	246
Берзова И. Г.	231
Билашвилли К.	296
Бирюкбаев Э. К.	123
Богатова Д. М.	291

Богуславский А. С.	231
Большиянов Д. Ю.	229
Бортин Н. Н.	238
Буданов Л. М.	242, 253
Букатов Андр. А.	232
Булатов В. В.	125
Булгаков К. Ю.	210
Бурдина Е. И.	234
Бусев В. В.	127
Буфетова М. В.	236
Валле А. А.	237
Вареник А. В.	278
Васечкина Е. Ф.	284, 316
Василевская Л. Н.	238
Василевский Д. Н.	238
Василенко Н. В.	128, 166
Вержевская Л. В.	129
Владимиров И. Ю.	125
Власова Г. А.	131
Гайко Л. А.	57
Гайский П. В.	59, 60, 77, 300
Гармашов А. В.	61
Гишпиус Ф. Н.	56
Глазунов В. В.	232
Головин П. Н.	133
Гонзалес-Фернандес Д.	296
Гордеева С. М.	64
Горин С. Л.	52
Гребнева Е. А.	240
Греков А. Н.	63
Греков Н. А.	63
Григоренко К. С.	43, 135
Григорьев А. В.	136
Григорьев А. Г.	242
Григорьев М. Н.	244
Гуров К. И.	246
Гурова Ю. С.	246, 276
Гусев А. В.	36

Давидович А. Р.	59, 60
Демешкин А. С.	248
Демидов А. Н.	56
Демьшев С. Г.	138, 144
Денисова А. П.	249
Дешова Д. В.	64
Дианский Н. А.	36
Долгушев Т. В.	65
Долотов В. В.	129
Дорофеев В. Л.	139, 141
Дорохова Е. В.	268
Дронь О. В.	242
Дулов В. А.	142
Дымова О. А.	138, 144, 146, 168
Евстигнеева Н. А.	144, 146
Елкин Д. Н.	68, 70
Еременко Е. А.	249
Ерёмина Е. С.	251
Ермаков А. В.	249
Ефимов В. В.	148, 224
Ефимова Н. Н.	232
Ефремов О. И.	113
Жамойда В. А.	253
Жук В. Р.	77
Жук Е. В.	39, 67, 255
Заболотских Е. В.	221
Завьялов Д. Д.	149
Завьялов И. Б.	226
Зацепин А. Г.	68, 70, 72
Зимин А. В.	74, 75, 79, 102
Зубов А. Г.	113
Ибраев Р. А.	106
Иванов Б. В.	91
Иванов В. В.	36, 203, 205
Иванчик А. М.	39
Ивлев М. О.	91
Ильин В. И.	151
Ильичева М. А.	125

Исаев А. В.	46
Кажукало Г. А.	289, 291
Казаков Д. А.	153
Казаков С. И.	231
Кальницкий Л. Ю.	106
Кальпа В. А.	256
Капустина М. В.	75
Картамышева Т. Б.	234
Карцан И. Н.	287
Касьяненко Т. Е.	219
Каталандзе М. Р.	259
Катлине Коблев А. Х.	164
Кауркин М. Н.	106
Кашин С. В.	118
Ключанцева А. П.	261
Клячкин С. В.	127
Коваль М. В.	52
Козлов И. Е.	54, 77, 80, 93, 98, 160, 180
Козловская О. Н.	318
Коломейцев В. В.	52
Кондратьев С. А.	46
Коник А. А.	54, 74, 79
Копышов И. О.	77, 80
Коржуев В. А.	113, 154
Кориненко А. Е.	81
Коробченкова К. Д.	155
Коровушкин А. И.	61
Коротаев Г. К.	39
Корчёмкина Е. Н.	83
Коршенко А. Н.	262
Котельникова Ю.	296
Котельянец Е. А.	264
Кочергин В. С.	157
Кочергин С. В.	157
Кохан А. В.	249
Краевская Н. Ю.	217
Красильников П. В.	289
Крашенинникова С. Б.	56, 219

Кременчуцкий Д. А.	266, 318
Круглова К. А.	79
Кубряков А. А.	41, 98, 128, 142, 158, 178, 191, 303
Кубряков А. И.	136, 158
Кудрявцев В. Н.	181, 216, 221, 222
Кузнецов А. С.	85
Кузнецов С. Ю.	197, 267
Кузьмин А. В.	160
Кузьмичёва Т. Ф.	161
Куликовский К. В.	100, 105
Куранов Д. Ю.	170
Лаврентьева А. И.	307
Лазоренко Д. И.	122, 129
Ласкина Д. Н.	268
Латушкин А. А.	87
Ле Динь Мау	131
Лемешко Е. Е.	163
Лемешко Е. М.	175, 211
Леонов И. И.	270
Ли Р. И.	83
Лис Н. А.	89
Лисина И. А.	238
Лишаев П. Н.	41
Лобашев А. А.	106
Лукашева Т. А.	261
Лунёв Е. Г.	102
Лысенко В. И.	271
Майборода С. А.	95
Макаров А. С.	229
Макаров К. Н.	123, 164
Малиновский В. В.	81
Маньковская Е. В.	97
Маркова Н. В.	67, 138
Марченко С. С.	131
Марчук Е. А.	91, 93, 112
Марюшкин Ю. А.	61
Матишов Г. Г.	43
Мачидадзе Н.	296

Медведев И. П.	77
Медведев Е. В.	273
Медведева А. В.	41, 128, 166
Метик-Дионова В. В.	95
Мизюк А. И.	39, 41
Миклашевская Н. А.	168
Миньковская Р. Я.	275
Михайличенко С. Ю.	170
Молчанов М. С.	118, 133
Мороз В. В.	171
Мороз Е. А.	249
Морозов А. Н.	97
Морозов Е. Г.	77
Мукосеев И. Н.	276
Мысленков С. А.	291
Мыслина М. А.	278
Навроцкий В. В.	279, 280
Наривончик С. В.	275, 282
Науменко И. П.	284
Нгуен Тхи Тхай Зунг	131
Никишин В. В.	286
Никольский Н. В.	173, 212
Новиков Б. А.	98
Новиков М. О.	246
Новикова А. В.	291
Новицкая В. П.	175
Нуриев С. А.	231, 286, 287
Огородов С. А.	289, 291
Орехова Н. А.	246, 273, 276, 293
Осадчиев А. А.	77, 93
Павленко О. И.	113
Павлов М. И.	113
Павлушин А. А.	176, 186
Павлушин В. А.	178
Панченко В. В.	232
Петренко Л. А.	180
Петроченко А. В.	314
Пиваев П. Д.	181, 222

Пионтковский С. А.	294
Планкина М. Б.	100, 105
Пластун Т. В.	219
Плотников Е. В.	77
Погожева М. П.	296
Погребной А. Е.	183
Подымов О. И.	72
Полозок А. А.	185
Пономарев В. И.	87
Посошков В. Л.	199
Правкин С. А.	229
Пузина О. С.	41, 186
Пятов И. М.	188
Разина В. А.	305, 318
Разувай Т. А.	202
Ракитин Т. Д.	298
Ратнер Ю. Б.	39, 189
Репина И. А.	45, 93, 112
Рождественский С. А.	226
Рубакина В. А.	191, 193
Руднева И. И.	300
Рудых Н. И.	101
Рябцев Ю. Н.	211
Рябчук Д. В.	253
Савчук О. П.	46
Садовский И. Н.	195
Салюк П. А.	87
Самодуров А. С.	153
Санин А. Ю.	301
Сапрыкина Я. В.	197, 267
Свергун Е. И.	102
Свищев С. В.	303
Селезень Я. Ю.	103
Сергеев А. Ю.	253
Сергиенко Л. А.	289
Сизов А. А.	199
Сильвестрова К. П.	77, 93
Симонова Ю. В.	193, 219

Скиба Е. В.	142
Скрипалева Е. А.	108, 173
Слепчук К. А.	201
Слепышев А. А.	117, 202
Слизченко Е. В.	305
Совга Е. Е.	251, 264
Соколихина Н. Н.	270
Соколов А. А.	203, 205
Соловьев Д. М.	77
Соломаха Т. А.	149
Станичная Р. Р.	219
Станичный С. В.	41, 128, 166, 191, 193, 251
Степанова Н. Б.	77, 93
Стерлядкин В. В.	105
Суркова Г. В.	307
Сухих Л. И.	139, 141
Сухонос П. А.	207
Сушкевич Т. А.	309
Сысоев А. А.	83
Сысоева И. В.	83
Сычев Е. Н.	63
Тарасевич Д. В.	278
Тарбаева В. М.	313
Тимохов Л. А.	89
Тлявлин А. Р.	209
Толокнов Ю. Н.	61
Толстошеев А. П.	102
Третьяк И. П.	296
Турко Н. А.	106
Удовик В. Ф.	129, 231, 286, 314
Ушаков К. В.	106
Федирко А. В.	108
Фёдоров А. В.	261
Филатов Н. Н.	46
Филиппова Т. А.	316
Фокина К. В.	210
Фомин В. В.	122
Фомина И. Н.	185

Фрей Д. И.	77
Фролова А. Д.	135
Хамицевич Н. В.	95, 231
Ханке Г.	296
Хмара Т. В.	201
Холод А. Л.	39, 189
Цыганова М. В.	211
Чаликов Д. В.	210
Чанцев В. Ю.	127
Чекулаев А. В.	242
Чепыженко А. А.	110
Чепыженко А. И.	110
Чернышова Е. Д.	212
Чернявская Е. А.	214
Чечин Д. Г.	45, 112
Чешм Сиахи В.	216
Чухарев А. М.	113
Шабанова Н. Н.	291
Шадт М. А.	202
Шайда О. В.	59, 60, 300
Шайда В. Г.	300
Шатилина Т. А.	171
Шевцова Е. А.	234
Шибецкая Ю. Г.	305, 318
Шик Н. В.	271
Шишов А. В.	289
Шокуров М. В.	217
Шокурова И. Г.	120, 212, 219
Штремель М. Н.	197
Шукало Д. М.	115
Шульга Т. Я.	115
Щербаченко С. В.	286
Юровская М. В.	216, 221, 222
Юровский А. В.	199
Юровский Ю. Ю.	222
Якушев Е. В.	246
Яровая Д. А.	148, 224

Научное издание

Моря России: от теории к практике океанологических исследований

Тезисы докладов

Всероссийской научной конференции

(Севастополь, 25–29 сентября 2023 г.)

Перевод *Н. А. Конопляниковой*

Дизайн обложки *О. В. Домниной*

Верстка *Н. Б. Мороз*

Подписано в печать 26.08.2023. Формат 60×84 1/6. Тираж 50 экз. Заказ 16.

Отпечатано в типографии СРОО «Дом солнца»
299020, Севастополь, ул. Хрусталева, 143, тел. +(8692) 65-60-11.