

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК



ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

МОРЯ РОССИИ:

ВЫЗОВЫ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ НАУКИ



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



Российская Академия Наук



Российская
Арктика



г. Севастополь
26–30 сентября 2022 года

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ
ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**МОРЯ РОССИИ:
ВЫЗОВЫ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ
НАУКИ**

(Севастополь, 26–30 сентября 2022 года)

Севастополь

2022

**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:
CHALLENGES OF THE
NATIONAL SCIENCE**

(Sevastopol, 26–30 September 2022)

PROCEEDINGS

Sevastopol

2022

УДК 551.46:061.3

М79

Моря России: вызовы отечественной науки
M79 = **The Seas of Russia: Challenges of the National Science** : тезисы докладов Всероссийской научной конференции, Севастополь, 26–30 сентября 2022 г. – Севастополь : ФГБУН ФИЦ МГИ, 2022. – 392 с. ; 21 см. – 160 экз. – ISBN 978-5-6043409-5-0. – Текст : непосредственный.
ISBN 978-5-6043409-5-0

В сборнике представлены тезисы докладов Всероссийской научной конференции «Моря России: вызовы отечественной науки». 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 динамики морских экосистем; методы и средства защиты морской среды и обеспечения рационального природопользования; проблемы планирования развития береговой зоны моря.

УДК 551.46:061.3

Редколлегия:

чл.-корр. РАН, д. г. н. *С. К. Коновалов*,
д. г. н. *Е. Ф. Васечкина*, д. г. н. *Ю. Н. Горячкин*,
д. ф.-м. н. *А. И. Кубряков*, к. ф.-м. н. *Д. В. Алексеев*,
к. ф.-м. н. *О. А. Дымова*, 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.

Информационными партнерами конференции являются Музей Мирового океана и научный журнал «Российская Арктика».

ISBN 978-5-6043409-5-0

© Коллектив авторов, 2022

© ФГБУН ФИЦ МГИ, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

<i>Бондур В. Г., Дулов В. А., Козуб В. А., Мурынин А. Б., Юровская М. В., Юровский Ю. Ю.</i> Развитие и валидация метода восстановления спектров морского волнения по спектрам космических изображений.....	41
<i>Григорьев М. Н., Максимов Г. Т.</i> Особенности динамики морских берегов в устьевой области реки Лены.....	42
<i>Дианский Н. А., Жмур В. В., Гусев А. В.</i> Исследование самоорганизации фронта Гольфстрима с помощью численных и аналитических методов.....	44
<i>Долгих Г. И.</i> Возбуждение геосферных волн, вызванных взрывом вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай.....	45
<i>Жмур В. В., Белоненко Т. В., Новоселова Н. В., Суетин Б. С., Арутюнян Д. А.</i> Вытягивание мезомасштабных вихрей океана в субмезомасштабные вихревые нити как способ передачи энергии по каскаду размеров. Проявление свойств отрицательной вязкости при вытягивании вихрей.....	47
<i>Зацепин А. Г., Герасимов В. В., Островский А. Г.</i> Турбулентный массообмен в стратифицированной жидкости и условия ее тонкоструктурного расслоения.....	49
<i>Матишов Г. Г.</i> Исследования палеоклимата, современных физико-географических и радиоэкологических процессов южных морей России.....	51
<i>Ретина И. А.</i> Исследование газообмена над водной поверхностью, вклад водных объектов в глобальный углеродный цикл.....	53

СЕКЦИЯ 1
ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ И ЭВОЛЮЦИИ
МОРСКОЙ СРЕДЫ: ОТ ИССЛЕДОВАНИЯ
К ПРОГНОЗУ

<i>Артамонов А. Ю., Ретина И. А., Чечин Д. Г.</i> Исследование процессов взаимодействия атмосферы и океана в Баренцевом море и Северной Атлантике.....	55
<i>Ахтямова А. Ф., Травкин В. С.</i> Исследование фронтальных зон Норвежского моря	57
<i>Багатинская В. В., Дианский Н. А., Гусев А. В., Морозов Е. Г., Багатинский В. А.</i> Геострофическая и ветровая составляющие Антарктического циркумполярного течения	59
<i>Багатинский В. А., Дианский Н. А.</i> Вклады климатических изменений температуры и солености в формирование трендов термохалинной циркуляции Северной Атлантики в 1951–2017 годы.....	60
<i>Башарин Д. В., Шокурова И. Г.</i> Связь событий блокирования в атмосфере с устойчивыми ветрами зимой над регионом Черного моря	61
<i>Баимачников И. Л., Голубкин П. А., Козлов И. Е.</i> Перенос тепла мезомасштабными вихрями в Северо-Европейском бассейне	63
<i>Букатов Ант. А.</i> Скорости движения частиц жидкости под плавающим упругим льдом при нелинейном взаимодействии прогрессивных поверхностных волн.....	65
<i>Букатов Ант. А., Павленко Е. А., Соловей Н. М.</i> Влияние речного стока на плотностную стратификацию вод в морях Баренцевом, Карском, Лаптевых, Восточно-Сибирском	67
<i>Булатов В. В.</i> Генерация внутренних гравитационных волн в океане при набегании сдвигового течения на подводное препятствие	68
<i>Гайко Л. А.</i> Температурные экстремумы июля в прибрежной зоне Приморского края за 90 лет (Японское море, Татарский пролив)	70

<i>Годецкий С. В., Кузнецова О. А., Кокин О. В., Цвечинский А. С.</i> Анализ пределов прочности льда на одноосное сжатие в западной части Охотского моря по данным полевых измерений и расчетов	72
<i>Гусаров Р. Н., Кантаржи И. Г.</i> Теоретические и практические исследования волн цунами.....	73
<i>Даньшина А. В.</i> Результаты валидации региональной конфигурации модели NEMO для исследований климатических изменений в структуре вод Северного Ледовитого океана	74
<i>Демышев С. Г., Дымова О. А., Миклашевская Н. А.</i> Анализ изменчивости доступной потенциальной энергии и работы силы плавучести в верхнем 300-метровом слое Черного моря по данным моделирования.....	76
<i>Дорофеев В. Л., Сухих Л. И.</i> Численные эксперименты по изучению влияния различных источников биогенов на межгодовую изменчивость экосистемы Черного моря	78
<i>Дрозд И. Д., Репина И. А., Салюк П. А., Морозов Е. Г.</i> Сравнение характеристик теплообмена между океаном и атмосферой в море Уедделла по данным реанализов и натурных измерений	79
<i>Евстигнеева Н. А., Демышев С. Г.</i> Расчет энергетических характеристик циркуляции Черного моря на основе гидродинамической модели с учетом данных гидрологических съемок 2016 года	81
<i>Егорова Е. С., Миронов Е. У.</i> Формирование возрастного состава льдов в юго-восточной части Баренцева моря в зимний период	83
<i>Ершова А. А., Дымент Л. Н., Порубаев В. С.</i> Прогнозирование преобладающей ориентации разрывов в море Лаптевых	85
<i>Зимин А. В., Свергун Е. И., Романенков Д. А.</i> Короткопериодные внутренние волны в шельфовых регионах с интенсивной приливной динамикой.....	87
<i>Каледина А. С., Башмачников И. Л.</i> Механизмы возникновения плотностных инверсий в Гренландском море	88

<i>Кокоулина М. В., Куркина О. Е., Куркин А. А.</i> Расчет пучков внутренних волн, возбуждаемых баротропным приливом в зоне морского шельфа	90
<i>Коник А. А., Зимин А. В.</i> Многолетняя фронтальная и вихревая динамика Баренцева и Карского морей	92
<i>Корженовская А. И., Медведев И. П., Архипкин В. С.</i> Приливные колебания в Азовском море	94
<i>Корженовская А. И., Медведев И. П., Архипкин В. С.</i> Сейшевые колебания уровня Азовского моря: наблюдения и численное моделирование	95
<i>Королёв Ю. П.</i> Ретроспективный прогноз перуанского 2007 года, чилийских 2010, 2014 и 2015 годов цунами с помощью экспресс-метода краткосрочного прогноза цунами	97
<i>Королёв Ю. П., Королев П. Ю.</i> Оперативный прогноз локальных цунами по данным ближайших к очагам глубоководных станций измерения уровня океана	99
<i>Кочергин В. С., Кочергин С. В.</i> Вариационная идентификация начального поля концентрации ^{137}Cs в Черном море после чернобыльской аварии	100
<i>Кубряков А. А., Мизюк А. И., Станичный С. В.</i> О причинах стационарирования и отрыва севастопольских вихрей ..	103
<i>Кузнецова Д. А., Башмачников И. Л.</i> Механизм долгопериодной изменчивости Атлантической меридиональной океанической циркуляции	105
<i>Куркин А. А., Калинина Н. В., Грамузов Е. М.</i> Теоретико-экспериментальные исследования ледовой ходкости судов	106
<i>Куркина О. Е., Рувинская Е. А., Кузнецов П. Д., Куркин А. А.</i> Динамика внутренних приливных и короткопериодных волн в шельфовой зоне о. Сахалин	108
<i>Латонин М. М., Башмачников И. Л., Бобылев Л. П.</i> Связь низкочастотной изменчивости регионального арктического усиления с механизмом компенсации Бьеркнеса	110

<i>Лис Н. А., Тимохов Л. А.</i> Статистические модели климатической изменчивости поверхностной температуры воды и ледовитости отдельных районов Баренцева моря	111
<i>Манилюк Ю. В., Лазоренко Д. И., Фомин Вл. Вл.</i> Моделирование экстремальных мод сейш в Севастопольской бухте	112
<i>Маркова Н. В., Довгая С. В.</i> Особенности циркуляции вод Эгейского и Мраморного морей	114
<i>Маркова Н. В., Дымова О. А.</i> Исследование формирования глубоководного противотечения в северо-восточной части Черного моря осенью 2016 года	116
<i>Медведев И. П.</i> Цунами в Мировом океане, вызванное извержением вулкана Тонга в 2022 году	118
<i>Метик-Дионова В. В., Лемешко Е. М., Майборода С. А.</i> Анализ повторяемости и синоптических условий образования крымской боры	119
<i>Михайличенко С. Ю., Куранов Д. Ю.</i> Математическое моделирование трансформации и наката ветровых волн на западное побережье Крыма с учетом различных типов берегозащитных сооружений	120
<i>Никольский Н. В., Артамонов Ю. В., Скрипалева Е. А.</i> Внутригодовая изменчивость характеристик субантарктического фронта в Юго-Западной Атлантике	121
<i>Никольский Н. В., Артамонов Ю. В., Скрипалева Е. А.</i> Климатическая внутригодовая изменчивость характеристик водных масс в районе котловины Поуэлл по данным океанического реанализа ECMWF ORA-S5	124
<i>Новоселова Е. В., Белоненко Т. В., Жмур В. В.</i> Сравнительный анализ распределения частоты Вьяйсяля – Брента в циклонах и антициклонах	126
<i>Осадчиев А. А.</i> Малые речные пюмы в Черном море	127
<i>Пиваев П. Д., Кудрявцев В. Н., Реул Н., Шапрон Б.</i> Интерпретация термического и халинного откликов верхнего слоя океана на прохождение тропических циклонов по данным наблюдений и моделирования	128

<i>Пузина О. С., Мизюк А. И.</i> Течения вод Азовского моря на основе результатов численного моделирования с использованием криволинейной вертикальной сетки	130
<i>Рычкова П. М., Гордеева С. М.</i> Оценка климатических изменений интенсивности ветрового волнения в восточной части Финского залива.....	132
<i>Санников В. Ф.</i> Резонансная генерация длинных внутренних волн в стратифицированных потоках.....	134
<i>Свергун Е. И., Зимин А. В., Софьина Е. В.</i> Внутригодовая изменчивость поверхностных проявлений внутренних волн в Баренцевом море и Курило-Камчатском регионе	135
<i>Себин А. С., Двойченко Ю. А., Куркин А. А.</i> О применении малых ледовых опытовых бассейнов в ледокольных исследованиях.....	137
<i>Серебренников А. Н.</i> Особенности геострофического переноса, действующего в области апвеллинга	139
<i>Сизов А. А., Баянкина Т. М., Посошков В. Л.</i> Циклические процессы в изменчивости термобарического поля Атлантико-Европейского сектора, влияющие на гидрометеорологические поля в регионе Черного моря	140
<i>Слепышев А. А., Анкудинов Н. А.</i> Генерация вертикальной тонкой структуры внутренними волнами.....	142
<i>Соколихина Н. Н., Суркова Г. В.</i> Новороссийская бора в условиях современного климата	143
<i>Соколов А. А., Иванов В. В.</i> Адвекция тепла через пролив Фрама.....	145
<i>Суркова Г. В., Соколихина Н. Н., Ломакин И. Р.</i> Мезомасштабные полярные циклоны, их влияние на турбулентный теплообмен между океаном и атмосферой.....	147
<i>Сухонос П. А.</i> Анализ асимметрии температуры поверхности Северной Атлантики по данным реанализов.....	149
<i>Тимофеева А. Б., Май Р. И.</i> Сезонная и межгодовая изменчивость площади полыньи в море Лаптевых	151
<i>Травкин В. С., Белоненко Т. В.</i> Топографические волны Россби и двойные волны Кельвина Курило-Камчатского желоба.....	153

<i>Травкин В. С., Жмур В. В., Белоненко Т. В.</i> Вклад мезомасштабных вихрей в энергетику Лофотенской котловины	154
<i>Фомин Вл. Вл., Белоконь А. Ю., Харитонова Л. В., Алексеев Д. В.</i> Исследование цунами в Балаклавской бухте по результатам численного моделирования	155
<i>Фомин Вл. Вас., Дианский Н. А.</i> Влияние способов усвоения спутниковой температуры поверхности моря на воспроизведение гидрофизических полей Черного, Азовского и Мраморного морей в модели INMOM.....	156
<i>Цуканова Е. С., Медведев И. П.</i> Тонга цунами в Японском море	158
<i>Цыганова М. В., Лемешко Е. М.</i> Особенности распространения речного плюма в период действия апвеллинга	159
<i>Чернявская Е. А., Тимохов Л. А., Малиновский С. Ю.</i> Изменчивость и взаимодействие перемешанного, подповерхностного и атлантического слоев Северного Ледовитого океана в различные климатические периоды	160
<i>Чикин А. Л., Чикина Л. Г.</i> Комбинированная математическая модель гидродинамики Азовского моря и дельты Дона	161
<i>Шаратунова М. В., Юлин А. В., Трофимов В. Д.</i> Основные особенности ледяного покрова в Восточно-Сибирском море в зимний период.....	163
<i>Шевелева Т. В.</i> Изменения возрастного состава льдов в юго-западной части Чукотского моря в современном климатическом периоде	164
<i>Шокуров М. В., Краевская Н. Ю.</i> Критические уровни бризовой инерционно-гравитационной волны	166
<i>Яровая Д. А., Ефимов В. В.</i> Численное моделирование апвеллинга в области Южного берега Крыма	168

СЕКЦИЯ 2

МОРСКИЕ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ: МЕТОДЫ, СРЕДСТВА И РЕЗУЛЬТАТЫ

<i>Алексеева Т. А., Май Р. И., Дымент Л. Н., Ершова А. А., Гришин Е. А.</i> Верификация автоматического ледового рутинга ААНИИ для выбора оптимального маршрута плавания в юго-западной части Карского моря	170
<i>Андросович А. И.</i> Применение термопрофилирующих буев для изучения внутренних волн	172
<i>Артамонова К. В., Антипов Н. Н., Кашин С. В., Лавинен Н. А.</i> Структура вод морей Содружества, Дейвиса и Моусона (Восточная Антарктида) по данным российской антарктической экспедиции 2016–2022 годов.....	174
<i>Атаджанова О. А., Козлов И. Е., Коник А. А.</i> Внутригодовая изменчивость характеристик мезо- и субмезомасштабных вихревых проявлений к юго-востоку от архипелага Шпицберген по радиолокационным изображениям 2018 года.....	176
<i>Багаев А. В., Горячкин Ю. Н., Удовик В. Ф., Долотов В. В., Долотов А. В., Щербаченко С. В., Ефремова Т. В., Никишин В. В., Кальпа В. А., Цыганова М. В.</i> Контактные береговые исследования на опорных полигонах, характеризующих основные черты побережья Западного Крыма.....	177
<i>Бакуева Я. И., Козлов И. Е.</i> Характеристики поля короткопериодных внутренних волн в Южном океане зимой 2020 года по данным спутниковых РСА-наблюдений	178
<i>Бакуева Я. И., Кубрякова Е. А., Кубряков А. А.</i> Особенности сезонной изменчивости концентрации хлорофилла <i>a</i> в Атлантическом секторе Южного океана по спутниковым данным.....	180
<i>Белокопытов В. Н., Вецало М. П., Воронцов А. А., Годин Е. А., Жук Е. В., Ингеров А. В., Пластун Т. В.</i> Банк океанографических данных МГИ: Формирование массивов океанологических данных для валидации моделей.....	181

<i>Василенко Н. В., Алескерова А. А., Кубряков А. А., Медведева А. В., Станичный С. В.</i> Характеристика сгонных процессов в Таганрогском заливе по спутниковым данным	183
<i>Веремьев В. И., Горбунов И. Г., Шестак В. Д., Сильвестрова К. П., Мысленков С. А., Баранов В. И., Очередник В. В.</i> Сопоставление скорости течений по данным СВЧ-радиолокатора, ADCP и дрейфтеров на гидрофизическом полигоне ИО РАН	184
<i>Гайский П. В., Руднева И. И., Шайда О. В., Шайда В. Г.</i> Система контроля процессов вертикального теплообмена в Сакском лимане	185
<i>Гайский П. В., Шайда О. В., Давидович А. Р.</i> Система контроля динамики вертикального профиля температуры на океанографической платформе	186
<i>Гармашов А. В., Марюшкин Ю. А., Толокнов Ю. Н., Коровушкин А. И.</i> Штормовое волнение в районе Южного берега Крыма	187
<i>Глухов Л. А., Юровский Ю. Ю.</i> Оценка скорости течения по видеозаписям морской поверхности: метод распознавания сигнатур дисперсионного соотношения	189
<i>Гребнева Е. А.</i> Межгодовая изменчивость величины рН в поверхностном слое глубоководной части Черного моря	190
<i>Греков А. Н., Вышкваркова Е. В., Трусевич В. В.</i> Выделение аномалий в биологических системах раннего обнаружения с использованием машинного обучения без учителя	192
<i>Григоренко К. С., Олейников Е. П., Фролова А. Д.</i> Сейшевая динамика Азовского моря по данным экспедиционных съемок и береговых уровнемеров	194
<i>Григорьев А. В., Кубряков А. И., Зацепин А. Г., Куклев С. Б., Баранов В. И., Мысленков С. А., Очередник В. В., Сильвестрова К. П.</i> Воспроизводимость динамики вод на Черноморском полигоне «Геленджик» ИО РАН посредством модели с двойным вложением сеток во время гидрофизического эксперимента в июне 2022 года	196

<i>Жук В. Р., Козлов И. Е., Кубряков А. А., Осадчиев А. А.</i> Динамика прикромочной ледовой зоны Карского моря по данным спутниковых, БПЛА и контактных измерений летом 2021 года.....	197
<i>Жук Е. В., Маркова Н. В.</i> Автоматизированная процедура расчета скоростей течений в Черном море на основе данных Argo	199
<i>Зайцев А. И.</i> Средства исследования прибрежных рисков, связанных с морскими катастрофами.....	201
<i>Иванов В. В., Даньшина А. В., Смирнов А. В.</i> Сезонная изменчивость гидрофизической структуры вод к северу от архипелага Северная Земля по данным наблюдений, реанализа и моделирования.....	202
<i>Иванов В. В., Шаратунова М. В.</i> Оценка количества старых льдов, выносимых через пролив Фрама из Арктического бассейна	204
<i>Казаков Д. А., Самодуров А. С., Чухарев А. М., Павлов М. И.</i> Региональные особенности вертикального турбулентного обмена в северной части Черного моря по данным 87, 92, 102 и 110-го рейсов НИС «Профессор Водяницкий».....	206
<i>Кайстренко В. М.</i> Оценка цунамиопасности для Дальневосточного побережья России: проблема точности.....	207
<i>Козлов И. Е., Атаджанова О. А.</i> Вихри в прикромочной ледовой зоне пролива Фрама и их влияние на ледяной покров по данным спутниковой радиолокации.....	209
<i>Козлов И. Е., Атаджанова О. А., Зимин А. В.</i> Внутренние волны в Белом море: горячие точки, структура и влияние на перемешивание по данным мультисенсорных измерений.....	210
<i>Коломейцев В. В., Горин С. Л.</i> База данных по океанографии шельфа Западной Камчатки (восточной части Охотского моря)	211
<i>Колочкина Г. А., Белевитнев Я. И., Семин В. Л., Симакова У. В., Симаков М. И., Тимофеев В. А., Шабалин Н. В.</i> Использование буксируемой видеоплатформы для наблюдений донных сообществ основного пикноклина северо-восточного побережья Черного моря.....	214

<i>Копышов И. О., Козлов И. Е., Фрей Д. И., Сильвестрова К. П., Корженовская А. И., Медведев И. П., Гайский П. В., Осадчиев А. А., Степанова Н. Б.</i> Исследование короткопериодных внутренних волн в проливе Карские Ворота в летний период по данным <i>in situ</i>	216
<i>Корчёмкина Е. Н., Маньковская Е. В.</i> Спектральный коэффициент яркости и его цветовые характеристики, относительная прозрачность в водах Черного моря в весенний период.....	217
<i>Корчёмкина Е. Н., Райкина А. О.</i> Классификация погрешности спутниковых данных в весенний период в Черном море.....	218
<i>Кубряков А. А., Лишаев П. Н., Кубрякова Е. А., Мизюк А. И., Свищев С. В.</i> Влияние синоптических вихрей на биологические характеристики Черного моря по данным буев Био-Арго и результатам численного моделирования	219
<i>Кузьмин А. В., Козлов И. Е.</i> Характеристики короткопериодных внутренних волн в море Лаптевых по данным спутниковых радиолокационных наблюдений в летне-осенний период 2019 и 2020 годов	220
<i>Лемешко Е. Е.</i> Режимы циркуляции Северного Ледовитого океана по данным альтиметрии	222
<i>Макаров К. Н.</i> Автоматизированная система прогноза ветрового волнения в Черном море.....	223
<i>Медведева А. В., Станичный С. В., Василенко Н. В., Алескерова А. А., Кубряков А. А., Шульга Т. Я., Вержевская Л. В., Свищева И. А., Рубакина В. А., Новиков Б. А., Михайличенко Т. В.</i> Спутниковый мониторинг внутренних волн в Мраморном море	225
<i>Михайличенко Т. В., Петренко Л. А., Козлов И. Е.</i> Изменчивость характеристик прикромочной ледовой зоны и поля внутренних волн у архипелага Шпицберген по спутниковым данным SENTINEL-1	226
<i>Михальцева С. В.</i> Изучение тонкой структуры циклона с помощью спутниковой информации	228
<i>Морозов Е. А., Козлов И. Е.</i> Субмезомасштабные и мезомасштабные вихри в проливе Фрама	229

<i>Морозов А. Н., Маньковская Е. В.</i> Характеристики придонного конвективного слоя Черного моря по данным STD-измерений	230
<i>Муравья В. О., Анисимов И. М., Римский-Корсаков Н. А.</i> Повышение точности построения 3D-моделей затопленных объектов в Карском море с помощью калибровки видеокamеры	231
<i>Нижниковская О. Ю., Зацепин А. Г.</i> Характеристики субмезомасштабных вихрей по данным близких по времени спутниковых изображений высокого разрешения в северо-восточной части Черного моря	233
<i>Новиков Б. А., Козлов И. Е., Кубряков А. А.</i> Определение динамических характеристик поверхностных и внутренних волн в районе речного плюма Бельбека по данным оптической и инфракрасной камеры БПЛА	234
<i>Новицкая В. П., Лемешко Е. М.</i> Исследование изменчивости стерического уровня Черного моря с помощью спутниковых данных	236
<i>Павлов М. И., Чухарев А. М., Казаков Д. А., Зубов А. Г., Павленко О. И.</i> Исследование динамики циркуляций Ленгмюра в приповерхностном слое моря	237
<i>Папкина А. С., Шибанов Е. Б.</i> Особенности работы алгоритмов атмосферной коррекции при расчете спектральной яркости моря для различных атмосферных условий	238
<i>Платонова Е. В.</i> Применение спутниковой информации для обнаружения стамух в районе Северного морского пути (море Лаптевых)	240
<i>Погребной А. Е.</i> Географические особенности поля ветра в проливе Фрама в теплый период 2007 года	242
<i>Подымов О. И., Островский А. Г.</i> Сравнительный анализ данных измерений течений с помощью ЗМПА «Аквалог» и донного ADCP в Черном море	244
<i>Полозок А. А., Фомина И. Н.</i> Характеристика условий возникновения штормовых ситуаций в районе морской станции Приморско-Ахтарск	246
<i>Рубакина В. А., Кубряков А. А., Станичный С. В.</i> Суточный ход температуры приповерхностного слоя вод и его	

влияние на прогрев глубинных слоев по результатам расчета одномерной гидродинамической модели РОМ	248
<i>Рубакина В. А., Симонова Ю. В., Станичный С. В.</i> Использование данных сканера SEVIRI и данных контактных измерений при изучении апвеллингов в прибрежной зоне Южного берега Крыма	250
<i>Сенченко В. Г., Григорьев А. В., Фомин Вл. Вас., Кубряков А. И., Дианский Н. А., Кабатченко И. М.</i> Гидрометеобеспечение автономного (безэкипажного) судовождения в Азово-Черноморском регионе	252
<i>Сушкевич Т. А.</i> Главный теоретик космонавтики М. В. Келдыш и первый спутник – начало космической эры, дистанционного зондирования Земли из космоса и цифровой цивилизации	253
<i>Телегин В. А., Зацепин А. Г., Коваленко В. В.</i> Гидрофизический эксперимент на полигоне «Геленджик» ИО РАН по апробированию трех составляющих прибрежной оперативной океанографии	256
<i>Федирко А. В., Артамонов Ю. В., Скрипалева Е. А., Шаповалов Р. О., Шутлов С. А., Дерюшкин Д. В.</i> Гидрологическая структура вод северной части Черного моря летом и осенью 2019 года по данным измерений на НИС «Профессор Водяницкий»	257
<i>Хлебников Д. В., Иванов А. Ю., Клименко С. К., Евдошенко М. И.</i> Отображение и динамика апвеллингов в Черном море по данным дистанционного зондирования	259
<i>Чухарев А. М., Ефремов О. И., Зубов А. Г., Казаков Д. А., Павленко О. И., Павлов М. И.</i> Экспериментальное определение вклада поверхностного волнения в турбулентный обмен	260
<i>Юровская М. В., Кудрявцев В. Н.</i> Описание волновых полей, генерируемых тропическими циклонами, с помощью автомодельных функций	261
<i>Юровский Ю. Ю., Кудрявцев В. Н., Гродский С. А., Шапрон Б.</i> Доплеровская скаттерометрия при сильном ветре: натурные измерения в Ка-диапазоне	263

СЕКЦИЯ 3
ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОГО ОСВОЕНИЯ
И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ
МОРСКОЙ СРЕДЫ

<i>Алексеева Н. К., Гангнус И. А., Лис Н. А., Весман А. В., Литина Е. Н., Новихин А. Е.</i> Особенности распределения компонентов карбонатной системы в российском секторе Северного Ледовитого океана в 2021 году	265
<i>Бадюкова Е. Н.</i> Образование лагунно-трансгрессивных террас на берегах Мирового океана	266
<i>Бадюкова Е. Н.</i> Формирование барьерно-лагунных систем на фоне подъема уровня моря	268
<i>Бежин Н. А., Козловская О. Н., Слизченко Е. В., Шибеевская Ю. Г., Довгий И. И.</i> Извлечение радионуклидов из морской воды	270
<i>Бирюкбаев Э. К., Юрченко Е. Е., Макаров К. Н.</i> Моделирование воздействия водно-галечной смеси на металлические конструкции портовых оградительных сооружений	271
<i>Блошкина Е. В., Гангнус И. А., Куссе-Тюз Н. А., Поляков И. В., Тарасенко А. Д., Алексеева Н. К.</i> Гидролого-гидрохимическая структура вод в районе континентального склона морей Лаптевых и Восточно-Сибирского в 2021 году	273
<i>Богуславский А. С., Удовик В. Ф., Казаков С. И., Берзова И. Г., Хамицевич Н. В., Нуриев С.</i> Особенности формирования пляжей Южного берега Крыма	275
<i>Большаинов Д. Ю., Макаров А. С.</i> Ледяные берега морей Карского и Лаптевых	277
<i>Бортин Н. Н., Горчаков А. М., Дьяченко К. Н., Милаев В. М., Спасивцева Е. Е.</i> Экспертная оценка влияния антропогенных факторов на экологическое состояние прибрежных морских акваторий залива Петра Великого	279

<i>Букатов Андр. А., Глазунов В. В., Панченко В. В.</i> Реконструкция береговой линии IX–X веков в Портовом районе Херсонеса Таврического по археологическим данным.....	281
<i>Валле А. А.</i> О десятилетней изменчивости концентрации кислорода в весенний сезон в Черном море	283
<i>Вареник А. В., Тарасевич Д. В.</i> Влияние атмосферных осадков на соотношение биогенных элементов в водах Севастопольской бухты	284
<i>Васечкина Е. Ф., Науменко И. П.</i> Исследование изменчивости фотосинтетических параметров макроводорослей и морских трав	285
<i>Вецало М. П., Годин Е. А.</i> Разработка программной системы базы данных фотографических изображений берегов Крыма.....	287
<i>Гарькуша Д. Н., Федоров Ю. А.</i> Метан и сероводород в воде и донных отложениях лиманов, водохранилищ и прудов Азово-Черноморского бассейна.....	289
<i>Георга-Копулос А. А.</i> Перспективы роста экологических рисков в Севастопольском регионе в связи с возрастающей антропогенной нагрузкой в прибрежной части Севастополя.....	291
<i>Гогоберидзе Г. Г., Румянцева Е. А., Косьян Р. Д.</i> Комплексная модель пространственного планирования устойчивого развития береговой эко-социо-экономической системы.....	293
<i>Гогоберидзе Г. Г., Румянцева Е. А., Шилин М. Б.</i> Концепция многоуровневой модели природных и техногенных рисков арктического берегового природопользования	295
<i>Гурова Ю. С., Гуров К. И., Орехова Н. А.</i> Геохимические характеристики донных отложений как фактор формирования химического состава поровых вод в прибрежных районах Крыма.....	297
<i>Демешкин А. С.</i> Проблемы загрязнения стойкими токсическими соединениями морей Арктического региона.....	299

<i>Долгушев Т. В.</i> Эксплуатационная надежность портовых гидротехнических сооружений Арктической зоны Российской Федерации в условиях прогнозных изменений климата	300
<i>Донцов А. А., Суторихин И. А., Кириллов В. В., Ловцкая О. В.</i> Интегрированная геоинформационная система Обь-Иртышского речного бассейна	301
<i>Еремина Т. Р., Владимирова О. М., Савчук О. П.</i> Влияние изменения климата и биогенной нагрузки на состояние экосистемы Балтийского моря по результатам моделирования	303
<i>Зуенко Ю. И.</i> Утилизация потока биогенных веществ, поступающих через Берингов пролив, в Чукотском море	305
<i>Козловская О. Н., Шибецкая Ю. Г., Разина В. А., Бержин Н. А., Довгий И. И.</i> Оценка потоков микроэлементов, ФОП и ХОП с субмаринной разгрузкой подземных вод в районе мыса Айя	307
<i>Крыленко В. В., Крыленко М. В., Крыленко С. В.</i> Влияние межгодовых колебаний уровня воды на колонии водоплавающих птиц в Кизилташских лиманах	308
<i>Крыленко Д. В., Крыленко М. В.</i> Особенности зоны дюн северо-западной части Витязевской пересыпи	310
<i>Кудряшова Ю. В., Чижова Т. Л.</i> Полициклические ароматические углеводороды в Центральной котловине Японского моря	312
<i>Кузнецов А. С.</i> Закономерности формирования вдольбереговой циркуляции вод у северного побережья Черного моря	314
<i>Леднова Ю. А., Шилин М. Б., Румянцева Е. А., Гайнанова Р. И., Меньшакова М. Ю.</i> Влияние крупных техногенных объектов на природно-экологическую устойчивость береговой зоны Мурманской области на основе изменчивости орнитофауны	316
<i>Лесин А. В., Пронин А. А., Римский-Корсаков Н. А.</i> Применение технических средств для геолого-геофизических исследований на шельфе полуострова Крым	318

<i>Лукашова О. А., Наривончик С. В., Миньковская Р. Я., Дьяков Н. Н., Мальченко Ю. А.</i> Проблемы и особенности определения морских границ устьев малых рек.....	320
<i>Масевич А. В.</i> Исследование изменения распределения кислорода в водах пролива Брансфилд (Южный океан) в январе 2022 года	322
<i>Мачихин А. С., Гурyleва А. В., Бурлаков А. Б., Селюков А. Г., Букова В. И., Хохлов Д. Д., Руденко Е. Е.</i> Метод неинвазивного исследования сердечно-сосудистой системы в раннем онтогенезе рыб.....	323
<i>Мачихин А. С., Гурyleва А. В., Бурлаков А. Б., Букова В. И., Хохлов Д. Д.</i> Неинвазивное исследование мышечной ткани рыб в раннем онтогенезе.....	325
<i>Медведева В. Н.</i> Проблемы представления природных процессов в экспозициях естественно-научных музеев	327
<i>Назаров Д. В.</i> Научно-производственный кластер – новый подход к исследованию, освоению и производству морских и биоресурсов Черного моря.....	329
<i>Назаров Д. В., Селезнев В. А.</i> Устойчивость бетона и строительных растворов для морского строительства. Новые материалы и методики испытаний	330
<i>Наривончик С. В., Лукашова О. А., Миньковская Р. Я., Дьяков Н. Н., Мальченко Ю. А.</i> Изменчивость солености воды устьевых взморьев малых рек Юго-Западного Крыма в современный период.....	332
<i>Орехова Н. А., Вареник А. В., Кондратьев С. И.</i> Вертикальное распределение неорганических форм азота в глубоководной части Черного моря	334
<i>Остроухов А. В., Климина Е. М.</i> Экологические аспекты пространственного планирования приморских территорий (Хабаровский край).....	335
<i>Остроухов А. В., Харитонова Г. В.</i> Потенциальная роль крупных наводнений в загрязнении вод Амурского лимана.....	337
<i>Пархоменко А. В., Панкеева Т. В., Миронова Н. В.</i> Пути оптимизации особо охраняемых природных территорий юго-западной части города Севастополя	339

<i>Петров К. М.</i> Тектоника и рельеф береговой зоны моря как экологический фактор, определяющий состав и распределение донных биоценозов	341
<i>Погожева М. П., Котова Е. И., Микушева М. А., Кожевников А. Ю., Данилова Е. В., Якушев Е. В.</i> Поступление плавающего морского мусора с водами реки Северная Двина и реки Онега (бассейн Белого моря)	343
<i>Поморцев О. А., Большиянов Д. Ю., Правкин С. А.</i> Трансгрессивно-регрессивные циклы восточно-арктических морей	344
<i>Ракитин Т. Д., Петров К. М.</i> Тектогенный принцип районирования берегов Японского моря	346
<i>Руднева И. И., Медянкина М. В., Шайда В. Г., Шайда О. В.</i> Анализ токсичности буровых растворов с помощью морских гидробионтов	348
<i>Руднева И. И., Терехова В. А., Кыдралиева К. А., Поромов А. А., Парамонова А. И., Шайда В. Г.</i> Экотоксикологическая оценка качества вод Севастопольских бухт....	349
<i>Румянцева Е. А., Гогоберидзе Г. Г., Шилин М. Б.</i> Система информационной поддержки управленческих решений в области управления рисками для обеспечения безопасности природопользования в арктической береговой зоне	350
<i>Санин А. Ю.</i> Некоторые проблемы рекреационного развития прибрежных зон морей России	351
<i>Семкин П. Ю., Тищенко П. Я., Павлова Г. Ю., Тищенко П. П., Сагалаев С. Г., Шкирникова Е. М., Швецова М. Г.</i> Карбонатная система эстуариев Шантарского региона (Охотское море) в период летнего паводка 2016 года.....	356
<i>Слизченко Е. В., Шибецкая Ю. Г., Бежин Н. А., Довгий И. И.</i> Концентрирование ²¹⁰ Pb из морской воды.....	357
<i>Терентьев А. С.</i> Влияние типа грунта на видовое богатство, численность и биомассу зообентоса Керченского пролива	358
<i>Филиппова Т. А., Васечкина Е. Ф.</i> Исследование физико-химических процессов взаимодействия морских трав со средой	360

<i>Холмогоров А. О., Сырбу Н. С., Степочкин И. Е., Хазанова Е. С.</i> Сравнительный анализ наземных, морских и спутниковых наблюдений газо-геохимических полей метана и углекислого газа на острове Сахалин и его шельфе.....	362
<i>Чанцев В. Ю.</i> Формирование штормовых условий в районе бухты Север Енисейского залива.....	364
<i>Шевцова Е. А., Бурдина Е. И.</i> Закономерности распределения органического углерода в донных отложениях Азовского моря в июле 2019 года.....	365
<i>Шибецкая Ю. Г., Козловская О. Н., Слизченко Е. В., Разина В. А., Довгий И. И., Бежин Н. А.</i> Распределение долгоживущих изотопов радия в глубоководных районах Черного моря	366
<i>Шилин М. Б., Меньшакова М. Ю., Гайнанова Р. И., Леднова Ю. А., Румянцева Е. А.</i> Водно-болотная орнитофауна береговой зоны Кольского залива Баренцева моря в районе крупного техногенного объекта – моста через Кольский залив	368
<i>Ясакова О. Н., Бердников В. С.</i> Таксономический состав и количественные величины развития фитопланктона Новороссийской бухты в 2019 году.....	370
ПЕРЕЧЕНЬ ОРГАНИЗАЦИЙ	373
АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ	381

CONTENTS

PLENARY REPORTS

<i>Bondur V. G., Dulov V. A., Kozub V. A., Murynin A. B., Yurovskaya M. V., Yurovsky Yu. Yu.</i> Development and validation of a method for reconstructing sea-wave spectra from space image spectra.....	41
<i>Grigoriev M. N., Maksimov G. T.</i> Peculiarities of marine coast dynamics in the Lena River estuary	42
<i>Diansky N. A., Zhmur V. V., Gusev A. V.</i> Study of the self-organisation of the Gulf Stream front using numerical and analytical methods.....	44
<i>Dolgikh G. I.</i> Generation of geospheric waves caused by the Hunga Tonga-Hunga Ha'apai volcano explosion	45
<i>Zhmur V. V., Belonenko T. V., Novoselova N. V., Suetin B. S., Arutyunyan D. A.</i> Extension of mesoscale ocean eddies into sub-mesoscale eddy filaments as a method of energy transfer along a size cascade. Manifestation of negative viscosity properties in eddy stretching	47
<i>Zatsepin A. G., Gerasimov V. V., Ostrovskiy A. G.</i> Turbulent mass transfer in stratified fluid and conditions for fine-structure stratification.....	49
<i>Matishov G. G.</i> Studies of palaeoclimate, current physico-geographical and radio-ecological processes in the southern seas of Russia	51
<i>Repina I. A.</i> Study of gas exchange over the water surface, contribution of water bodies to the global carbon cycle.....	53

SECTION 1

PROCESSES OF FORMATION AND EVOLUTION OF THE MARINE ENVIRONMENT: FROM STUDY TO FORECAST

<i>Artamonov A. Yu., Repina I. A., Chechin D. G.</i> Study of atmosphere and ocean interaction processes in the Barents Sea and North Atlantic	55
--	----

<i>Akhtyamova A. F., Travkin V. S.</i> Study of Norwegian Sea frontal zones	57
<i>Bagatinskaya V. V., Diansky N. A., Gusev A. V., Morozov E. G., Bagatinsky V. A.</i> Geostrophic and wind driven components of the Antarctic circumpolar current	59
<i>Bagatinsky V. A., Diansky N. A.</i> Contributions of temperature and salinity climatic changes to the formation of North Atlantic thermohaline circulation trends in 1951–2017	60
<i>Basharin D. V., Shokurova I. G.</i> Relation of atmospheric blocking events to steady winter winds over the Black Sea region.....	61
<i>Bashmachnikov I. L., Golubkin P. A., Kozlov I. E.</i> Heat transport in the Nordic Seas by mesoscale eddies.....	63
<i>Bukatov Ant. A.</i> Liquid particles velocities under floating elastic ice in nonlinear interaction of progressive surface waves.....	65
<i>Bukatov Ant. A., Pavlenko E. A., Solovey N. M.</i> Influence of river discharge on water density stratification in the Barents, Kara, Laptev and East Siberian Seas.....	67
<i>Bulatov V. V.</i> Generation of internal gravity waves in the ocean when a shear flow meets an underwater obstacle	68
<i>Gaiko L. A.</i> Temperature extremes of July in the coastal zone of the Primorsky Krai over 90 years (Sea of Japan, Tatar Strait).....	70
<i>Godetskiy S. V., Kuznetsova O. A., Kokin O. V., Cvecinskij A. S.</i> Analysis of ice uniaxial compressive strength in the western part of the Okhotsk Sea from field-measured and calculated data	72
<i>Gusarov R. N., Kantarzhi I. G.</i> Theoretical and practical studies of tsunami waves.....	73
<i>Danshina A. V.</i> Results of validation of the NEMO-based regional configuration for studying climate changes in the Arctic Ocean water structure.....	74
<i>Demyshev S. G., Dymova O. A., Miklashevskaya N. A.</i> Analysis of variability of available potential energy and buoyancy force work in the upper 300 m layer of the Black Sea based on modelling data	76

<i>Dorofeev V. L., Sukhikh L. I.</i> Numerical experiments to study the impact of different sources of nutrients on the interannual variability of the Black Sea ecosystem.....	78
<i>Drozd I. D., Repina I. A., Salyuk P. A., Morozov E. G.</i> Comparison of ocean-atmosphere heat exchange characteristics in the Weddell Sea from reanalysis data and in situ measurements	79
<i>Evstigneeva N. A., Demyshev S. G.</i> Calculation of the energy characteristics of the Black Sea circulation based on a hydrodynamic model according to data from hydrological surveys in 2016	81
<i>Egorova E. S., Mironov E. U.</i> Stages of ice development in the southeastern Barents Sea in winter.....	83
<i>Ershova A. A., Dymant L. N., Porubaev V. S.</i> Forecasting for prevailing orientation of sea ice leads in the Laptev Sea	85
<i>Zimin A. V., Svergun E. I., Romanenkov D. A.</i> Short-period internal waves in shelf regions with intense tidal dynamics ...	87
<i>Kaledina A. S., Bashmachnikov I. L.</i> Mechanisms of density inversions in the Greenland Sea	88
<i>Kokoulina M. V., Kurkina O. E., Kurkin A. A.</i> Modeling internal wave beams generated by barotropic tidal flow over sea shelf.....	90
<i>Konik A. A., Zimin A. V.</i> Long-term frontal and eddy dynamics of the Barents and Kara Seas	92
<i>Korzhenovskaya A. I., Medvedev I. P., Arkhipkin V. S.</i> Tidal oscillations in the Sea of Azov	94
<i>Korzhenovskaya A. I., Medvedev I. P., Arkhipkin V. S.</i> Seiche sea level fluctuations in the Sea of Azov: observations and numerical modelling	95
<i>Korolev Yu. P.</i> Retrospective forecast of the 2007 Peruvian, 2010, 2014, and 2015 Chilean tsunamis using the rapid method of short-term tsunami forecast.....	97
<i>Korolev Yu. P., Korolev P. Yu.</i> Real-time forecast of local tsunamis based on data from deep sea level stations closest to the foci.....	99
<i>Kochergin V. S., Kochergin S. V.</i> Variational identification of the initial concentration field of ¹³⁷ Cs in the Black Sea after the Chernobyl accident.....	100

<i>Kubryakov A. A., Mizyuk A. I., Stanichny S. V.</i> On the causes of stagnation and detachment of the Sevastopol eddies.....	103
<i>Kuznetsova D. A., Bashmachnikov I. L.</i> Mechanism of long-term variability of the Atlantic meridional ocean circulation	105
<i>Kurkin A. A., Kalinina N. V., Gramuzov E. M.</i> Theoretical and experimental studies of the ships ice propulsion.....	106
<i>Kurkina O. E., Rouvinskaya E. A., Kuznetsov P. D., Kurkin A. A.</i> Dynamics of internal tidal and short-period waves in the shelf zone of the Sakhalin Island.....	108
<i>Latonin M. M., Bashmachnikov I. L., Bobylev L. P.</i> Relation of the low-frequency variability of the regional Arctic amplification to the Bjerknes compensation mechanism	110
<i>Lis N. A., Timokhov L. A.</i> Statistical models of climatic variability of surface water temperature and ice cover in selected areas of the Barents Sea.....	111
<i>Manilyuk Yu. V., Lazorenko D. I., Fomin Vl. Vl.</i> Simulation of extreme seiche modes in Sevastopol Bay	112
<i>Markova N. V., Dovgaya S. V.</i> The Aegean Sea and the Sea of Marmara circulation features	114
<i>Markova N. V., Dymova O. A.</i> Study of the deep-water undercurrent formation in the north-eastern Black Sea in autumn 2016.....	116
<i>Medvedev I. P.</i> A tsunami in the World's oceans caused by the eruption of Tonga Volcano in 2022.....	118
<i>Metik-Diyunova V. V., Lemeshko E. M., Mayboroda S. A.</i> Analysis of the recurrence and synoptic conditions of the formation of Crimean bora.....	119
<i>Mikhailichenko S. Yu., Kuranov D. Yu.</i> Mathematical modelling of wind wave transformation and surge on the west coast of Crimea taking into account different types of coastal protection structures	120
<i>Nikolsky N. V., Artamonov Yu. V., Skripaleva E. A.</i> Intra-annual variability of sub-Antarctic front characteristics in the Southwest Atlantic.....	121
<i>Nikolsky N. V., Artamonov Yu. V., Skripaleva E. A.</i> Climatic intra-annual variability of water mass characteristics in the Powell Basin from ocean reanalysis ECMWF ORA-S5 data ...	124

<i>Novoselova E. V., Belonenko T. V., Zhmur V. V.</i> Comparative analysis of Väisäl – Brent frequency distribution in cyclones and anticyclones	126
<i>Osadchiev A. A.</i> Small river plumes in the Black Sea.....	127
<i>Pivaev P. D., Kudryavtsev V. N., Reul N., Shapron B.</i> Interpretation of the thermal and haline response of the upper ocean to the passage of tropical cyclones from observational and modelling data	128
<i>Puzina O. S., Mizyuk A. I.</i> Currents in the waters of the Sea of Azov based on results of numerical modelling using a vertical curvilinear grid	130
<i>Rychkova P. M., Gordeeva S. M.</i> Assessment of climatic changes in wind wave intensity in the eastern Gulf of Finland.....	132
<i>Sannikov V. F.</i> Resonant generation of long internal waves in stratified flows.....	134
<i>Svergun E. I., Zimin A. V., Sofina E. V.</i> Intra-annual variability of surface manifestations of internal waves in the Barents Sea and Kuril-Kamchatka region	135
<i>Sebin A. S., Dvoichenko Yu. A., Kurkin A. A.</i> The use of small ice test pools in the study of the ships ice propulsion....	137
<i>Serebrennikov A. N.</i> Features of geostrophic flow in the upwelling region.....	139
<i>Sizov A. A., Bayankina T. M., Pososhkov V. L.</i> Cyclical processes in thermobaric field variability of the Atlantic-European sector affecting hydro-meteorological fields in the Black Sea region.....	140
<i>Slepyshev A. A., Ankudinov N. A.</i> Generation of vertical fine structure by internal waves.....	142
<i>Sokolikhina N. N., Surkova G. V.</i> Novorossiysk bora in today's climate.....	143
<i>Sokolov A. A., Ivanov V. V.</i> Heat advection through Fram Strait	145
<i>Surkova G. V., Sokolikhina N. N., Lomakin I. R.</i> Mesoscale polar cyclones, their impact on turbulent heat exchange between the ocean and the atmosphere	147
<i>Sukhonos P. A.</i> Analysis of the asymmetry of the North Atlantic surface temperature from reanalysis data	149

<i>Timofeeva A. B., May R. I.</i> Seasonal and inter-annual variability of the polynya area in the Laptev Sea	151
<i>Travkin V. S., Belonenko T. V.</i> Topographic Rossby waves and double Kelvin waves of the Kuril-Kamchatka Trench	153
<i>Travkin V. S., Zhmur V. V., Belonenko T. V.</i> The contribution of mesoscale eddies to the energy of the Lofoten Basin	154
<i>Fomin Vl. Vl., Belokon A. Yu., Kharitonova L. V., Alekseev D. V.</i> Balaklava Bay tsunami study based on numerical modelling results.....	155
<i>Fomin Vl. Vas., Diansky N. A.</i> Influence of sea surface temperature assimilation on the reconstruction of the Black, Azov and Marmara seas hydrophysical fields using INMOM model.....	156
<i>Tsukanova E. S., Medvedev I. P.</i> Tonga tsunami in the Sea of Japan	158
<i>Tsyganova M. V., Lemeshko E. M.</i> Features of river plume spreading during upwelling	159
<i>Chernyavskaya E. A., Timokhov L. A., Malinovsky S. Yu.</i> Variability and interaction of the intermixed, subsurface and Atlantic layers of the Arctic Ocean during different climatic periods	160
<i>Chikin A. L., Chikina L. G.</i> Combined mathematical model of the hydrodynamics of the Sea of Azov and the Don delta..	161
<i>Sharatunova M. V., Yulin A. V., Trofimov V. D.</i> Main features of ice cover in the East Siberian Sea in winter	163
<i>Sheveleva T. V.</i> Changes in the stages of sea ice development in southwestern part of the Chukchi Sea during the modern climatic period.....	164
<i>Shokurov M. V., Kraevskaya N. Yu.</i> Critical levels of the breeze inertia-gravity wave	166
<i>Yarovaya D. A., Efimov V. V.</i> Numerical modelling of upwelling in the South Coast of Crimea.....	168

SECTION 2
MARINE OBSERVING SYSTEMS:
METHODS, TOOLS AND RESULTS

<i>Alekseeva T. A., May R. I., Dyment L. N., Ershova A. A., Gri-shin Ye. A.</i> Verification of ice autorouting of the AARI for selecting an optimal route of navigation in the south-western part of the Kara Sea.....	170
<i>Androsovitch A. I.</i> Appliance of temperature-profiling buoys for internal waves study	172
<i>Artamonova K. V., Antipov N. N., Kashin S. V., Lavin-en N. A.</i> Water structure of the Commonwealth, Davis and Mawson Seas (East Antarctica) according to the Russian Antarctic expedition 2016–2022	174
<i>Atadzhanova O. A., Kozlov I. E., Konik A. A.</i> Intra-annual variability of meso- and sub-meso-scale eddy patterns southeast of Svalbard from 2018 radar imagery.....	176
<i>Bagaev A. V., Goryachkin Yu. N., Udovik V. F., Dolo-tov V. V., Dolotov A. V., Shcherbachenko S. V., Efremo-va T. V., Nikishin V. V., Kalpa V. A., Tsyganova M. V.</i> Con-tact coastal studies at reference testing areas characterizing the main features of the West Crimean coastline	177
<i>Bakueva Ya. I., Kozlov I. E.</i> Characteristics of the short-pe-riod internal wave field in the Southern Ocean in winter 2020 from satellite SAR observations.....	178
<i>Bakueva Ya. I., Kubryakova E. A., Kubryakov A. A.</i> Features of seasonal variability in chlorophyll a concentrations in the Atlantic sector of the Southern Ocean from satellite data.....	180
<i>Belokopytov V. N., Vetsalo M. P., Vorontsov A. A., Go-din E. A., Zhuk E. V., Ingerov A. V., Plastun T. V.</i> MHI Oceanographic data bank: Formation of oceanographic data arrays for validation of models.....	181
<i>Vasilenko N. V., Aleskerova A. A., Kubryakov A. A., Medvedeva A. V., Stanichny S. V.</i> Characterization of runoff processes in the Gulf of Taganrog from satellite data.....	183
<i>Veremiev V. I., Gorbunov I. G., Shestak V. D., Silves-trova K. P., Myslenkov S. A., Baranov V. I., Ocherednik</i>	

V. V. Comparison of current velocities from microwave radar, towed ADCP and drifters at the IO RAS hydrophysical test area.....	184
<i>Gaisky P. V., Rudneva I. I., Shaida O. V., Shaida V. G.</i> Vertical heat exchange monitoring system in Saki Liman.....	185
<i>Gaisky P. V., Shaida O. V., Davidovich A. R.</i> Control system of dynamics of the vertical profile of temperature on the oceanographic platform.....	186
<i>Garmashov A. V., Maryushkin Yu. A., Toloknov Yu. N., Korovushkin A. I.</i> Storm surge near the southern coast of Crimea...	187
<i>Glukhov L.A., Yurovsky Yu.Yu.</i> Estimation of the flow velocity based on video recordings of the sea surface: a method for recognizing signatures of the dispersion relation	189
<i>Grebneva E. A.</i> Inter-annual variability of pH value in the surface layer of the deep-water part of the Black Sea	190
<i>Grekov A. N., Vyshkvarkova E. V., Trusevich V. V.</i> Anomaly identification in biological early detection systems using unsupervised machine learning	192
<i>Grigorenko K. S., Oleynikov E. P., Frolova A. D.</i> Seiche dynamics of the Sea of Azov according to expedition surveys and coastal level gauges	194
<i>Grigoriev A. V., Kubryakov A. I., Zatsepin A. G., Kulev S. B., Baranov V. I., Myslenkov S. A., Ocherednik V. V., Silvestrova K. P.</i> Reproducibility of water dynamics at the Black Sea polygon "Gelendzhik" based on the double nesting model during a hydrophysical experiment in June 2022.....	196
<i>Zhuk V. R., Kozlov I. E., Kubryakov A. A., Osadchiev A. A.</i> Dynamics of the Kara Sea marginal ice zone from satellite, UAV and contact measurements in summer 2021	197
<i>Zhuk E. V., Markova N. V.</i> Automated procedure for calculation of current velocities in the Black Sea based on Argo data ...	199
<i>Zaitsev A. I.</i> Research tools for coastal hazards related to maritime disasters.....	201
<i>Ivanov V. V., Danshina A. V., Smirnov A. V.</i> Seasonal variability in the hydrophysical structure of waters to the north of Severnaya Zemlya Archipelago based on observations, reanalysis and modelling	202

<i>Ivanov V. V., Sharatunova M. V.</i> Estimating the amount of old ice transported through Fram Strait from the Arctic Basin	204
<i>Kazakov D. A., Samodurov A. S., Chukharev A. M., Pavlov M. I.</i> Regional peculiarities of vertical turbulent exchange in the northern part of the Black Sea according to data from 87, 92, 102 and 110 cruises of R/V Professor Vodyanitsky	206
<i>Kaistrenko V. M.</i> Tsunami hazard assessment for the Russian Far East coast: An accuracy problem.....	207
<i>Kozlov I. E., Atadzhanova O. A.</i> Eddies in the marginal ice zone of Fram Strait and their impact on the ice cover from satellite radar data.....	209
<i>Kozlov I. E., Atadzhanova O. A., Zimin A. V.</i> Internal waves in the White Sea: hot spots, structure and impact on mixing from multisensor measurements.....	210
<i>Kolomeitsev V. V., Gorin S. L.</i> Database on the oceanography of the West Kamchatka shelf (eastern part of the Sea of Okhotsk).....	211
<i>Kolyuchkina G. A., Belevitnev Ya. I., Syomin V. L., Simakova U. V., Simakov M. I., Timofeev V. A., Shabalin N. V.</i> Use of towed underwater camera system for the main pycnocline zone seabed observation on the Black Sea shelf margin.....	214
<i>Kopyshov I. O., Kozlov I. E., Frey D. I., Silvestrova K. P., Korzhenovskaya A. I., Medvedev I. P., Gaisky P. V., Osadchiev A. A., Stepanova N. B.</i> Study of short-period internal waves in the Kara Strait in summer from in situ data	216
<i>Korchemkina E. N., Mankovskaya E. V.</i> Spectral coefficient of brightness and its colour characteristics, relative transparency in the Black Sea waters in spring.....	217
<i>Korchemkina E. N., Raykina A. O.</i> Classification of errors in satellite data atmospheric correction in spring period in Black Sea.....	218
<i>Kubryakov A. A., Lishaev P. N., Kubryakova E. A., Mityuk A. I., Svishchev S. V.</i> Impact of synoptic eddies on the biological characteristics of the Black Sea from Bio-Argo buoy data and numerical modelling results	219

<i>Kuzmin A. V., Kozlov I. E.</i> Characteristics of short-period internal waves in the Laptev Sea from satellite radar observations in summer – autumn 2019 and 2020.....	220
<i>Lemeshko E. E.</i> Arctic Ocean circulation regimes from altimetry data.....	222
<i>Makarov K. N.</i> Automated system for forecasting wind waves in the Black Sea.....	223
<i>Medvedeva A. V., Stanichny S. V., Vasilenko N. V., Aleskerova A. A., Kubryakov A. A., Shulga T. Ya., Verzhevskaya L. V., Svishcheva I. A., Rubakina V. A., Novikov B. A., Mikhailichenko T. V.</i> Satellite monitoring of internal waves in the Sea of Marmara	225
<i>Mikhaylichenko T. V., Petrenko L. A., Kozlov I. E.</i> Variability of marginal ice zone characteristics and internal wave field near Svalbard according to Sentinel-1 satellite data	226
<i>Mikhaltseva S. V.</i> Study of the cyclone fine structure using satellite information.....	228
<i>Morozov E. A., Kozlov I. E.</i> Sub-mesoscale and mesoscale eddies in Fram Strait	229
<i>Morozov A. N., Mankovskaya E. V.</i> Characteristics of Black Sea bottom convective layer from CTD-measurements.....	230
<i>Muravya V. O., Anisimov I. M., Rimskiy-Korsakov N. A.</i> Improving the accuracy of 3D models building of submerged objects located in the Kara Sea using video camera calibration	231
<i>Nizhnikovskaya O. Yu., Zatsepin A. G.</i> Characteristics of sub-mesoscale eddies from close in time high resolution satellite imagery in the northeastern Black Sea	233
<i>Novikov B. A., Kozlov I. E., Kubryakov A. A.</i> Determination of the dynamic characteristics of surface and internal waves in the Belbek River plume area from UAV optical and infrared camera data	234
<i>Novitskaya V. P., Lemeshko E. M.</i> Study of the Black Sea steric level variability using satellite data	236
<i>Pavlov M. I., Chukharev A. M., Kazakov D. A., Zubov A. G., Pavlenko O. I.</i> Study of the dynamics of Langmuir circulations in the near-surface sea layer	237

<i>Papkova A. S., Shibanov E. B.</i> Peculiarities of atmospheric correction algorithms in calculating spectral brightness of the sea for different atmospheric conditions	238
<i>Platonova E. V.</i> Application of satellite information to detect stamukhas in the Northern Sea Route (Laptev Sea)	240
<i>Pogrebnoy A. E.</i> Geographical features of the wind field in Fram Strait during the warm period of 2007	242
<i>Podymov O. I., Ostrovsky A. G.</i> Comparative analysis of current measurement data from the Aqualog and bottom ADCP in the Black Sea	244
<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 Primorsko-Akhtarsk	246
<i>Rubakina V. A., Kubryakov A. A., Stanichny S. V.</i> Daily variation of the near-surface water temperature and its impact on the warming of the deep layers as calculated by the one-dimensional hydrodynamic model POM	248
<i>Rubakina V. A., Simonova Yu. V., Stanichny S. V.</i> Use of SEVIRI scanner data and contact measurements in the study of upwelling in the coastal zone of the South Coast of Crimea	250
<i>Senchenko V. G., Grigoriev A. V., Fomin Vl. Vas., Kubryakov A. I., Diansky N. A., Kabatchenko I. M.</i> Hydrometeorological support for autonomous (unmanned) navigation in the Azov-Black Sea region	252
<i>Sushkevich T. A.</i> Major cosmonautics theorist M. V. Keldysh and the first satellite – the beginning of the space age, remote sensing of the Earth from space and digital civilization	253
<i>Telegin V. A., Zatsepin A. G., Kovalenko V. V.</i> Hydrophysical experiment at the Gelendzhik testing area, IO RAS, to test the three components of coastal operational oceanography	256
<i>Fedirko A. V., Artamonov Yu. V., Skripaleva E. A., Shapovalov R. O., Shutov S. A., Deryushkin D. V.</i> Hydrological structure of waters in the northern Black Sea in summer and autumn 2019 according to measurements from R/V Professor Vodyanitsky	257

<i>Khlebnikov D. V., Ivanov A. Yu., Klimenko S. K., Evdoshenko M. I.</i> Mapping and dynamics of upwelling in the Black Sea from remote sensing data	259
<i>Chukharev A. M., Efremov O. I., Zubov A. G., Kazakov D. A., Pavlenko O. I., Pavlov M. I.</i> Experimental determination of surface wave contribution to turbulent exchange	260
<i>Yurovskaya M. V., Kudryavtsev V. N.</i> Description of wave fields generated by tropical cyclones using automodel functions	261
<i>Yurovsky Yu. Yu., Kudryavtsev V. N., Grodsky S. A., Shapiro B.</i> Doppler scatterometry in high winds: in situ measurements in Ka-band	263

SECTION 3

SAFE USE AND EXPLORATION OF THE MARINE ENVIRONMENT RESOURCES

<i>Alekseeva N. K., Gangnus I. A., Lis N. A., Vesman A. V., Litina E. N., Novikhin A. E.</i> Distribution patterns of carbonate system components in the Russian sector of the Arctic Ocean in 2021	265
<i>Badyukova E. N.</i> Lagoon-transgressive terraces on the world ocean coasts	266
<i>Badyukova E. N.</i> Formation of barrier-lagoon systems against the background of sea level rise	268
<i>Bezhin N. A., Kozlovskaya O. N., Slizchenko E. V., Shibe-tsckaya Yu. G., Dovhyi I. I.</i> Recovery of radionuclides from seawater	270
<i>Biryukbaev E. K., Yurchenko E. E., Makarov K. N.</i> Modeling the impact of a water-pebble mixture on metal structures of port protection works	271
<i>Bloshkina E. V., Gangnus I. A., Kusse-Tiuz N. A., Polyakov I. V., Tarasenko A. D., Alekseeva N. K.</i> Physical and chemical water mass structure over the continental slope in the Laptev and the East Siberian Seas in 2021	273

<i>Boguslavsky A. S., Udovik V. F., Kazakov S. I., Berzova I. G., Khamitsevich N.V., Nuriev S.</i> Features of the beaches formation of the Southern coast of Crimea.....	275
<i>Bolshiyarov D. Yu., Makarov A. S.</i> Ice coasts of the Kara and Laptev Seas.....	277
<i>Bortin N. N., Gorchakov A. M., Diachenko K. N., Milaev V. M., Spesivtseva E. E.</i> Expert assessment of the impact of anthropogenic factors on the environmental condition of the coastal marine areas of the Peter the Great Gulf....	279
<i>Bukatov Andr. A., Glazunov V. V., Panchenko V. V.</i> Reconstruction of the 9–10th century coastline in the port area of Tauric Chersonesos based on archaeological data	281
<i>Valle A. A.</i> On interdecennial variability of oxygen concentration in the Black Sea in spring	283
<i>Varenik A. V., Tarasevich D. V.</i> Influence of atmospheric precipitation on the nutrients ratio in the waters of the Sevastopol Bay.....	284
<i>Vasechkina E. F., Naumenko I. P.</i> Study of variability in photosynthetic parameters of macroalgae and seagrasses.....	285
<i>Vetsalo M. P., Godin E. A.</i> Development of a software system for the database of photographic images of the Crimean coasts	287
<i>Garkusha D. N., Fedorov Yu. A.</i> Methane and hydrogen sulfide in water and bottom sediments of estuaries, reservoirs and ponds of the Azov-Black Sea basin.....	289
<i>Georga-Kopulos A. A.</i> Prospects for increasing environmental risks in the Sevastopol region due to increasing anthropogenic pressure in the coastal area of Sevastopol	291
<i>Gogoberidze G. G., Rumiantceva E. A., Kosyan R. D.</i> Comprehensive model of spatial planning of sustainable development of the coastal eco-socio-economic system	293
<i>Gogoberidze G. G., Rumiantceva E. A., Shilin M. B.</i> The concept of a multilevel model of natural and technogenic risks of the Arctic coastal nature management.....	295
<i>Gurova Yu. S., Gurov K. I., Orekhova N. A.</i> Geochemical characteristics of bottom sediments as a factor in the formation of the chemical composition of pore water in coastal areas of Crimea.....	297

<i>Demeshkin A. S.</i> Problems of pollution of the seas of the Arctic region with persistent toxic compounds	299
<i>Dolgushev T. V.</i> Operational reliability of the port hydraulic structures of the Russian Arctic in the conditions of forecast climate changes	300
<i>Dontsov A. A., Sutorikhin I. A., Kirillov V. V., Lovtskaya O. V.</i> Integrated geographic information system of the Ob-Irtysh river basin.....	201
<i>Eremina T. R., Vladimirova O. M., Savchuk O. P.</i> Impact of climate change and biogenic load on the Baltic Sea ecosystem based on modelling results	303
<i>Zuenko Yu. I.</i> Utilization of the nutrient flow from the Bering Strait in the Chukchi Sea.....	305
<i>Kozlovskaya O. N., Shibetskaya Yu. G., Razina V. A., Bezhin N. A., Dovhyi I. I.</i> Assessment of flows of trace elements, POPs and COPs with submarine groundwater discharge in the Cape Aya area.....	307
<i>Krylenko V. V., Krylenko M. V., Krylenko S. V.</i> Impact of interannual water level fluctuations on waterfowl colonies in the Kiziltash estuaries.....	308
<i>Krylenko D. V., Krylenko M. V.</i> Features of the dune zone in the northwestern part of the Vityazevskaya Bay-Bar.....	310
<i>Kudryashova Yu. V., Chizhova T. L.</i> Polycyclic aromatic hydrocarbons in the Central Basin of the Sea of Japan	312
<i>Kuznetsov A. S.</i> Regularities of formation of alongshore water circulation near the Northern Coast of the Black Sea	314
<i>Lednova Yu. A., Shilin M. B., Rumiantceva E. A., Gaynanova R. I., Menshakova M. Yu.</i> Impact of large man-made sites on the natural and environmental sustainability of the coastal zone of the Murmansk region based on the variability of the avifauna.....	316
<i>Lesin A. V., Pronin A. A., Rimskiy-Korsakov N. A.</i> Application of technical tools for geological and geophysical surveys on the Crimean peninsula shelf.....	318
<i>Lukashova O. A., Narivonchik S. V., Minkovskaya R. Ya., Diakov N. N., Malchenko Yu. A.</i> Problems and peculiarities of maritime delineation of estuaries of small rivers	320

<i>Masevich A. V.</i> Investigation of changes in oxygen distribution in the waters of the Bransfield Strait (Southern Ocean) in January 2022	322
<i>Machikhin A. S., Guryleva A. V., Burlakov A. B., Selyukov A. G., Bukova V. I., Khokhlov D. D., Rudenko E. E.</i> A method for non-invasive investigation of the cardiovascular system in early ontogeny in fish.....	323
<i>Machikhin A. S., Guryleva A. V., Burlakov A. B., Bukova V. I., Khokhlov D. D.</i> Non-invasive study of fish muscle tissue in early ontogeny	325
<i>Medvedeva V. N.</i> Problems of presenting natural processes in science museums	327
<i>Nazarov D. V.</i> Science and production cluster: a new approach to research, development and production of marine and bioresources of the Black Sea.....	329
<i>Nazarov D. V., Seleznev V. A.</i> Stability of concrete and mortars for maritime construction. New materials and test methods	330
<i>Narivonchik S. V., Lukashova O. A., Minkovskaya R. Ya., Diakov N. N., Malchenko Yu. A.</i> Water salinity variability of estuarine coastal area of small rivers in south-western Crimea in the current period.....	332
<i>Orekhova N. A., Varenik A. V., Kondratev S. I.</i> Vertical distribution of inorganic forms of nitrogen in the deep Black Sea	334
<i>Ostroukhov A. V., Klimina E. M.</i> Ecological aspects of spatial planning of coastal territories (Khabarovsk region).....	335
<i>Ostroukhov A. V., Kharitonova G. V.</i> The potential role of major floods in the pollution of the Amur estuary waters.....	337
<i>Parkhomenko A. V., Pankeeva T. V., Mironova N. V.</i> Ways to optimize protected areas in the southwestern part of Sevastopol	339
<i>Petrov K. M.</i> Tectonics and relief of the sea coastal zone as an environmental factor determining the composition and distribution of bottom biocenoses	341
<i>Pogozheva M. P., Kotova E. I., Mikusheva M. A., Kozhevnikov A. Yu., Danilova E. V., Yakushev E. V.</i> Entry of floating	

marine debris from the waters of the Northern Dvina River and Onega River (White Sea basin)	343
<i>Pomortsev O. A., Bolshiyarov D. Yu., Pravkin S. A.</i> Transgressive and regressive cycles of the East Arctic seas	344
<i>Rakitin T. D., Petrov K. M.</i> Tectogenic foundation of sea-shores zonation of the Sea of Japan.....	346
<i>Rudneva I. I., Medyankina M. V., Shaida V. G., Shaida O. V.</i> Toxicity analysis of drilling fluids using marine hydrobionts	348
<i>Rudneva I. I., Terekhova V. A., Kydraliev K. A., Poromov A. A., Paramonova A. I., Shaida V. G.</i> Ecotoxicological assessment of the water quality in Sevastopol bays	349
<i>Rumiantseva E. A., Gogoberidze G. G., Shilin M. B.</i> Information support system for decision-making process of environmental safety risk management in the Arctic coastal zone	350
<i>Sanin A. Yu.</i> Some problems of recreational development of coastal zones of the seas	351
<i>Semkin P. Yu., Tishchenko P. Ya., Pavlova G. Yu., Tishchenko P. P., Salagaev S. G., Shkirnikova E. M., Shvetsova M. G.</i> The carbonate estuarine system of the Shantar region (Sea of Okhotsk) during the 2016 summer flood.....	356
<i>Slizchenko E. V., Shibetskaya Yu. G., Bezhin N. A., Dovhyi I. I.</i> Concentration of ²¹⁰ Pb from seawater.....	357
<i>Terentiev A. S.</i> Effect of substrate type on species richness, abundance and biomass of zoobenthos in the Kerch Strait	358
<i>Filippova T. A., Vasechkina E. F.</i> Study of physico-chemical processes in the interaction of seagrass with the environment.....	360
<i>Kholmogorov A. O., Syrbu N. S., Steepochkin I. E., Khazanov E. S.</i> Comparative analysis of onshore, offshore and satellite observations of methane and carbon dioxide gas-geochemical fields on Sakhalin Island and its shelf.....	362
<i>Chantsev V. Yu.</i> Formation of storm conditions in the Sever Bay region of the Yenisei Bay	364
<i>Shevtsova E. A., Burdina E. I.</i> Patterns of organic carbon distribution in Azov Sea bottom sediments in July 2019.....	365

<i>Shibetskaya Yu. G., Kozlovskaya O. N., Slizchenko E. V., Razina V. A., Dovhyi I. I., Bezhin N. A.</i> Distribution of long-lived radium isotopes in the deep waters of the Black Sea	366
<i>Shilin M. B., Menshakova M. Ju., Gajnanova R. I., Lednova Ju. A., Rumiantceva E. A.</i> Waterbirds of the coastal zone of the Kola Bay (Barents Sea) in the area of the big technogenic object – the bridge over the Kola Bay.....	368
<i>Yasakova O. N., Berdnikov V. S.</i> Taxonomic composition and quantitative values of phytoplankton of Novorossiysk Bay in 2019	370
LIST OF ORGANIZATIONS	373
AUTHOR INDEX	381

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

РАЗВИТИЕ И ВАЛИДАЦИЯ МЕТОДА ВОССТАНОВЛЕНИЯ СПЕКТРОВ МОРСКОГО ВОЛНЕНИЯ ПО СПЕКТРАМ КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В. Г. Бондур¹, В. А. Дулов²✉, В. А. Козуб¹,
А. Б. Мурынин^{1,3}, М. В. Юровская², Ю. Ю. Юровский²

¹ НИИ «АЭРОКОСМОС», Москва, Россия

² МГИ, Севастополь, Россия

³ ФИЦ ИУ РАН, Москва, Россия

✉ dulov1952@gmail.com

Ключевые слова: спектры морских волн, спутниковые изображения, валидация дистанционных измерений.


Предложено развитие метода восстановления двумерных спектров возвышений и уклонов морского волнения по спутниковым изображениям высокого пространственного разрешения. Метод позволяет оценивать также угловые распределения ветровых волн. Выполнена валидация предложенного метода по результатам комплексного подспутникового эксперимента, проведенного в 2021 г. Эксперимент включал съемку акватории Черного моря со спутника WorldView-3 и контактные измерения в контролируемых условиях, выполненные с океанографической платформы МГИ РАН вблизи поселка Кацивели.

Было проведено восстановление пространственного спектра волнения по спутниковому изображению; пересчет этого спектра в частотно-угловой спектр; вычисление генерального направления волн и угловой ширины спектра в зависимости от частоты волн; сопоставление с результатами измерения частотно-углового спектра по контактными данным, полученным с помощью решетки струнных волнографов.


Установлено, что результаты измерений дистанционным и контактными методами согласуются в диапазоне частот 0,2–1,2 Гц, что соответствует длинам волн от 1 до 40 м.

Спутниковое исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-55-80021. Подспутниковый эксперимент проведен в рамках государственного задания МГИ РАН № 0555-2021-0005.

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ МОРСКИХ БЕРЕГОВ В УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ РЕКИ ЛЕНЫ

М. Н. Григорьев , Г. Т. Максимов

ИМЗ СО РАН, Якутск, Россия

 grigoriev@mpi.ysn.ru

Ключевые слова: эрозия берегов, термоабразия, криогенные геоморфологические процессы, потоки береговых наносов, дельты выдвигания.

Изучение эрозии морских берегов дельты Лены, площадь которой составляет около 30 000 км², а также в пределах прилегающих участков побережья, где велико отепляющее и распресняющее влияние речных вод, велось в период с 1982 по 2021 г. более чем на 30 ключевых участках. Изрезанные берега дельты протяженностью более 1000 км сложены в основном современными, голоценовыми и позднеплейстоценовыми толщами.

Современный и раннеголоценовый комплекс аллювиально-дельтовых и аллювиальных отложений дельты, включающий пойменные уровни и первую террасу, сложен преимущественно песком и супесью с крупными слоями торфа. Второй террасовый уровень, представленный поверхностью останцов позднеплейстоценово-раннеголоценовой аллювиальной равнины, характеризуется песчаным составом, а третья позднеплейстоценовая терраса – песчано-суглинистым. Грунтовый лед, представленный в основном ледяными жилами, присутствует в толщах всех геоморфологических уровней. Наиболее высокой объемной

льди́стостью (до 80%) характеризуются отложения ледового комплекса третьей террасы.

Наблюдения за темпами береговой эрозии проводились с помощью повторных тахеометрических съемок бровок и подножий береговых уступов, анализа разновременных аэрофото- и космоснимков, а также реперных сетей. Имеется несколько ключевых участков, где наблюдения за динамикой береговой эрозии проводятся ежегодно с 1982 г.

Помимо темпов эрозии берегов дельты и прилегающих к ней побережий исследовались объемы минерального и органического материала, поступающего из разрушающихся берегов в зону авандельты и на шельф моря Лаптевых.

В результате проведенных работ было выяснено, что средняя скорость отступления эрозионных морских берегов дельты составляет около 0,7–1,5 метров в год, а на прилегающих к дельте морских берегах, где распространены высокольдистые берега и развиты процессы термоабразии, – 1,5–2,5 метров в год при максимальной скорости в 25 метров в год.

Было оценено, что эрозия морских берегов дельты приводит к поступлению на прилегающий шельф моря Лаптевых около 7 млн тонн отложений в год, включая 0,2 млн тонн органического материала. Вклад наносов из разрушающихся берегов моря Лаптевых в бюджет терригенного материала, попадающего в его акваторию, оценивается нами в 60–65 млн тонн в год. Пока неизвестно, какое количество этого материала остается в пределах подводного берегового склона, а какая его часть уходит на шельф. Решение этой сложной задачи, входящей в наши планы, позволит уточнить реальное распределение терригенного материала, попадающего в Арктический бассейн.

ИССЛЕДОВАНИЕ САМООРГАНИЗАЦИИ ФРОНТА ГОЛЬФСТРИМА С ПОМОЩЬЮ ЧИСЛЕННЫХ И АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Н. А. Дианский^{1, 2, 3} ✉, В. В. Жмур^{4, 5}, А. В. Гусев^{3, 5}

¹ МГУ, Москва, Россия

² ГОИИ, Москва, Россия

³ ИВМ РАН, Москва, Россия

⁴ МФТИ, Долгопрудный, Россия

⁵ ИО РАН, Москва, Россия

✉ nikolay.diansky@gmail.com

Ключевые слова: общая циркуляция океана, вихререзающее моделирование океана, аналитические методы исследования.

Решается задача разработки теории и определения физических механизмов образования и самоорганизации вихревых океанических образований, в том числе фронтов. С помощью российской модели INMOM (Institute of Numerical Mathematics Ocean Model) и аналитических подходов изучена задача перехода от среднего состояния циркуляционного режима к вихревому. Для этого новая версия INMOM-NA (NA означает North Atlantic) реализована для акватории Северной Атлантики (СА) (с захватом большей части и Южной Атлантики) с пространственным разрешением в $1/25 \times 1/30^\circ$ по долготе и широте, позволяющим воспроизводить вихревую динамику в океана.

Для расчета атмосферного воздействия для INMOM-NA используются открытые данные JRA55-do (URL: <https://climate.mri-jma.go.jp/pub/ocean/JRA55-do/>), специально предназначенные для проведения автономных расчетов циркуляции глобального океана. Начальные данные о термохалинном состоянии океана для INMOM-NA берутся также из открытой базы данных WOA18 (URL: <https://www.ncei.noaa.gov/access/world-ocean-atlas-2018/>).

На основе экспериментов с INMOM-NA, выполненных в режиме «диагноз – адаптация», предложенном академиком

А. С. Саркисяном, и современных данных наблюдений проводится анализ самоорганизации фронта Гольфстрима – одного из наиболее характерных примеров плотностных фронтов в океане.

На основе изучения переходов из доступной потенциальной в кинетическую энергию решена задача о том, почему Гольфстрим имеет ширину приблизительно в 100 км. С помощью аналитических методов в рамках теории бароклинного двухслойного океана дано объяснение выявленной с помощью численных экспериментов самоорганизации фронта Гольфстрима.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 22-17-00267.

ВОЗБУЖДЕНИЕ ГЕОСФЕРНЫХ ВОЛН, ВЫЗВАННЫХ ВЗРЫВОМ ВУЛКАНА ХУНГА-ТОНГА-ХУНГА-ХААПАЙ

Г. И. Долгих

ТОИ ДВО РАН, Владивосток, Россия

✉ *dolgikh@poi.dvo.ru*

Ключевые слова: вулкан, взрыв, волны Лэмба, инфрагравитационные волны, сейши.

В докладе представлены результаты, полученные при обработке записей аномальных сигналов лазерного нанобарографа, двух лазерных деформографов, трех морских измерителей вариаций уровня моря, расположенных в Японском море, двенадцати измерителей вариаций уровня моря, расположенных в Тихом океане, возникших при взрыве вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай. Сгенерированные в атмосфере акустико-гравитационные волны Лэмба вызвали в земной коре возмущения аналогичных периодов, зарегистрированные лазерными деформографами. Атмосферный импульс и волны Лэмба при своем распространении над акваториями Тихого океана и Японского моря возбудили

в них метеоцунами на периодах, которые соответствуют сейшам (собственным колебаниям) мест расположения станций регистрации.

В записях всех регистраторов морского волнения мы не обнаружили признаков появления классического цунами, а в записях лазерных деформографов не обнаружили сигналов, которые соответствовали бы смещениям морского дна в месте взрыва вулкана, приведших к образованию классического цунами. При обработке записей лазерного нанобарографа и двух лазерных деформографов, расположенных на морской экспериментальной станции «м. Шульца» на побережье Японского моря выделены три прямых прохода и один антиподальный проход атмосферного импульса и волн Лэмба, образованных в результате взрыва вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай.

Установлено, что колебания земной коры в месте расположения лазерных деформографов, выделенные из их записей на периодах 17 мин 04.0 с, 8 мин 32.0 с и 4 мин 16.0 с, вызваны волнами Лэмба, сгенерированными импульсом, сформированным в результате взрыва вулкана. Показано, что волна Лэмба с периодом, равным 17 мин 04.0 с, имеет региональное происхождение и наблюдается в другие времена при возбуждении атмосферных процессов. Колебания, близкие к выделенному периоду 3 мин 06.2 с, регистрируются в различных регионах планеты (Забайкалье (Россия), Приморский край (Россия), Тайвань), что говорит об их планетарном происхождении. Первоисточник всех выделенных волновых процессов находится в атмосфере. Атмосферный импульс при своем распространении над акваториями Тихого океана в каждом отдельном регионе возбудил собственные колебания водных масс (сейши) в местах расположения регистрирующей аппаратуры. В Японском море, кроме региональных сейш, были возбуждены сейши Японского моря на периоде (30 мин 05.8 с – 31 мин 58.7 с), выделенные на всех станциях, расположенных в Японском море.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект № 22-17-00121 «Возникновение, развитие и трансформация геосферных процессов инфразвукового диапазона».

**ВЫТЯГИВАНИЕ МЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ ОКЕАНА
В СУБМЕЗОМАСШТАБНЫЕ ВИХРЕВЫЕ НИТИ
КАК СПОСОБ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ
ПО КАСКАДУ РАЗМЕРОВ.
ПРОЯВЛЕНИЕ СВОЙСТВ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ВЯЗКОСТИ
ПРИ ВЫТЯГИВАНИИ ВИХРЕЙ**

В. В. Жмур^{1,2}✉, **Т. В. Белоненко**³, **Н. В. Новоселова**³,
Б. С. Суетин², **Д. А. Арутюнян**²

¹ *ИО РАН, Москва, Россия*

² *МФТИ, Москва, Россия*

³ *СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия*

✉ *zhmur-vladimir@mail.ru*

Ключевые слова: геострофичность, квазигеострофическое приближение, мезомасштабные вихревые образования, субмезомасштабные вихревые образования, вихревые нити, филаменты, ядро вихря, геометрические параметры ядра, вытягивание ядра, энергия ядра, относительная потенциальная завихренность.

Один из вариантов «перекачки» энергии от мезомасштабных на субмезомасштабные процессы связан с удлинением вихрей при воздействии на них растягивающих неоднородных горизонтальных течений. При значительном удлинении вихря его энергия перераспределяется от исходного горизонтального размера вихря (мезомасштаба) на поперечный размер вихревой нити (субмезомасштаб).

Цель данной работы – определить физические условия неограниченного вытягивания вихрей, оценить выполнимость физических условий растяжения вихрей в течениях для реальных регионов Мирового океана, выяснить энергетические последствия этого явления.

В работе предложена карта поведения эллипсоидальных вихрей, представленная в удобных безразмерных координатах, описывающих относительную интенсивность вихря и вращательно-деформационных свойств течения, параметр Q .

Показано, что вихри могут неограниченно вытягиваться фоновым течением при $Q \leq 1$. Оценена доля вихрей, которые подвергнутся вытягиванию в нить в условиях $Q \leq 1$. По нашим оценкам, эта доля составляет величину порядка 75%. При условии $Q > 1$ вытягивание в нить запрещено. В реалиях Мирового океана неравенство $Q \leq 1$ выполняется на 60% площади Мирового океана. Доля вихрей из общего числа вихрей Мирового океана, которые подвергаются неограниченному вытягиванию, оценивается значением 40–45%.

Свойство вытягивания в нить мезомасштабных вихрей океана приводит к перераспределению энергии вихрей с мезомасштаба на субмезомасштаб (поперечный размер вихревой нити). Однако по расчетам увеличение длины вихрей ведет к уменьшению их механической энергии. Потери оцениваются в 20–60%. Не вся энергия мезомасштабных вихрей, которые подверглись сильному вытягиванию, доходит до субмезомасштабных размеров. Куда делась потерянная вихрями энергия? Потерянная вихрем энергия может вернуться только в фоновое течение. Это свойство можно трактовать как проявление отрицательной вязкости в системе ансамбль вихрей – фоновое течение, если считать мезомасштабные вихри как единичные объекты квазидвумерной турбулентности.


Отметим, что удлинение вихрей и, следовательно, отрицательная вязкость проявляется в пятнах (доменах) размером от пары сотен до тысячи километров, разбросанных по Мировому океану более или менее равномерно, с общей площадью 60% Мирового океана. Детальное изучение географического распределения доменов, а также их изменчивости свойств во времени еще предстоит сделать.

Работа поддержана в рамках проекта РНФ 22-17-00267.

ТУРБУЛЕНТНЫЙ МАССООБМЕН В СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ ЖИДКОСТИ И УСЛОВИЯ ЕЕ ТОНКОСТРУКТУРНОГО РАССЛОЕНИЯ

А. Г. Зацепин , В. В. Герасимов, А. Г. Островский

ИО РАН, Москва, Россия

 *zatsepin@ocean.ru*

Ключевые слова: плотностная стратификация, турбулентный обмен, условия формирования ступенчатой тонкой структуры.

Известно, что стратификация вод океанов и морей практически никогда не бывает «гладкой» и характеризуется наличием тонкой структуры (ТС), выражающейся в чередовании слоев и прослоек с различными значениями вертикальных градиентов характеристик (температуры, солености, плотности и др.). Известный исследователь тонкой структуры океана К. Н. Федоров представлял ее как своеобразный «почерк» перемешивания вод. Иногда этот почерк бывает каллиграфическим: при этом образуется регулярная ТС, состоящая из последовательности квазиоднородных слоев, разделенных плотностными границами. Примеры таких структур содержатся в монографиях К. Н. Федорова.

Из общих соображений следует, что тип перемешивания не должен оказывать решающего влияния на конечный результат преобразования изначально гладкого пикноклина в ступенчатую структуру. Данные теоретического и лабораторного моделирования показывают, что однородное по вертикали турбулентное перемешивание при определенных условиях трансформирует непрерывную плотностную стратификацию к ступенчатому виду. Один из механизмов тонкого расслоения пикноклина при турбулентном перемешивании был предложен Филлипсом и Посментьером. Он заключается в неустойчивости вертикального турбулентного обмена в стратифицированной жидкости. А именно: при сильной плотностной стратификации локальное увеличение вертикального градиента плотности имеет тенденцию к дальнейшему росту, так как вертикальный турбулентный поток массы

в этой области уменьшается, а ниже и выше, в области уменьшения градиента, – увеличивается. Такое поведение потока массы можно назвать аномальным, поскольку при нормальном потоке массы он прямо пропорционален градиенту плотности и случайно возникшие в турбулентном течении локальные области увеличения градиента должны «рассасываться». При аномальном вертикальном турбулентном потоке массы должны формироваться резкие плотностные ступеньки, а по соседству с ними – квазиоднородные слои.

Для того чтобы увязать между собой закономерности потока массы и вертикальной плотностной структуры водной среды, следует разобраться с тем, что происходит с «единичной» плотностной границей раздела и вертикальным турбулентным обменом при различном отношении потенциальной энергии стратификации и кинетической энергии турбулентности, определяемым числом Ричардсона.

В данной работе методом лабораторного моделирования количественно исследуется турбулентный обмен через плотностную (соленостную) границу раздела между двумя квазиоднородными слоями, перемешиваемыми системой вертикальных стержней, синхронно колеблющихся по горизонтали и проходящих через оба слоя. Одновременно с этим миниатюрным датчиком электропроводности измеряются профили солености в двухслойно-стратифицированной системе. Установлено, что при значениях числа Ричардсона больше критического ($Ri > Ri^*$), толщина границы раздела убывает или же имеет квазипостоянное значение, а в противоположной ситуации при $Ri < Ri^*$ – увеличивается, а сама плотностная граница рассасывается, вплоть до смешения слоев. При $Ri > Ri^*$ вертикальный поток массы является отрицательной степенной функцией градиента плотности (аномальный обмен), а при $Ri < Ri^*$ – положительной (нормальный обмен) в соответствии с механизмом Филлипса – Посментьера.

Работа выполнена в рамках темы госзадания FMWE-2021-0002 и при поддержке гранта РФФИ № 20-05-0496.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПАЛЕОКЛИМАТА, СОВРЕМЕННЫХ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ И РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЮЖНЫХ МОРЕЙ РОССИИ

Г. Г. Матишов^{1,2}

¹ ЮНЦ РАН, Ростов-на-Дону, Россия

² ММБИ, Мурманск, Россия

✉ matishov_ssc-ras@ssc-ras.ru

Ключевые слова: палеогеография, течения Азовского моря, *Cerastoderma*, *Spirogyra*, радиоэкологические исследования.

В результате палеогеографических и океанологических экспедиционных исследований включен комплекс работ, проводившийся в 2021 г. на косе Долгая Азовского моря. В него вошли: бурение скважин, измерение морских течений и термохалинной структуры прилегающих вод, а также отбора гидрохимических, гидробиологических, литологических проб и археологических находок. Измерения показали, что при любом направлении ветра у западного (азовоморского) берега косы Долгой существует постоянное вдольбереговое течение. При западном ветре оно является дрейфовым, при восточном – компенсационным. Такое течение способствует транспортировке ракушечного материала с Елениной и Железинской банок и продуктов абразии западного коренного берега. Установлено, что верхний водоносный горизонт островов косы Долгой хорошо промывается водами Азовского моря. Проведенные исследования позволили выявить различия в строении островов, составе отложений и донной фауны. Отложения островов на большую часть сложены ракушечным детритом различной степени раздробленности, органогенно-детритусовыми песками и отдельными створками раковин. В составе раковинного материала отложений преобладают створки моллюска *Cerastoderma*. Находки археологических артефактов на островной части косы относятся к различным эпохам и датируются II в. до н. э. и XIII–XIV вв. н. э.

В апреле – мае 2021 г. на фоне значительных колебаний солености в восточной части Таганрогского залива отмечены

обильные обрастания сетей нитчатой зеленой водорослью из рода *Spirogyra*. Азовское море, и особенно Таганрогский залив, является высокопродуктивным водоемом, характеризующимся повышенным содержанием органического вещества и биогенных элементов [Азовское море..., 2008]. Вероятно, перечисленные факторы среды и длительное маловодье реки Дон, приведшее к увеличению минерализации вод залива и смещению границы раздела пресных и морских вод [Матишов и др., 2017], а также хорошая прогреваемость мелководной прибрежной акватории могли способствовать освобождению какой-либо из экологических ниш в водном сообществе и стремительному размножению *Spirogyra* spp. Еще одним фактором, провоцирующим массовое развитие спирогиры, могли стать частые сгонно-нагонные явления, которые приводят к взмучиванию донных отложений и дополнительному обогащению водной толщи органическими веществами.

Каково будет место этой водоросли в биогеоценозе Таганрогского залива, закрепится ли она в сообществе, какова будет ее функциональная роль в нем и как будет проходить ее адаптация к внешним факторам среды, предстоит еще исследовать в будущем.

Южный макрорегион России находится в зоне влияния возможной эмиссии радиоактивных газоаэрозолей Ростовской и Воронежской АЭС. На основании многолетних данных экспедиционных радиоэкологических наблюдений ММБИ и ЮНЦ в Азово-Донском бассейне дано представление об общих закономерностях седиментации искусственных радионуклидов в водоемах. Несмотря на более чем 50-летний период международного запрета испытаний ядерного оружия в трех средах (1963 г.), глобальный фон радиоактивности и атмосферных выпадений сохраняется. Его устойчивость поддерживается в том числе поступлениями в атмосферу радиоактивных газоаэрозолей с выбросами атомных станций и других ядерных объектов.

Список литературы

1. Азовское море в конце XX – начале XXI веков: геоморфология, осадконакопление, пелагические сообщества. Апатиты : КНЦ РАН, 2008. Т. X. 295 с.
2. Матишов Г. Г., Григоренко К. С., Московец А. Ю. Механизмы осолонения Таганрогского залива в условиях экстремально низкого стока Дона // Наука Юга России. 2017. Т. 13, № 1. С. 35–43.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗООБМЕНА НАД ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ, ВКЛАД ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В ГЛОБАЛЬНЫЙ УГЛЕРОДНЫЙ ЦИКЛ

И. А. Репина

ИФА РАН, Москва, Россия
✉ *repina@ifaran.ru*

Ключевые слова: глобальный углеродный цикл, взаимодействие океана и атмосферы, углекислый газ, метан, пресноводные экосистемы.

Углеродный цикл Земли связан с наземными экосистемами, с океаном (включая неорганическую и органическую части) и геологическими процессами. В земной системе, наряду с физическими процессами, значимую роль играют также биогеохимические и биогеофизические процессы. Эти процессы взаимодействуют с физическими компонентами климата (атмосферой, океаном, деятельным слоем суши, криосферой), оказывая влияние на климатические характеристики на большом спектре пространственных и временных масштабов. Важнейшей частью глобального углеродного цикла является совокупность процессов, приводящих к обмену углекислым газом между атмосферой, океаном и наземными экосистемами. Наряду с этим углеродный цикл составляют процессы, связанные с другими углеродосодержащими соединениями – метаном, летучими органическими соединениями, угарным газом и т. д. Определяющей в глобальном углеродном цикле является роль океана – самого большого резервуара углерода в земной системе. При этом пресные воды суши при относительно небольшой площади покрытия вносят непропорционально большой вклад в выбросы парниковых газов. Потоки парниковых газов из неглубоких озер, рек и особенно водохранилищ могут иметь серьезные последствия для глобального углеродного цикла в условиях современных изменений климата.

В докладе будет рассмотрен механизм газообмена в системе океан – атмосфера, роль пузырькового переноса и аэрозолей. Будет представлен вклад океана в глобальный углеродный цикл на различных временных масштабах. Приведены различные способы определения характеристик газообмена в системе атмосфера – океан, в том числе модель газообмена NOAA-COARE и методы с использованием данных дистанционного зондирования. Также будет обсуждаться роль антропогенного воздействия в изменении баланса парниковых газов водных экосистем.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования, соглашение No. 075-15-2019-1621, гранта правительства Тюменского региона в рамках Программы Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра (Национальный проект «Наука») и гранта РФФИ 20-05-00773, а также при поддержке ПАО Русгидро (договор № 1010-416-2021).

СЕКЦИЯ 1
ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ И ЭВОЛЮЦИИ
МОРСКОЙ СРЕДЫ:
ОТ ИССЛЕДОВАНИЯ К ПРОГНОЗУ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА
В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ И СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ

А. Ю. Артамонов ✉, **И. А. Репина**, **Д. Г. Чечин**

ИФА РАН, Москва, Россия
✉ *sailer@ifaran.ru*

Ключевые слова: потоки тепла, фронтальные зоны, морское волнение, температура морской поверхности.

Приводятся результаты исследования процессов взаимодействия атмосферы и океана во время перегонных рейсов НИС «Академик Мстислав Келдыш» (Архангельск – Калининград, 2018 г.) и НИС «Академик Николай Страхов» (Калининград – Архангельск, 2019 г., и Архангельск – Калининград, 2021 г.).

В задачу исследований входило измерение составляющих энергетического баланса в приводном слое атмосферы. Проводился анализ энергообмена атмосферы и подстилающей поверхности при различных метеоусловиях и условиях атмосферной стратификации с помощью инструментальных измерений потоков тепла и импульса в приповерхностном слое атмосферы. Исследование динамики и структуры атмосферного пограничного

слоя во фронтальных зонах проводилось с применением контактных и дистанционных методов. Измерения температуры поверхности в ИК-диапазоне выполнялись с целью анализа температурных и структурных характеристик поверхности и их влияния на атмосферный пограничный слой и с целью валидации спутниковых данных.

Получены значения характеристик энергообмена (потоки тепла, влаги, импульса) при различных синоптических условиях (волнение моря от 1 до 7 баллов; холодные, теплые вторжения во фронтальных зонах).

Исследованы процессы энергообмена во фронтальных зонах. Установлено влияние зон океанских фронтов на интенсификацию энергообмена. Показана существенная пространственная и временная изменчивость характеристик энергообмена в прибрежной зоне, связанная с синоптическими условиями и влиянием берегов.

Исследована структура атмосферного пограничного слоя над морской поверхностью. Установлено влияние фронтальных зон на температурную структуру в атмосферном пограничном слое, а также влияние берега в прибрежной зоне.

Проведены непрерывные наблюдения за температурой морской поверхности, что позволяет усовершенствовать методики расчета турбулентных потоков над морской поверхностью и провести валидацию спутниковых данных.

В штормовых условиях проведены испытания нового оборудования: инерциальной навигационной системы (ИНС) Ellipse 2N и акустического пульсационного анемометра АМК-04. ИНС Ellipse 2N обладает достаточной высокой точностью, чтобы описать изменение углов крена и тангажа, связанного с волнением, а АМК-04 надежно работает при ветрах штормовой силы.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФРОНТАЛЬНЫХ ЗОН НОРВЕЖСКОГО МОРЯ

А. Ф. Ахтямова ✉, В. С. Травкин

СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия
✉ *avellinnaa@gmail.com*

Ключевые слова: фронтальные зоны, градиент температуры поверхности моря, Норвежское море, сезонная изменчивость, NAO, АО.

В настоящее время наблюдается все больший интерес к океаническим фронтам, поскольку с ними связаны различные явления и процессы, такие как высокая биологическая продуктивность, интенсивная конвекция, высокая скорость струйных течений, аномалии ветровых волн, местные погодные условия и др. [1, 2].

В данной работе использовалась база данных CMEMS (Copernicus Marine Environment Monitoring Service), продукт GLORYS12V1. Данные о температуре, солёности, уровне морской поверхности (1993–2019 гг.) осреднялись как за весь промежуток времени, так и для каждого сезона и года. Полученные данные использовались для расчета горизонтальных градиентов по алгоритму, представленному в работе [3]. Для сравнения с индексами NAO и АО считались площади фронтальных зон (ФЗ).

В исследуемый период были выделены следующие ФЗ: Исландско-Фарерская ФЗ, ФЗ Восточно-Исландского течения, Арктическая ФЗ, Прибрежная ФЗ и ФЗ Западного Шпицбергена.

Термические фронтальные зоны наиболее ярко выражены в зимнее время года, температурный максимум в которых больше летнего практически в два раза в каждой выделенной ФЗ. Рассчитанные градиенты солёности были выражены ярче в летнее время года, что подтверждает опресняющий эффект

стока рек и ледников в данном районе. Динамические фронтальные зоны связаны по большей части с донной топографией, а также приходится на ФЗ с высокими значениями термохалинных характеристик.

При рассмотрении градиентов термохалинных характеристик с увеличением глубины было выявлено, что фронтальные зоны уменьшаются в своих размерах и концентрируются ближе к границам Лофотенской котловины (энергоактивная зона), где наблюдается циклоническое движение вод вдоль изобат.

Сезонная изменчивость ФЗ показала ярко выраженную корреляцию с индексом NAO всех выделенных ФЗ. С АО взаимосвязи обнаружено не было.

Изменчивость среднегодовых значений площадей фронтальных зон с 1993 по 2019 г. показала незначительные колебания от года к году и отрицательную корреляцию двух ФЗ в районе Исландии с индексом NAO.

Полученные результаты позволяют лучше понять характер проявления климатической крупномасштабной Полярной фронтальной зоны, которая является важной океанографической чертой, поскольку разделяет две основные водные массы Норвежского моря, теплые и соленые атлантические воды от холодных и распресненных арктических вод и играет важную роль в функционировании морской экосистемы.

Список литературы

1. Belkin I. M. Front // *Interdisciplinary Encyclopedia of Marine Sciences* / J. W. Nybakken, W. W. Broenkow, T. L. Vallier (Eds.). Danbury, Connecticut, USA : Grolier Academic Reference, 2002. Vol. 1 : A – F. P. 433–436.
2. Life on the edge: Marine life and fronts / D. B. Olson [et al.] // *Oceanography*. 1994. Vol. 7, No. 2. P. 52–60. <https://doi.org/10.5670/oceanog.1994.03>.
3. Воды Баренцева моря: структура, циркуляция, изменчивость / В. К. Ожигин [и др.]. Мурманск : ПИНРО, 2016. 259 с.

ГЕОСТРОФИЧЕСКАЯ И ВЕТРОВАЯ СОСТАВЛЯЮЩИЕ АНТАРКТИЧЕСКОГО ЦИРКУМПОЛЯРНОГО ТЕЧЕНИЯ

В. В. Багатинская^{1,2}, Н. А. Дианский^{1,2,3,✉}, А. В. Гусев^{1,2,3,4},
Е. Г. Морозов⁴, В. А. Багатинский^{1,2,3,4}

¹ МГУ, Москва, Россия

² ИВМ РАН, Москва, Россия

³ ГОИН, Москва, Россия

⁴ ИО РАН, Москва, Россия

✉ nikolay.diansky@gmail.com

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

Был изучен вклад ветрового и термохалинного факторов в формирование средней климатической структуры Атлантического циркумполярного течения (АЦТ) с помощью численного моделирования с использованием модели общей циркуляции океана (МОЦО) INMOM в режиме «диагноз – адаптация». Исследования проводились для летних (февраль) и зимних (август) условий. Струя АЦТ, вызванная термохалинными факторами, ограничивается в приповерхностном слое температурным диапазоном ~ 0–6 °С зимой и ~ 3–9 °С летом. В приповерхностном слое АЦТ поворачивается влево (Южное полушарие) согласно теории Экмана относительно направления ветрового напряжения. Из-за более сильных ветров зимой отклик в скорости дрейфа сильнее, чем летом.

Показано, что, несмотря на сильные ветры над Южным океаном, термохалинный фактор образования АЦТ в целом намного больше, чем ветровой фактор. Тем не менее вклад ветровой составляющей в увеличение зональной скорости в проливе Дрейка у Антарктиды может достигать в среднем 15–20% от термохалинной скорости в 20-метровом слое. Влияние дрейфовой динамики на широтное изменение средней динамической топографии (СДТ) проявляется в том, что ветер способствует уменьшению СДТ более чем на 6 см от открытых океанических областей Южного океана до Антарктиды. Влияние ветра на формирование

баротропной функции тока (БФТ) более выражено, чем на СДТ. Интенсивность АЦТ из-за ветрового воздействия увеличивается в среднем на 9–11 Св в феврале и на 12–17 Св в августе. В то же время летом наибольшее усиление БФТ на 12 Св за счет ветра приурочено к сектору АЦТ к югу от Африки, а зимой на 18 Св к югу от Австралии. В проливе Дрейка ветровая составляющая возрастает меньше, чем над АЦТ в целом: на 8 Св летом и на 12 Св зимой.

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

ВКЛАДЫ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И СОЛЕННОСТИ В ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕНДОВ ТЕРМОХАЛИННОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ В 1951–2017 ГОДЫ

В. А. Багатинский^{1, 2, 3, 4, ✉}, **Н. А. Дианский**^{1, 2, 3}

¹ МГУ, Москва, Россия

² ИВМ РАН, Москва, Россия

³ ГОИИ, Москва, Россия

⁴ ИО РАН, Москва, Россия

✉ vladbag38@gmail.com

Ключевые слова: климат, циркуляция, АМОЦ, Северная Атлантика, объективный анализ, EN4, моделирование, INMOM.

Для выяснения роли термохалинных факторов в формировании климатических трендов термохалинной циркуляции в Северной Атлантике (СА) были определены вклады изменений потенциальной температуры и солености в тренды функции тока Атлантической меридиональной опрокидывающейся циркуляции (АМОЦ). Для этого с помощью модели INMOM (Institute of Numerical Mathematics Ocean Model) и данных электронного атласа EN4 (MetOffice, Великобритания) методом «диагноз – адаптация» восстанавливалась циркуляция СА за характерные периоды 1951–2017, 1951–1990 и 1991–

2017 г. В двух выбранных периодах 1951–2017 и 1951–1990 г. все основные особенности изменений в АМОЦ объясняются главным образом температурными изменениями, которые преобладают над соленостными. При этом наблюдаемый тренд на ослабление основного ядра функции тока АМОЦ с 1991 по 2017 г. вызывается изменениями солености, а на усиление основного ядра функции тока АМОЦ с 1951 по 1990 г. – изменениями потенциальной температуры. Обнаружена связь между трендами максимума функции тока АМОЦ на 38,5° N и разностями между зонально-осредненными уровнями моря на 34,5° N и 57,5° N, которые, возможно, могут использоваться в качестве индекса изменчивости функции тока АМОЦ.

Результаты экспериментов подтвердили базовые положения гипотезы Шулейкина о взаимосвязи выноса льдов и поступления Атлантических вод в Северный Ледовитый океан.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ № 19-35-90132 (разработка методики проведения экспериментов, расчет и анализ трендов термохалинных характеристик СА) и РНФ № 19-17-00110-П (загрузка и обработка данных, расчет коэффициентов множественной регрессии, расчет и анализ трендов характеристик циркуляции СА).

СВЯЗЬ СОБЫТИЙ БЛОКИРОВАНИЯ В АТМОСФЕРЕ С УСТОЙЧИВЫМИ ВЕТРАМИ ЗИМОЙ НАД РЕГИОНОМ ЧЕРНОГО МОРЯ

Д. В. Башарин ✉, И. Г. Шокурова

МГИ, Севастополь, Россия

✉ dbasharin@rambler.ru

Ключевые слова: Черное море, устойчивые ветры, высота изобарической поверхности 500 гПа, атмосферные блокинги, Европейский регион.

Ветровой режим над морем в значительной степени обуславливает структуру циркуляции вод и перемешивание в верхнем

слое моря, что определяет важность его изучения. Знание ветрового режима и преобладающих направлений важно для изучения изменения уровня вод в прибрежных районах, апвеллингов, сгонно-нагонных явлений, понимания особенностей функционирования экосистемы Черного моря. Особенно интересны случаи, когда направление ветра над акваторией моря устойчиво сохраняется в течение достаточно длительного времени. Поэтому в работе выполнялась идентификация таких случаев на основе 6-часовых данных о скорости ветра (м/с) на высоте 10 м (атмосферного реанализа ERA-Interim 1979–2016 гг.).

Как правило, случаи с устойчивыми метеорологическими условиями связывают с квазистационарными атмосферными ситуациями, возникающими вследствие атмосферного блокирования. В настоящее время под блокингом понимается ситуация в атмосфере средних широт, когда устойчивый западный поток сменяется длительными меридиональными составляющими переноса в регионе блокирования с типичной продолжительностью от 5 дней и до нескольких недель. Для численных расчетов блокингов Тибальди и Молтени создали индекс, который позволяет идентифицировать и охарактеризовать повторяемость блокирующих ситуаций в Северном полушарии. Согласно методике расчета индекса, для каждой широты вычисляются северный (GHGN – geopotential height gradient north) и южный (GHGS – geopotential height gradient south) градиенты между значениями геопотенциальной высоты изобарической поверхности 500 гПа. Блокирование имеет место в случае, когда выполняется условие $GHGS > 0$, $GHGN \leq -10$ м/град. Данные о геопотенциале изобарической поверхности 500 гПа были получены из атмосферного реанализа ERA-Interim 1979–2016 гг.; в работе также использовались данные о приземном давлении (гПа). Рассматривался регион Европы, ограниченный координатами 35° – 75° с. ш., 10° з. д. – 100° в. д.

В итоге в работе проанализированы с особым вниманием к событиям блокирования атмосферные условия в приземном слое и средней тропосфере для зимних случаев возникновения ветра с устойчивым направлением над регионом Черного моря. Анализировались главные моды распределения зимних аномалий геопотенциальной высоты изобарической поверхности 500 гПа

и поля приземного давления (имеющих вклад в изменчивость 61 и 43% соответственно) для дат случаев с устойчивыми ветрами. Расчеты индекса Тибальди и Молтени подтвердили, что полученное пространственное распределение первой моды связано главным образом с имеющими место продолжительными ситуациями блокирования в средних широтах Европейского региона. В Черном море такие события блокирования сопровождаются преимущественно устойчивыми северо-восточными ветрами.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме FNNN-2021-0002 «Фундаментальные исследования процессов взаимодействия в системе океан-атмосфера, определяющих региональную пространственно-временную изменчивость природной среды и климата» (шифр «Взаимодействие океана и атмосферы»).

ПЕРЕНОС ТЕПЛА МЕЗОМАСШТАБНЫМИ ВИХРЯМИ В СЕВЕРО-ЕВРОПЕЙСКОМ БАССЕЙНЕ

И. Л. Башмачников^{1,2,3}✉, П. А. Голубкин², И. Е. Козлов³

¹ СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

² Фонд «Нансен-центр», Санкт-Петербург, Россия

³ МГИ, Севастополь, Россия

✉ i.bashmachnikov@spbu.ru

Ключевые слова: мезомасштабные вихри, 3D-характеристики, скорость распространения, перенос тепла в Арктику, Северо-Европейский бассейн.

Океанические вихри часто являются важным региональным фактором переноса аномалий тепла и соли, эффективно осуществляющих трансфронтальный обмен. В работе исследуются трехмерные характеристики мезомасштабных вихрей в Норвежском и Гренландском морях, а также оценивается их влияние на интенсивность переноса тепла в Арктику. В работе использовались массивы спутниковой альтиметрии и натуральных наблюдений.

Показано, что мезомасштабные вихри, выявляемые в альтиметрии (радиусом более 15–20 км), в центральной части

Гренландского моря меньше по размерам, значительно менее интенсивны, имеют меньшую вертикальную мощность и значительно меньшие аномалии температуры ядра по сравнению с вихрями Лофотенской котловины Норвежского моря.

В целом вихри циклонически огибают Норвежско-Гренландский регион, двигаясь на север и северо-запад в Норвежском море, на запад в проливе Фрама и на юг в Гренландском море. Области, где средние скорости движения вихрей направлены на запад от кромки шельфа Скандинавии и Шпицбергена, соответствуют известным областям вихреобразования Норвежского и Западно-Шпицбергенского течений [1, 2]. Также наблюдается выраженное циклоническое движение вихрей в масштабах Лофотенской котловины. Имеются признаки слияния вихрей по мере их продвижения на северо-запад, что ранее отмечалось только для квазипостоянного Лофотенского вихря.

Показано, что около 60 ТВт тепла, которые восточная ветвь Норвежского течения теряет между разрезами Свиной и Соркапп, извлекается из течения мезомасштабными вихрями. Это сравнимо с адвективным переносом океанического тепла в Баренцевом море или с теплом, поступающим с юга в Западно-Шпицбергенское течение, а также со среднегодовой интегральной теплоотдачей Лофотенского бассейна в атмосферу.

Тем не менее рассмотренный поток тепла от восточной ветви Норвежского течения с мезомасштабными вихрями не может полностью закрыть тепловой баланс верхнего слоя Лофотенской котловины, где значительное количество тепла также расходуется на вертикальное перемешивание с нижележащими гренландскими водами [3]. Приток тепла с вихрями через южную границу бассейна и от западной ветви Норвежского течения относительно невелик. Анализ радиолокационных изображений и результаты численной модели FESOM очень высокого разрешения позволяют предположить, что вихри радиусом 2–5 км, хотя и малы, могут вносить существенный интегральный вклад из-за их значительно большего количества.

Относительно небольшая межгодовая изменчивость числа генерируемых вихрей может приводить лишь к относительно малым колебаниям интегрального вихревого переноса тепла на запад (10 ТВт

или 10% от среднего значения). Однако увеличение средней температуры аномалий ядер вихрей на 1 °С увеличивает поток тепла с вихрями от восточной границы Лофотенской котловины почти в два раза. Это позволяет говорить об эффективном демпфировании за счет вихреобразования колебаний температуры вод восточной ветви Норвежского течения, но не колебаний расхода течения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Санкт-Петербургского государственного университета, проект № 93016972, и Российского научного фонда (РНФ) № 21-17-00278.

Список литературы

1. Surface circulation in the Nordic Seas from clustered drifters / I. Koszalka [et al.] // Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers. 2011. Vol. 58, issue 4. P. 468–485. DOI: 10.1016/j.dsr.2011.01.007.
2. Trodahl M., Isachsen P. E. Topographic influence on baroclinic instability and the mesoscale eddy field in the northern North Atlantic Ocean and the Nordic Seas // Journal of Physical Oceanography. 2018. Vol. 48, issue 11. P. 2593–2607. DOI: 10.1175/JPO-D-17-0220.1.
3. The coherence of the oceanic heat transport through the Nordic seas: oceanic heat budget and interannual variability / A. V. Vesman [et al.] // Ocean Science Discussions. 2020. 24 p. (Preprint). <https://doi.org/10.5194/os-2020-109>.

СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ ЖИДКОСТИ ПОД ПЛАВАЮЩИМ УПРУГИМ ЛЬДОМ ПРИ НЕЛИНЕЙНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ПРОГРЕССИВНЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН

Ант. А. Букатов

МГИ, Севастополь, Россия
✉ bukatov.ant@mhi-ras.ru

Ключевые слова: нелинейное взаимодействие волн, изгибно-гравитационные волны, волны конечной амплитуды, движение частиц жидкости.

На основе уравнений нелинейной динамики однородной идеальной жидкости с плавающим ледовым покровом выполнено исследование зависимости скорости движения частиц жидкости от

характеристик плавающего упругого льда в направлении распространения волны, сформированной при нелинейном взаимодействии волновых гармоник.

Изучено влияние толщины и модуля упругости ледового покрова, нелинейности вертикального ускорения льда, амплитуды второй взаимодействующей гармоники на составляющие орбитальной скорости движения жидких частиц.

Получено, что влияние нелинейности ускорения вертикальных смещений плавающего льда на составляющие скорости движения жидкости проявляется в увеличении фазового сдвига. Смена знака второй взаимодействующей гармоники приводит к существенному преобразованию профилей и уменьшению фазы. Увеличение значения модуля нормальной упругости приводит к увеличению фазового сдвига и незначительному росту максимальных величин составляющих скорости движения жидкости с плавающим льдом в сравнении со случаем, когда лед отсутствует. Растет фаза и при увеличении толщины упругого льда.

Отношение максимальных величин вертикальной и горизонтальной составляющих скорости в рассматриваемом диапазоне волновых чисел меньше единицы. Следовательно, при распространении волны, сформированной при нелинейном взаимодействии волновых гармоник, вертикальная составляющая скорости не превосходит горизонтальную. Смена знака амплитуды второй взаимодействующей гармоники при наличии плавающего упругого льда имеет заметное влияние на отношение максимальных величин составляющих скорости.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0555-2021-0004.

ВЛИЯНИЕ РЕЧНОГО СТОКА НА ПЛОТНОСТНУЮ СТРАТИФИКАЦИЮ ВОД В МОРЯХ БАРЕНЦЕВОМ, КАРСКОМ, ЛАПТЕВЫХ, ВОСТОЧНО-СИБИРСКОМ

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

МГИ, Севастополь, Россия

✉ *pavlenko.ea@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: Арктика, Баренцево море, Карское море, море Лаптевых, Восточно-Сибирское море, частота Вьяйсяля – Брента, вертикальная структура вод, сток рек, река Печора, река Обь, река Лена, река Енисей, река Колыма, река Хатанга.

Климатические изменения последних десятилетий относятся к числу важнейших проблем современности. Наблюдаются значительные колебания площади морского льда, зафиксированы тенденции увеличения стока рек бассейна Северного Ледовитого океана. Распространение и трансформация пресноводного стока в Арктике играют ключевую роль при формировании сезонного льда, оказывают влияние на формирование гидрологического режима.

В настоящей работе на основе данных реанализа ECMWF ORAP5 о среднемесячных значениях температуры и солёности и данных о среднемесячных расходах воды на гидрологических постах с 1979 по 2013 г. исследовано влияние стока арктических рек на плотностную стратификацию морей Баренцева, Карского, Лаптевых и Восточно-Сибирского. Определены районы с наиболее выраженным откликом на изменение объёмов стока рек. Для этого были рассчитаны среднемесячные значения плотности, определены максимумы частоты Вьяйсяля – Брента по глубине и глубины их залегания по акваториям рассматриваемых морей.

Получено, что наибольшие градиенты плотности во всех исследуемых морях наблюдаются в летние месяцы, что связано с таянием льда и увеличением речного стока. На основе корреляционного анализа установлено, что влияние стока Печоры наибо-

лее выражено в юго-восточной части Баренцева моря и юго-западной части Карского моря. Области проявления стока Оби находятся в юго-западном, северо-западном и центральном районах Карского моря. Влияние стока Енисея проявляется в восточной части Карского моря и в северо-западном районе моря Лаптевых. Кроме того, на западный и северо-западный районы моря Лаптевых оказывает воздействие сток реки Хатанга. Области влияния стока Лены находятся в прибрежной зоне шельфа моря Лаптевых. На плотностной стратификации Восточно-Сибирского моря заметно отражается сток Колымы.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0555-2021-0004.

ГЕНЕРАЦИЯ ВНУТРЕННИХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН В ОКЕАНЕ ПРИ НАБЕГАНИИ СДВИГОВОГО ТЕЧЕНИЯ НА ПОДВОДНОЕ ПРЕПЯТСТВИЕ

В. В. Булатов

ИПМех РАН, Москва, Россия
✉ *internalwave@mail.ru*

Ключевые слова: внутренние гравитационные волны, сдвиговое течение, стратифицированный океан, фазовые картины.

В реальных природных стратифицированных средах (океан, атмосфера) генерация и распространение внутренних гравитационных волн (ВГВ) в значительной степени связаны с вертикальной и горизонтальной динамикой фоновых сдвиговых течений. В океане такие течения могут проявляться, например, в области сезонного термоклина и оказывать заметное влияние на эволюцию ВГВ. Для исследования механизма взаимовлияния течений и ВГВ можно рассматривать различные модельные представления частоты плавучести и сдвиговых течений.

Как один из заметных механизмов возбуждения ВГВ в океане можно рассматривать, например, генерацию волн фоновым (или периодическим приливным) течением на склонах поперечных хребтов в проливах и в подводных каналах. Поэтому целью

настоящей работы является построение решений, описывающих генерацию ВГВ стратифицированным сдвиговым потоком, набегаящим на одиночное подводное препятствие. Генерация ВГВ зависит от интенсивности фонового среднего или периодического течения, стратификации океана, расположения подводного препятствия относительно потока и геометрии склона. Если подводный хребет перпендикулярен течению, то генерация усиливается по сравнению с расположением хребта вдоль потока. Если склон подводного препятствия близок к наклону характеристической поверхности для ВГВ заданной частоты, то это также усиливает волновую генерацию, поскольку движение частиц во внутренней волне происходит по наклонным эллипсам.

Рассмотрена задача о генерации внутренних гравитационных волн, возникающих при набегании стратифицированного потока со сдвиговым течением на одиночное подводное препятствие. Предполагается, что частота плавучести постоянна, сдвиговое течение линейное и одномерное, высота обтекаемого препятствия мала по сравнению с глубиной океана. Получены интегральные представления решения при выполнении условия устойчивости Майлса – Ховарда. Аналитически построены решения краевой спектральной задачи, которые выражаются через модифицированные функции Бесселя мнимого индекса.

Приведены результаты численных расчетов возбуждаемых полей и обсуждены особенности дисперсионных соотношений и трансформации волновых полей в зависимости от параметров генерации. Основные параметры течения, форма обтекаемого подводного препятствия, а также угол набегания сдвигового течения могут являться причиной заметной пространственной трансформации возбуждаемых вниз по потоку волновых полей. Поскольку наиболее сильным генератором ВГВ в океане является набегание приливных течений на подводный склон, то такой механизм представляется наиболее вероятным источником интенсивных внутренних волн. Генерация ВГВ приливным течением приводит в дальнейшем к возбуждению ВГВ более высокой частоты в арктических условиях в зависимости от разных условий среднего состояния океана.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант 20-01-00111А.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЭКСТРЕМУМЫ ИЮЛЯ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ПРИМОРСКОГО КРАЯ ЗА 90 ЛЕТ (ЯПОНСКОЕ МОРЕ, ТАТАРСКИЙ ПРОЛИВ)

Л. А. Гайко^{1,2}

¹ *ТОИ ДВО РАН, Владивосток, Россия*

² *Дальрыбвтуз, Владивосток, Россия*

✉ *gayko@poi.dvo.ru*

Ключевые слова: аномалии температуры, гидрометеорологические станции, климатические нормы ВМО, температура воды, температура воздуха, температурный тренд.

Приморский край омывается с юга и юго-востока водами Японского моря, с северо-востока – водами Татарского пролива. Этот район освещают пять гидрометеорологических станций (ГМС) Приморского УГКС, расположенных вдоль побережья Приморья: три на юге, на берегу зал. Петра Великого (ГМС Посъет, Владивосток и Находка); две на восточном побережье (Рудная Пристань (СЗ Японского моря) и Сосуново (ЮЗ Татарского пролива)). В работе использовался ряд данных наблюдений на ГМС за поверхностной температурой воды и температурой воздуха в июле за период 1930–2021 гг.

В связи с тем, что в июле 2021 г. в Приморье были зарегистрированы экстремально высокие температуры, целью работы явилось изучение температурных особенностей июля вдоль побережья Приморья за период наблюдений.

Для этого были исследованы особенности многолетней динамики средней месячной температуры воды и воздуха в июле в прибрежной зоне Приморского края. Значимый на 5%-ном уровне положительный линейный тренд в ходе температуры воды в июле выявлен на ГМС Посъет, Владивосток и Сосуново, а в ходе температуры воздуха – на всех станциях, исключая ГМС Рудная Пристань, хотя наклон линии регрессии положительный. Однако ход температуры прибрежных вод имеет более сложный характер, чем температуры воздуха. На температурный режим этого района значительное влияние оказывает холодное Приморское течение, а также апвеллинги, что подтверждается

наличием низкого коэффициента парной корреляции между температурой воды и воздуха на станциях восточного побережья и на ГМС Находка. Сравнение среднемесячных значений аномалий температуры воды и воздуха в июле за последние 30 лет по декадно с базовой нормой ВМО показало, что на всех станциях для всех трех декад отмечены только положительные аномалии, то есть июли стали теплее. Отметим, что при сравнении обеих сред по декадам и между собой наблюдается несогласованность. По температуре воды для южных станций самым теплым был период 2011–2020 гг., а для восточных станций он стал наиболее холодным. Температура воздуха, за исключением Владивостока, больше всего повысилась в последнее, а меньше всего – в первое десятилетие нового века.

Интересно отметить, что за последние 30 лет относительно базового периода ВМО (1961–1990 гг.) больше всего температура обеих сред повысилась во все декады на самой северной ГМС Сосуново. Экстремальные положительные аномалии средней температуры воды в июле 2021 г. от среднего многолетнего значения были отмечены только на ГМС Посъет и Владивосток, а температуры воздуха – на ГМС Посъет, Находка и Рудная Пристань. На станциях восточного побережья в июле 2021 г. аномалии температуры воды или колебались около среднего многолетнего значения (Сосуново), или были даже отрицательными (Рудная Пристань). Максимальные и минимальные рекорды аномалий средней температуры воздуха в июле за период наблюдений принадлежат ГМС Находка.

Таким образом, средняя температура воздуха в июле 2021 г. на всех прибрежных станциях значительно превышает все климатические нормы ВМО, температура воды – только на южных станциях, а на станциях восточного побережья она даже ниже климатических норм.

АНАЛИЗ ПРЕДЕЛОВ ПРОЧНОСТИ ЛЬДА НА ОДНООСНОЕ СЖАТИЕ В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ОХОТСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ПОЛЕВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И РАСЧЕТОВ

С. В. Годецкий [✉], О. А. Кузнецова, О. В. Кокин,
А. С. Цвечинский

ГОИИ, Москва, Россия

[✉] *godetskiystas@ya.ru*

Ключевые слова: морской лед, однолетний лед, Охотское море, предел прочности на одноосное сжатие.

В докладе проведен сравнительный анализ данных о прочности морского льда, полученных в ходе полевых исследований в Охотском море и по результатам теоретических расчетов, с целью проверки применимости аналитических методик оценки прочности льда к условиям западной части Охотского моря. Для определения предела прочности льда использовались две группы образцов. К первой группе относятся образцы, полученные из ровного дрейфующего льда, ко второй – образцы, полученные из блоков льда, в результате динамических процессов оказавшихся на поверхности ровного дрейфующего льда и образующих различные ледяные формы. Для классификации и выделения ровного дрейфующего льда из массива полевых данных оценена толщина льда на момент проведения работ (апрель 2016 и 2019 гг.) расчетными методами. При расчетах по эмпирическим формулам используются измеренные характеристики температуры и электропроводности льда. Проведен анализ полученных расчетных данных о пределах прочности льда и сравнение их с натурными данными.

Из полученных результатов вычисления прочностных характеристик можно сделать вывод, что для получения экстремально возможных значений прочности необходимы натурные данные. Некоторые из рассмотренных эмпирических формул больше подходят для оценки осредненных показателей прочности морского льда в рассматриваемом районе Охотского моря.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЛН ЦУНАМИ

Р. Н. Гусаров [✉], И. Г. Кантаржи

НИУ МГСУ, Москва, Россия

[✉] *romanzets@yandex.ru*

Ключевые слова: цунами, форма волны, физическое моделирование, профиль волны, цунамигенератор.

Одними из опаснейших природных явлений, существующих на планете, являются волны цунами. Данные волны могут привести к страшным катастрофам, при которых могут оказаться в опасности жители населенных пунктов. Защита населения прибрежных городов, находящихся в цунамиопасных зонах, – очень важная задача на сегодняшний день, но существует ряд вопросов, которые касаются поведения цунами на мелководье и в прибрежной зоне. При подходе к берегу волна цунами может трансформироваться в зависимости от различных факторов, таких как рельеф береговой зоны, конфигурация береговой полосы, резкое уменьшение глубины и т. п. Данный процесс изменения формы цунами очень опасен, так как волна может сильно увеличиться или в результате нелинейных процессов превратиться в волновой бор.

Изучение цунами с теоретической и практической стороны поможет больше узнать о характеристиках данных волн в береговой зоне и учесть их при проектировании гидротехнических сооружений, по этой причине последние годы в НИУ МГСУ проводятся работы по исследованию волн цунами и физическому моделированию данных волн. В гидравлической лаборатории университета собрана экспериментальная установка, позволяющая генерировать различные по форме волны цунами. Моделирование волн происходит благодаря работе вакуумного насоса, который производит откачивание воздуха из резервуара, установленного в гидравлический лоток, заполняя данную емкость водой из лотка. Как только вода достигает верхних отметок резервуара, открывается

воздушный клапан, происходит резкое обрушение накопленного объема воды, и на выпускном отверстии резервуара формируется волна.

В представленном докладе проведен теоретический анализ изменения формы цунами при выходе волны к берегу, кроме этого, представлены основные этапы лабораторных испытаний по моделированию цунами в НИУ МГСУ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ВАЛИДАЦИИ РЕГИОНАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ МОДЕЛИ NEMO ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В СТРУКТУРЕ ВОД СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

А. В. Даньшина

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

Ключевые слова: Арктический бассейн, Северный Ледовитый океан, численное моделирование, модели океана, морской лед.

Современное потепление климата Земли с сокращением объема морского льда в Арктике сказывается и на вертикальной структуре морей Северного Ледовитого океана. Для исследования изменений, происходящих в структуре водной толщи Арктического бассейна, помимо натуральных данных и спутниковой информации, прибегают также к данным, полученным с помощью численного моделирования.

В докладе рассматриваются результаты валидации адаптированной к условиям Арктики региональной конфигурации модели NEMO (URL: <https://www.nemo-ocean.eu/>) и результаты воспроизведения вертикального распределения океанографических параметров на основе ретроспективных расчетов. В данной региональной модели NEMO блок, отвечающий за описание гидро- и термодинамических процессов, проте-

кающих в океане (NEMO-OCE), совмещен с блоком морского льда (NEMO-SI³). Модель построена на криволинейной ортогональной сетке с высоким пространственным разрешением до 3 км в морях Российского сектора Арктики. В качестве атмосферного форсинга выступают данные реанализа ERA5. При задании воздействия на открытых жидких границах используются данные реанализа CMEMS (URL: <https://marine.copernicus.eu/>). Модель также учитывает приливы – на открытых границах задаются приливные гармоники, рассчитанные по инверсионной приливной модели TPXO7.2.

В процессе валидации модели использовались натурные данные, полученные в ходе экспедиций NABOS (URL: <https://uaf-iarc.org/NABOS/>). Были обработаны многолетние данные о температуре и солености зондов SBE37 и данные о скоростях течений с ADCP, установленных на автономных буйковых станциях ПАБС за период 2013–2015 гг. и 2015–2018 гг. Валидация модели осуществлялась также и на основе данных ИТР (Ice Tethered Profiler) океанографического института Woods Hole Oceanographic Institution (URL: <https://www2.whoi.edu/site/itp/data/>). Были также привлечены спутниковые данные, в том числе данные о толщинах льда CryoSAT-2.

Проведенный анализ оценок точности (RMSE, MAE, MBE, CC) воспроизведения океанографических параметров, а также сравнительный анализ с данными наблюдений на разрезах, выполненных в экспедициях NABOS, показал адекватную работу по восстановлению термохалинных полей в ходе ретроспективных расчетов адаптированной к условиям Арктики региональной модели NEMO.

Работа выполнена в рамках плановой научной тематики ААНИИ по теме 5.1.4 плана НИТР Росгидромета.

АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ ДОСТУПНОЙ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ И РАБОТЫ СИЛЫ ПЛАВУЧЕСТИ В ВЕРХНЕМ 300-МЕТРОВОМ СЛОЕ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

С. Г. Демьшев, О. А. Дымова [✉], Н. А. Миклашевская

МГИ, Севастополь, Россия
[✉] *olgadym@yahoo.com*

Ключевые слова: Черное море, моделирование, доступная потенциальная энергия, работа силы плавучести.

В работе исследуется пространственное распределение доступной потенциальной энергии (ДПЭ) и потоков плавучести на основе анализа термохалинных характеристик циркуляции с целью выявления возможных физических механизмов изменчивости ДПЭ и потоков плавучести в верхнем деятельном слое Черного моря. Для анализа использованы результаты двух численных экспериментов по моделированию циркуляции Черного моря в 2011 и 2016 гг. В выбранные годы динамика вод отражала бассейновый (2011) и вихревой (2016) режимы циркуляции: в 2011 г. в структуре поля течений доминировало Основное Черноморское течение, в 2016 г. в центральной части преобладали мезомасштабные вихри. Расчеты выполнены с помощью модели Морского гидрофизического института. Батиметрия бассейна построена по данным EMODnet с разрешением (1/8)'. В качестве атмосферного воздействия использованы данные системы SKIRON о скорости ветра, потоках тепла, осадков, испарения и температуры поверхности моря. Рассчитаны ежесуточные поля скорости течений, температуры и солености, по которым вычислялись ДПЭ и работа силы плавучести.

Анализ результатов показал, что пространственно-временная изменчивость ДПЭ в Черном море формируется различными механизмами для верхнего 30-метрового слоя и слоя основного галоклина. В верхнем слое изменчивость ДПЭ связана прежде всего с распространением распресненных речных вод. Так, в течение года максимальные значения ДПЭ наблюдаются в районе

северо-западного шельфа, повышенные значения – на периферии бассейна. Верхний слой в центральной части моря подвержен слабой пространственно-временной изменчивости, и ДПЭ здесь определяется атмосферными условиями.

В слое основного галоклина 75–250 м структура поля ДПЭ определяется мезомасштабной динамикой. Максимальные значения ДПЭ соответствуют зонам отрицательных аномалий плотности, которые формируются в антициклонических круговоротах. Анализ горизонтального пространственного распределения ДПЭ показал, что наиболее энергоактивные зоны Черного моря – это области Севастопольского и Батумского антициклонов, причем ДПЭ тем выше, чем выше орбитальная скорость вихря. Отмечено, что ДПЭ в циклонах в 2–3 раза меньше, чем в антициклонах.

Изменчивость работы силы плавучести, которая определяет скорость и направление трансформации энергии между ДПЭ и кинетической энергией (КЭ), проявляет сезонный характер. В холодный период года вследствие интенсивного перемешивания вод верхнего деятельного слоя Черного моря работа силы плавучести в большей степени определяется вертикальной скоростью. В центральной части, где происходит преимущественно подъем вод, поток энергии направлен из КЭ в ДПЭ, на периферии бассейна – наоборот. Весной и летом в поле работы силы плавучести наблюдается двухслойная структура, определяемая зонами положительных и отрицательных аномалий плотности. Толщина верхнего слоя составляет 20–30 м и соответствует глубине сезонного термоклина.

Анализ структуры поля работы силы плавучести в основном галоклине показал, что трансформация энергии между ДПЭ и КЭ происходит как на границах струйных течений и вихрей, так и внутри самих вихрей и мало зависит от масштабов динамических структур. Наибольшие скорости преобразования энергии наблюдаются внутри антициклонических вихрей с максимальными орбитальными скоростями.

Работа выполнена в рамках госзадания по теме № FNNN-2021-0004 (шифр «Океанологические процессы»).

ЧИСЛЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ИЗУЧЕНИЮ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ БИОГЕНОВ НА МЕЖГОДОВУЮ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЭКОСИСТЕМЫ ЧЕРНОГО МОРЯ

В. Л. Дорофеев ✉, **Л. И. Сухих**

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

Ключевые слова: Черное море, морская экосистема, численное моделирование, биогены.

В работе на основе трехмерной междисциплинарной численной модели нижнего уровня пищевой цепи экосистемы Черного моря проводится анализ влияния различных источников неорганического азота на эволюцию морской экосистемы. Азот является наиболее лимитирующим элементом для первичной продукции пелагической экосистемы Черного моря.

Основные источники поступления неорганических соединений азота в верхний слой моря – антропогенная нагрузка за счет стока рек и перенос аммония за счет вертикальных движений в верхние слои моря из глубоководных, где его концентрация высока наряду с концентрацией сероводорода. Первый источник сосредоточен главным образом на северо-западном шельфе Черного моря, откуда биогены могут поступать во внутреннюю часть моря с помощью течений. Второй источник распределен по площади глубоководной части бассейна Черного моря. Существует также третий источник, связанный с атмосферными осадками. Однако, по оценкам других авторов, он мал для Черного моря.

В предыдущих исследованиях на основе результатов численного моделирования сделана оценка значения каждого из двух источников соединений неорганического азота для состояния экосистемы Черного моря. Для глубоководной части моря аммонийный азот обеспечивает до 2/3 биомассы в фотической зоне. В представленной работе на основе расчета 12-летней эволюции

морской экосистемы исследуется изменчивость влияния каждого из этих факторов.

СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛООБМЕНА МЕЖДУ ОКЕАНОМ И АТМОСФЕРОЙ В МОРЕ УЕДДЕЛЛА ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗОВ И НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

И. Д. Дрозд^{1,2,3}✉, И. А. Репина^{3,4,5}, П. А. Салюк⁶,
Е. Г. Морозов²

¹ МГУ, Москва, Россия

² ИО РАН, Москва, Россия

³ ИФА РАН, Москва, Россия

⁴ НИВЦ МГУ, Москва, Россия

⁵ МЦФПМ, Москва, Россия

⁶ ТОИ ДВО РАН, Владивосток, Россия

✉ drozdil.msu@gmail.com

Ключевые слова: взаимодействие океана и атмосферы, турбулентные потоки скрытого и явного тепла.

В данной работе был проведен анализ сопутствующих параметризаций и методов расчета турбулентных потоков тепла и импульса в приокеанском слое атмосферы в акватории Южного океана по натурным данным.

Точная оценка характеристик теплообмена океана с атмосферой в антарктических районах очень важна, так как именно интенсивность океанской теплопотери определяет характеристики вентиляции океана. Неточности в оценке потоков тепла на поверхности ведут к ошибочному прогнозированию интенсивности глубокой конвекции.

Сбор данных, ставших основой для проводимых расчетов, осуществлялся в ходе 87-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в море Уэдделла. В течение этого периода с использованием судовой метеостанции велась запись данных о давлении, относительной влажности, температуре воздуха, скорости и направлении ветра на высоте 30 м. Велось также непрерывное измерение температуры и солености приповерхностного слоя воды

посредством судового термосоленографа SBE21 SeaCAT с дополнительным модулем SBE38.

Для расчета потоков явного и скрытого тепла и импульса по собранным данным использовался программный пакет Aerobulk [1], который позволяет на основе данных стандартных метеорологических измерений рассчитывать характеристики турбулентных потоков с поверхности океана в атмосферу. В работе проводится сравнение следующих алгоритмов расчета потоков по балк-формулам: COARE v3.0 [2], COARE v3.6 [3], ECMWF, ANDREAS [4], NCAR [5]. Отдельно рассматривается значимость вклада параметризаций холодной пленки и теплого подслоя, а также капельного аэрозоля в результаты расчетов потоков по алгоритмам COARE и ECMWF. Полученные по натурным данным турбулентные потоки в приводном слое сравнивались с данными о потоках скрытого и явного тепла и импульса из реанализа ERA5 за тот же период.

Итогом работы стала комплексная оценка репрезентативности полученных по судовым измерениям характеристик теплообмена между океаном и атмосферой в акватории моря Уэдделла на основе сопоставления выходных данных известных алгоритмов расчета потоков тепла и импульса над поверхностью океана с данными атмосферного реанализа.

Источник финансирования исследования – госзадание FMWE-2022-0001.

Список литературы

1. Climatologically significant effects of some approximations in the bulk parameterizations of turbulent air – sea fluxes / L. Brodeau [et al.] // *Journal of Physical Oceanography*. 2017. Vol. 47, issue 1. P. 5–28. DOI: 10.1175/JPO-D-16-0169.1.
2. Bulk parameterization of air–sea fluxes: Updates and verification for the COARE algorithm / C. W. Fairall [et al.] // *Journal of Climate*. 2003. Vol. 16, issue 4. P. 571–591. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)016<0571:BPOASF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<0571:BPOASF>2.0.CO;2).
3. On the exchange of momentum over the open ocean / J. B. Edson [et al.] // *Journal of Physical Oceanography*. 2013. Vol. 43, issue 8. P. 1589–1610. <https://doi.org/10.1175/JPO-D-12-0173.1>.
4. Andreas E. L., Mahrt L., Vickers D. An improved bulk air–sea surface flux algorithm, including spray-mediated transfer // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 2015. Vol. 141, issue 687. P. 642–654. <https://doi.org/10.1002/qj.2424>.
5. Large W. G., Yeager S. G. The global climatology of an interannually varying air–sea flux data set // *Climate Dynamics*. 2009. Vol. 33, issue 2. P. 341–364. <https://doi.org/10.1007/s00382-008-0441-3>.

**РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЦИРКУЛЯЦИИ ЧЕРНОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ
ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
С УЧЕТОМ ДАННЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ СЪЕМОК
2016 ГОДА**

Н. А. Евстигнеева ✉, **С. Г. Демьшев**

МГИ, Севастополь, Россия

✉ *naevstigneeva@yandex.ru*

Ключевые слова: численное моделирование, энергетический анализ, бюджет кинетической и потенциальной энергии, мезомасштабные особенности циркуляции.

На основе гидродинамической модели, разработанной в Морском гидрофизическом институте, и данных наблюдений о температуре и солености, полученных в трех научных экспедициях на НИС «Профессор Водяницкий» в 2016 г., рассчитаны и проанализированы энергетические характеристики циркуляции в северной части Черного моря с высоким пространственным разрешением (~ 1,6 км по горизонтали и 27 горизонтов по вертикали) в периоды проведения экспедиций (летний, осенний и осенне-зимний сезоны) с целью последующей интерпретации формирования мезо- и субмезомасштабных особенностей циркуляции. В процедуре ассимиляции данных наблюдений, основанной на фильтре Калмана, учитывалась неоднородность и неизотропность ошибок оценок полей температуры и солености. Для задания полей тангенциального напряжения трения ветра, потоков тепла, коротковолновой радиации, осадков и испарения, использовались данные греческого центра атмосферных прогнозов SKIRON (1/10°). Коэффициенты турбулентной вязкости и диффузии по вертикали рассчитывались в соответствии с параметризацией Меллора – Ямады 2.5.

Рассматриваемые периоды времени 2016 г. – с 28 июня по 18 июля (летний сезон), с 29 сентября по 20 октября (осенний сезон) и с 15 ноября по 5 декабря (осенне-зимний сезон) (включены

дни проведения 87, 89 и 91-го рейсов НИС «Профессор Водяницкий», 125, 128 и 107-й станций соответственно).

По результатам проведенного анализа интегральных энергетических характеристик циркуляции Черного моря, рассчитанных для трех сезонов 2016 г., получено, что максимальный приток в кинетическую энергию был от ветра (в осенний и осенне-зимний периоды времени достигались более высокие значения, чем в летний), а также от работы силы плавучести (при уменьшении скорости ветра). Потеря энергии происходила за счет горизонтального и вертикального внутреннего трения. Изменение потенциальной энергии для всех расчетных периодов определялось в основном вертикальной турбулентной диффузией.

Также проанализированы ежедневные карты пространственного распределения компонентов бюджета кинетической и потенциальной энергии в периоды проведения съемок (например, поля диссипации энергии вследствие горизонтального и вертикального внутреннего трения, силы плавучести, а также слагаемого, определяющего вклад в кинетическую энергию от ветра), предложены возможные причины формирования особенностей в гидрофизических полях (горизонтальный сдвиг скорости, бароклинная неустойчивость, обтекание течением береговой линии и неоднородностей рельефа дна при действии слабых ветров).

Для трех расчетов в районах, характеризующихся интенсивной мезомасштабной изменчивостью, преобладали отрицательные значения работы силы ветра (т. е. ветер и течения на поверхности направлены в противоположные стороны), наибольшие по модулю значения вертикальной диссипации, отрицательные значения работы силы плавучести (переход из кинетической энергии в потенциальную).

Исследование проведено в рамках государственного задания по теме № 0555-2021-0004 (шифр «Океанологические процессы»).

ФОРМИРОВАНИЕ ВОЗРАСТНОГО СОСТАВА ЛЬДОВ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВАМОЯ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Е. С. Егорова [✉], Е. У. Миронов

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

Ключевые слова: Баренцево море, ледяной покров, возрастной состав льдов, сезонные изменения.

Баренцево море — это единственное российское арктическое море, которое в зимний период никогда не замерзает полностью. В ледяном покрове Баренцева моря преобладают льды местного образования, хотя зимой на его акваторию нередко выносятся льды из Арктического бассейна Северного Ледовитого океана, а также из Карского и Белого морей.

Наряду с другими элементами ледового режима, возрастной состав ледяного покрова Баренцева моря является показательной характеристикой в вопросе изменений климата. Однако в данном докладе рассматривается только юго-восточная часть Баренцева моря, важность изучения ледовых условий которой определяется также ведением активной хозяйственной деятельности в этом регионе. Она связана прежде всего с разработкой и освоением крупных нефтегазовых месторождений, а также с судоходством и рыбным промыслом.

В докладе представлены основные результаты исследования возрастной структуры льдов юго-восточной части Баренцева моря в зимний период, от начала формирования ледяного покрова в октябре до его завершения в мае. Анализ сезонных изменений количества льдов различных возрастных градаций выполнен с использованием цифрового архива ледовых карт Арктического и антарктического научно-исследовательского института за период 1997–2021 гг. Возрастной состав ледяного покрова представлен в семи стандартных градациях. Была получена уникальная информация, дополняющая особенности ледового

режима Баренцева моря за последние 25 лет, поскольку столь подробный анализ изменений возрастного состава льдов акватории проводится впервые.

Ледообразование в юго-восточной части Баренцева моря начинается при отсутствии остаточных льдов в конце октября – начале ноября. Процесс замерзания акватории растягивается на весь зимний период: градации начальных и молодых льдов характерны для ледяного покрова каждого зимнего месяца. Формирование однолетних тонких льдов начинается в декабре, а их переход в следующую градацию, однолетних средних, обычно происходит в феврале.

До апреля начальные и молодые льды преобладают в ледяном покрове района моря. Только к концу сезона нарастания толщины ледяного покрова, в мае, преобладающей в возрастном составе градацией становится градация однолетних льдов. В среднем с февраля по апрель среди однолетних льдов превалируют тонкие, в мае — уже средние льды.

При средних условиях в юго-восточной части Баренцева моря не образуются однолетние толстые льды; они могут встречаться только в самые суровые годы, которых за 24-летний период наблюдений не отмечалось. Старые льды также не встречаются в ледяном покрове района, за исключением случая 1998 г., когда в осенние месяцы ледообразование началось на фоне остаточных льдов, вынесенных из юго-восточной части Карского моря. В целом для юго-восточной части Баренцева моря характерны более благоприятные ледовые условия, чем для западной и северо-восточной.

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

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРЕОБЛАДАЮЩЕЙ ОРИЕНТАЦИИ РАЗРЫВОВ В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ

А. А. Ершова[✉], Л. Н. Дымент, В. С. Порубаев

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

Ключевые слова: разрывы в ледяном покрове, море Лаптевых, ориентация разрывов, краткосрочные ледовые прогнозы.

Разрывы представляют собой трещины и каналы с открытой водой или покрытые молодым льдом, а также системы разводий с пониженной сплоченностью льда, образующиеся в ледяном покрове под действием динамических факторов. Наличие разрывов играет важную роль в теплообмене и воздухообмене между океаном и атмосферой. С практической точки зрения разрывы являются потенциальными маршрутами легкого плавания и используются при навигации в ледовых условиях. Все это обуславливает научную и практическую значимость исследования характеристик разрывов.

Составление краткосрочного прогноза преобладающей ориентации разрывов основывается на методе комплексных аналогов. Каждый аналог представляет собой набор полей атмосферного давления, дрейфа льда, дивергенции скорости дрейфа, модальной ориентации и плотности разрывов. Суть аналогового метода прогноза заключается в подборе для рассматриваемой акватории среднесуточного поля атмосферного давления из комплекта комплексных аналогов, имеющего максимальное сходство с прогностическим полем. В этом случае предполагается, что подобные поля формируют разрывы с близкими значениями их характеристик.

Для составления электронного архива аналогов по снимкам ИСЗ Suomi NPP с разрешением 375 м были дешифрованы и оцифрованы разрывы на акватории моря Лаптевых за ледовые циклы 2016–2021 гг. Всего было обработано 278 снимков, по которым были рассчитаны поля модальной ориентации и плотности разрывов в пространстве.

Анализ составленных аналогов выявил инерционность в изменении модальной ориентации разрывов. Из электронного архива было отобрано более сотни двухдневных периодов, в которых каждый день был обеспечен фактическими данными о разрывах. Результаты расчета показали, что в среднем в 90% квадратов 100×100 км, на которые была разбита акватория моря Лаптевых, значения модальной ориентации разрывов существенно не менялись в течение двух дней даже при смене направления ветровых потоков и дрейфа льда. Таким образом, при подборе аналога для составления прогноза необходимо также учитывать сходство полей атмосферного давления за даты, предшествующие датам прогноза и аналога.

Дешифрирование разрывов на спутниковых снимках видимого и инфракрасного диапазонов часто осложняется присутствием облачности, закрывающей часть акватории моря. Для прогностических целей отсутствие в некоторых районах фактических данных о разрывах требует дополнения их расчетными данными. В качестве расчетной преобладающей ориентации разрывов можно использовать направление малой оси эллипса скорости деформации ледяного покрова, рассчитываемое по данным дрейфа льда.

Сравнение модальной ориентации разрывов, полученной по фактическим данным, с ее расчетными значениями показало, что по полю дрейфа льда из аналога можно проводить расчет только при установившемся на несколько дней интенсивном поле атмосферного давления. При малоградиентном поле атмосферного давления ориентация фактических разрывов согласуется с рассчитанной по предшествующему ему полю с интенсивным дрейфом льда. Было обнаружено, что значения модальной ориентации разрывов могут сохраняться на протяжении недели и более, изменяясь менее чем на 30° .

Разрабатываемый автоматизированный метод краткосрочного прогноза преобладающей ориентации разрывов в ледяном покрове моря Лаптевых облегчит работу эксперта и повысит скорость составления прогноза.

КОРОТКОПЕРИОДНЫЕ ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ В ШЕЛЬФОВЫХ РЕГИОНАХ С ИНТЕНСИВНОЙ ПРИЛИВНОЙ ДИНАМИКОЙ

А. В. Зимин^{1,2}✉, Е. И. Свергун^{1,2}, Д. А. Романенков¹

¹ ИО РАН, Москва, Россия

² СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

✉ zimin2@mail.ru

Ключевые слова: короткопериодные внутренние волны, контактные измерения, спутниковые наблюдения, приливная динамика.

Цель работы – на основе синтеза результатов контактных измерений, данных спутниковых радиолокационных наблюдений и результатов расчетов с использованием приливной модели рассмотреть характеристики короткопериодных внутренних волн (КВВ) и выявить основные механизмы их генерации в прибрежных районах Баренцева моря и Авачинского залива Тихого океана.

В Баренцевом море измерения выполнялись в августе 2016 г. около о. Харлов, в Авачинском заливе – в августе – сентябре 2018 г. близ м. Шипунского. Оценивались амплитуды и периоды КВВ. Для анализа характеристик поверхностных проявлений КВВ были использованы изображения Sentinel-1A/B, ALOS-2 PALSAR-2, Sentinel-2A/B и Landsat-8.

Для выявления очагов генерации внутреннего прилива использовался критерий tidal body force для гармоник M2, рассчитываемый с привлечением данных ренализа Copernicus и приливного атласа TPX09. Рассчитывался критерий топографической генерации внутренних приливных волн и внутреннее число Фруда.

В Баренцевом море в районе чередующихся неоднородностей рельефа дна со средней глубиной около 100 м в контактных данных доминируют слабо нелинейные короткопериодные колебания с максимальной амплитудой 4 м. Расчет ожидаемых высот волн показал, что один раз за месяц могут наблюдаться интенсивные

волны амплитудой до 5 м. В Авачинском заливе, где присутствует узкий мелководный шельф и крутой материковый склон, на фоне полусуточных внутренних волн регистрируются сильно нелинейные интенсивные волны с амплитудой до 8 м. Один раз в месяц можно ожидать волны с амплитудой до 12 м. В Авачинском заливе короткопериодные колебания имеют более высокую энергию, чем в Баренцевом море, и превышают энергию теоретического спектра Гаррета – Манка.

Как в Баренцевом море, так и в Авачинском заливе направления распространения проявлений КВВ, по спутниковым данным, находятся в довольно узком диапазоне изменчивости, что может указывать на доминирование одного преобладающего механизма генерации КВВ.

В Баренцевом море наиболее вероятным механизмом является образование КВВ при обтекании приливным потоком неоднородностей рельефа дна, в Авачинском заливе – дезинтеграция внутренних приливных волн в пакеты КВВ.

Данная работа выполнена в рамках государственного задания № 0128-2021-0014 и гранта РФФИ № 20-35-90054 Аспиранты.

МЕХАНИЗМЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПЛОТНОСТНЫХ ИНВЕРСИЙ В ГРЕНЛАНДСКОМ МОРЕ

А. С. Каледина¹✉, И. Л. Башмачников^{1,2}

¹ СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

² Фонд «Нансен-центр», Санкт-Петербург, Россия

✉ a.kaledina@spbu.ru

Ключевые слова: Гренландское море, плотностные инверсии, затоки вод, потенциальная неустойчивость.

Традиционно считалось, что развитие глубокой конвекции в Гренландском море происходит за счет теплообмена океана с атмосферой и ледообразования. Однако в последнее время определяется, что доминирующим фактором изменчивости интенсивности конвекции является потенциальная неустойчивость

столба воды [1] вследствие затоков теплых и соленых атлантических вод [2].

В результате адвективного переноса тепла и соли течениями могут образовываться плотностные инверсии в верхнем слое моря. Принято считать, что в океане инверсии не проявляются, поскольку происходит мгновенное перемешивание столба воды. Однако по данным натурных наблюдений Гренландского моря в профилях потенциальной плотности фиксируются инверсии. Исследование таких инверсий может позволить охарактеризовать условия, предшествующие развитию конвективного перемешивания верхнего слоя.

В нашей работе исследуются плотностные инверсии в районе наиболее частого развития глубокой конвекции в глубоководной части Гренландского моря.

По характеру возникновения инверсии можно классифицировать на термические и соленостные. Из всех профилей 69% приходится на инверсии с преимущественно соленостной дестабилизацией, образование таких инверсий может происходить за счет затоков теплых и соленых вод и последующего выхолаживания поверхности моря, а также вследствие ледообразования.

Наибольшие средние вертикальные мощности порядка 400 м зафиксированы в 2008, 2011, 2013 гг., когда наблюдалась наибольшая интенсивность глубокой конвекции. При этом величина скачка плотности в инверсиях в эти годы была наибольшая по сравнению с 1990-ми гг., когда глубина инверсий не превышала 170 м.

Среди профилей с вертикальной мощностью инверсий более 150 м с 1990-х гг. процент термических инверсий уменьшился с 32 до 4%, в то время как соленостных увеличился с 15 до 73%.

В ходе совместного анализа наличия соленостной или термической дестабилизации в профилях плотности, затоков вод и теплообмена океана с атмосферой нами были выделены следующие механизмы возникновения инверсий: заток вод и теплоотдача в атмосферу, только заток вод, только теплоотдача в атмосферу, другие механизмы формирования соленостной инверсии (ледообразование и др.), инверсии, которые ничем не объясняются. Около 30% от всех инверсий объясняется затоками теплых и соленых вод и теплоотдачей в атмосферу, от 16% (2010-е гг.) до

50% (1990-е гг.) объясняется только теплоотдачей в атмосферу. Остальные (соленостные) инверсии предположительно могут объясняться осолонением поверхностного слоя при ледообразовании, испарением и другими механизмами.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Санкт-Петербургского государственного университета (проект № 93016972).

Список литературы

1. Chu P. C. Geophysics of deep convection and deep water formation in oceans // Deep convection and deep water formation in the oceans / Eds. S. Chu, J. C. Gascard. Amsterdam : Elsevier, 1991. P. 3–16. (Elsevier Oceanography Series ; vol. 57). [https://doi.org/10.1016/S0422-9894\(08\)70057-6](https://doi.org/10.1016/S0422-9894(08)70057-6).

2. Mechanisms of interannual variability of deep convection in the Greenland Sea / I. L. Bashmachnikov [et al.] // Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers. 2021. Vol. 174. 103557. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2021.103557>.

РАСЧЕТ ПУЧКОВ ВНУТРЕННИХ ВОЛН, ВОЗБУЖДАЕМЫХ БАРОТРОПНЫМ ПРИЛИВОМ В ЗОНЕ МОРСКОГО ШЕЛЬФА

М. В. Кокоулина ✉, **О. Е. Куркина**, **А. А. Куркин**

НГТУ, Нижний Новгород, Россия

✉ kokoulinamaria97@gmail.com

Ключевые слова: внутренние волны, внутренние волновые пучки, численное моделирование.

Исследования внутренних гравитационных волн крайне актуальны для понимания динамических процессов океана, особенно обмена веществами и энергией. Внутренние волны приливной частоты, или внутренние приливы, генерируются баротропным приливом, взаимодействующим с неровностями дна, и затем могут трансформироваться во внутренние волновые лучи, или пучки (beams), что доказывают теоретические, численные и лабораторные исследования, а также натурные наблюдения в различных районах Мирового океана. Генерация волновых пучков совершается в надкритических областях, где движения жидкости

являются существенно бароклинными во всей толще воды и происходит излучение волн вдоль характеристических направлений. Энергия внутренних волн распространяется вдоль этих лучей, в то время как гребни волн бегут перпендикулярно лучу.

В рамках данного исследования проведен расчет внутренних волновых пучков (с учетом неровностей дна) как для модельных условий, так и для приближенных к реальным условиям на шельфах российских морей. Так, для северо-восточного шельфа о. Сахалин (Охотское море) рассчитанные лучи соответствуют волнам с характерными периодами 1,5–3 ч, рождающимся в мелководной зоне (полная глубина 100–200 м) в результате нелинейного каскада энергии при трансформации волн приливных периодов в рассматриваемой акватории. Результаты показали хорошее соответствие с волновыми полями, рассчитанными в рамках двумерной (вертикальная плоскость) полонелинейной негидростатической модели при генерирующем воздействии мультикомпонентного баротропного прилива. Для акватории Балтийского моря с использованием данных наблюдений (гидрологические условия и временные ряды солености и температуры) показано, что время движения волнового пучка между пикноклинами для периода около 30 мин согласуется с результатами корреляционного анализа измеренного сигнала.

Разработанный расчетный блок для вычисления внутренних волновых пучков и полученные расчеты для акватории Охотского и Балтийского моря пополнят геоинформационную онлайн-систему расчета и анализа дисперсионных, кинематических, нелинейных, силовых и транспортных характеристик внутренних волн в Мировом океане и будут находиться в открытом доступе на сайте НИЛ МП и ТК НГТУ им. П.Е. Алексеева (URL: <https://lmnad.nntu.ru/ru/>) в разделе «Проекты».

Представленные результаты получены в рамках государственного задания в сфере научной деятельности (тема № FSWE-2020-0007 «Волновой климат стратифицированного морского шельфа: нелинейные динамические процессы и их влияние на прибрежную зону и гидротехнические сооружения») и стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам СП-1225.2019.5.

МНОГОЛЕТНЯЯ ФРОНТАЛЬНАЯ И ВИХРЕВАЯ ДИНАМИКА БАРЕНЦЕВА И КАРСКОГО МОРЕЙ

А. А. Коник^{1,2}✉, А. В. Зимин^{1,2}

¹ ИО РАН, Москва, Россия

² СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

✉ konikrshu@gmail.com

Ключевые слова: Полярная фронтальная зона, Стоковая фронтальная зона, Арктическая фронтальная зона, субмезомасштабные вихри.

В последние десятилетия наблюдаются значительные климатические изменения, которые выражаются в уменьшении площади льдов, усилении «атлантификации» морей Арктики. Данные процессы могут находить свое отражение в характеристиках основных фронтальных зон, а также частоте встречаемости малых вихревых структур на акватории Баренцева и Карского морей. Однако отсутствие выполненного по единой методике анализа данных явлений на значительных временных интервалах не позволяет подтвердить или опровергнуть данное утверждение.

В качестве исходных данных для детектирования основных параметров Полярной, Стоковой и Арктической фронтальных зон (ПФЗ, СФЗ, АФЗ) использовались данные спутникового зондирования о температуре, солености и уровне моря за безледный период 2002–2020 гг. Детектирование фронтальных зон на поверхности Баренцева и Карского морей выполнялось с помощью кластерного анализа, по результатам которого определялось их положение и характеристики. Выявление проявлений и основных параметров вихревых структур выполнялось с помощью анализа радиолокационных изображений (РЛИ) Envisat ASAR и Sentinel 1A/B. Для оценки влияния глобальных и региональных процессов на параметры фронтальных зон привлекались данные о потоках тепла, параметрах льда и ветра и объемах речного стока.

Установлено, что в теплый сезон в области ПФЗ в среднем за рассматриваемый период градиент температуры поверхности

моря (ТПМ) составляет $0,05 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{км}$, градиент солености поверхности моря – $0,02 \text{ } \text{‰}/\text{км}$, а ее площадь – 303 тыс. км²; в области СФЗ – $0,08 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{км}$, $0,1 \text{ } \text{‰}/\text{км}$ и 155 тыс. км²; в области АФЗ – $0,06 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{км}$ и 348 тыс. км². Показано, что во втором десятилетии XXI в. средний градиент ТПМ в ПФЗ и СФЗ уменьшился на $0,02 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{км}$, а площадь сократилась на 100–150 тыс. км², однако их пространственное положение значительно не изменилось. Величина градиента ТПМ и площади АФЗ в целом за рассмотренные годы остается стабильной, однако фронтальная зона из-за продолжающегося таяния льдов постепенно смещается на север.

По результатам анализа РЛИ выявлено более 8000 проявлений вихревых структур, средний диаметр которых составляет 4–5 км. Анализ вихреобразования в области ПФЗ и СФЗ показал, что большое количество проявлений вихревых структур наблюдается в годы малой величины поверхностного термического градиента, который косвенно отражает возможность развития бароклинной неустойчивости во фронтальной зоне.

Анализ региональных процессов показал, что наблюдается устойчивая линейная связь потоков тепла, поступающих из Атлантики в Баренцево море, с параметрами площади ПФЗ; речного стока Оби и Енисея и концентрации льда на акватории Карского моря с характеристиками площади и ТПМ в области СФЗ; площади льдов в северных районах Баренцева и Карского морей с ТПМ в области АФЗ. Установлено, что интенсивность глобальных атмосферных процессов, описываемых индексом SCAND, имеет связь с параметрами градиента ТПМ в области ПФЗ и размером площади СФЗ, а индексом NAO – с величиной ТПМ в области АФЗ.

Следующие работы будут направлены на создание физико-статистических моделей прогноза характеристик фронтальных зон Баренцева и Карского морей.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 20-35-90053 аспиранты.

ПРИЛИВНЫЕ КОЛЕБАНИЯ В АЗОВСКОМ МОРЕ

А. И. Корженовская^{1,2}✉, И. П. Медведев², В. С. Архипкин¹

¹ МГУ, Москва, Россия

² ИО РАН, Москва, Россия

✉ A79198153474@yandex.ru

Ключевые слова: приливы, радиационные приливы, гармонический анализ, спектральный анализ, Азовское море.

Азовское море – самое изолированное море Мирового океана. Оно соединяется с Черным морем Керченским проливом, ширина которого 5–15 км. Азовское море – очень мелководное, его максимальная глубина составляет 13,5 м. Основными видами мезомасштабных колебаний уровня здесь являются штормовые нагоны и сейши, но известно, что в Азовском море также наблюдаются приливные колебания уровня, и они практически не исследованы. В рамках настоящей работы впервые подробно изучаются особенности приливных колебаний уровня Азовского моря.

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

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

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

СЕЙШЕВЫЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ АЗОВСКОГО МОРЯ: НАБЛЮДЕНИЯ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

А. И. Корженовская^{1, 2}✉, И. П. Медведев², С. Архипкин¹

¹ МГУ, Москва, Россия

² ИО РАН, Москва, Россия

✉ A79198153474@yandex.ru

Ключевые слова: собственные колебания, спектральный анализ, гидродинамическое моделирование, РОМ, задача на собственные значения.

Некоторые исследователи считают сейши основным видом колебаний уровня Азовского моря. В последние десятилетия

с развитием методов численного моделирования ряд научных работ был посвящен изучению собственных колебаний уровня Азовского моря на основе моделирования, но мало кто рассматривал их вместе с многолетними рядами данных наблюдений за уровнем. Поэтому сопоставление результатов моделей с результатами анализа рядов наблюдений является актуальной задачей.

Объектом данной работы выступает Азовское море, предметом – собственные колебания его уровня. Целью работы является выявление особенностей собственных колебаний бассейна на основе данных наблюдений и численных моделей, а также сравнение полученных результатов.

Многолетние ряды ежечасных наблюдений за уровнем Азовского моря позволили качественно произвести спектральный анализ и выделить периоды собственных колебаний бассейна с высокой точностью, а взаимный спектральный анализ позволил оценить их пространственную структуру. Колебания уровня Азовского и Черного морей на частотах более 1,3 циклов в сутки становятся некогерентными. Были выделены следующие периоды собственных колебаний, наблюдаемые практически на всех прибрежных станциях: 22,5; 14,1; 6,7; 3,2 ч. Выдвинуто предположение о наличии узловой линии на входе в Таганрогский залив и колебаниях юго-западной и северо-восточной частей акватории в противофазе.

Результаты численного моделирования, основанного на решении задачи на собственные значения, дали следующие периоды собственных колебаний бассейна: 23,5; 13,9; 11,2; 9,6; 8,7; 7,5; 6,6; 5,8 ч. Несколько периодов практически совпадают с периодами, выделенными по спектрам ранее. Пространственная структура почти всех мод характеризуется максимумами колебаний уровня моря в вершинах заливов и лиманов, таких как Таганрогский, Утлюкский и Ахтарский. Чем выше мода колебаний, тем более значительны колебания уровня в районе небольших заливов, лиманов и кос.

Численное моделирование с помощью Принстонской модели океана (РОМ) для эксперимента с заданием полей ветра и давления из реанализа и эксперимента с использованием случайного ветра дало немного различающиеся на низких частотах периоды:

24,2; 14,7; 9,9; 3,4 ч в первом случае и 25,3; 14,6; 10,8; 7,6; 5 и 3,7 ч во втором случае. Имеющиеся незначительные различия с предыдущим моделированием в периодах могут быть объяснены учетом вращения Земли в Принстонской модели океана. В целом для всех трех экспериментов пространственное распределение амфидромий, узловых линий и узловых точек первых мод довольно сходно, также везде с увеличением номера моды растет значение локальных особенностей батиметрии и береговой линии.

**РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ ПРОГНОЗ
ПЕРУАНСКОГО 2007 ГОДА,
ЧИЛИЙСКИХ 2010, 2014 И 2015 ГОДОВ ЦУНАМИ
С ПОМОЩЬЮ ЭКСПРЕСС-МЕТОДА
КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ЦУНАМИ**

Ю. П. Королёв

ИМГиГ ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия
✉ *Yu_P_K@mail.ru*

Ключевые слова: тревоги цунами, ложные тревоги цунами, заблаговременный прогноз цунами, оперативный прогноз цунами, достоверный прогноз цунами, принцип взаимности, измерения уровня океана, службы предупреждения о цунами, Тихий океан.

Целью работы является изучение возможности оперативного прогнозирования цунами, моделирование процесса выработки прогноза в условиях реального времени и на основе этого демонстрация возможностей экспресс-метода оперативного прогноза цунами.

Экспресс-метод позволяет по данным глубоководных станций измерения уровня океана заблаговременно рассчитывать волновые формы ожидаемого цунами в океане, а также вблизи побережья. Для прогнозирования требуется сейсмологическая информация только о времени начала и координатах эпицентра землетрясения и данные одной станции измерения уровня океана, получаемые в режиме реального времени.

Выполнено ретроспективное моделирование процесса распространения цунами 2007, 2010, 2014 и 2015 гг. экспресс-методом краткосрочного прогноза цунами. В численных экспериментах использовались данные ближайших к очагам цунами глубоководных станций измерения уровня океана длительностью, равной первому полупериоду (первому периоду) цунами.

Результаты расчетов достаточно хорошо совпадают с формами цунами, зарегистрированными глубоководными станциями в океане, в различных направлениях от очага. Качество расчетов позволяет адекватно оценивать степень опасности ожидаемого цунами. Оно сопоставимо с качеством расчетов других авторов. Прогноз цунами в заданных точках возможен сразу после получения информации о прохождении первого периода цунами через ближайшую к очагу глубоководную станцию. Экспресс-метод может применяться в тех областях, для которых другие способы не применимы.

В отличие от других способов экспресс-метод не нуждается в построении сейсмического источника, не требует гигантской базы синтетических мареограмм. Экспресс-метод может применяться для прогноза цунами в тех областях, для которых другие способы не применимы (например, отсутствуют базы синтетических мареограмм). Такими областями являются побережья северо-западной части Тихого океана. Экспресс-метод полностью удовлетворяет определению прогноза цунами, сформулированному МОК ЮНЕСКО.

ОПЕРАТИВНЫЙ ПРОГНОЗ ЛОКАЛЬНЫХ ЦУНАМИ ПО ДАННЫМ БЛИЖАЙШИХ К ОЧАГАМ ГЛУБОКОВОДНЫХ СТАНЦИЙ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ОКЕАНА

Ю. П. Королёв , П. Ю. Королев

ИМГиГ ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

 *Yu_P_K@mail.ru*

Ключевые слова: цунами, магнитуда землетрясения, службы предупреждения о цунами, тревоги цунами, ложные тревоги цунами, способ оперативного прогноза цунами, краткосрочный прогноз цунами, экспресс-метод прогноза цунами, заблаговременность прогноза, измерения уровня океана, Курильские острова, DART.

Целью работы являлось исследование возможности оперативного прогноза локальных цунами по данным ближайших к очагам станций измерения уровня океана. Достоверный оперативный прогноз цунами на Курильских островах при возникновении землетрясений в районе Курило-Камчатской впадины представляет наибольшую сложность. Прогноз традиционным магнитудно-географическим способом зачастую приводит к ложным тревогам цунами.

Способ (экспресс-метод) оперативного прогноза цунами позволяет по данным глубоководных станций измерения уровня океана заблаговременно рассчитывать волновые формы ожидаемого цунами в океане, а также вблизи побережья. Для прогнозирования требуется сейсмологическая информация только о времени начала и координатах эпицентра землетрясения и данные одной станции измерения уровня океана, получаемые в режиме реального времени.


Рассмотрены события в северо-западной части Тихого океана, во время которых либо производилась регистрация, либо возможно восстановление (реконструкция) формы цунами вблизи очага. На примерах событий 2006, 2007, 2011 и 2020 гг. в районе Курильских островов показано, что по данным ближайших к очагу цунами станций измерения уровня океана,

время пробега цунами до которых составляет 10–20 мин, возможен заблаговременный адекватный прогноз цунами вблизи побережий. В отличие от методов прогноза, основанных на магнитудном критерии, примененный способ оперативного прогноза цунами позволяет рассчитать форму волны: амплитуды первой, максимальной волн, время их прихода в заданную точку и предполагаемую длительность цунами. За критерий качества прогноза принята возможность оценки степени опасности ожидаемого цунами в заданном пункте с точностью, достаточной для принятия решения об объявлении тревоги.

Предложенный способ (экспресс-метод) оперативного прогноза цунами при реализации его в едином программном комплексе может стать инструментом, который позволит повысить качество оперативного предупреждения о цунами, существенно уменьшив количество ложных тревог.

ВАРИАЦИОННАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ НАЧАЛЬНОГО ПОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ^{137}Cs В ЧЕРНОМ МОРЕ ПОСЛЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АВАРИИ

В. С. Кочергин , С. В. Кочергин

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

Ключевые слова: вариационный алгоритм, ассимиляция, сопряженная задача, Чернобыльская авария, Черное море.

В работе осуществляется определение начального поля концентрации ^{137}Cs в Черном море по данным измерений [1], которые были произведены сразу после чернобыльской аварии. Используемая информация распределена по пространству и времени. В работе рассматривается вариационный алгоритм [2] ассимиляции данных измерений концентрации ^{137}Cs на поверхности моря за счет идентификации начального поля концентрации. Необходимые для реализации алгоритма ассимиляции поля течений получены по модели МГИ для расчета

циркуляции вод Черного моря [3] с пространственным разрешением 1,6 км с реальным ветровым воздействием по данным SKIRON [4]. Эти поля течений ранее использовались при ассимиляции аналогичных данных на основе метода оценки [5]. Расчеты по данной модели использовались в [6] при построении функций влияния на основе решения сопряженных задач. Вариационный алгоритм ассимиляции используется для определения начального поля концентрации изотопа. Анализируются данные National Centers for Environmental Prediction (NCEP) о ветре и осадках совместно с информацией IRSN (Институт ядерной и радиоационной безопасности Франции) о процессах переноса радиоактивных загрязнений от Чернобыльской АЭС в сторону Черного моря.

Первая съемка измерений концентрации ^{137}Cs в Черном море производилась с 15 июня до 4 июля 1986 г. Следующая серия измерений производилась с 26 по 30 ноября. В данной работе усваиваются 11 измерений из первой съемки, в которую входили данные со значениями порядка 300–400 Бк/м³ и более. В точке 11 измерения показали максимальное значение порядка 720 Бк/м³. Ранее 15 июня измерения не проводились, а фоновые значения ^{137}Cs в Черном море были незначительными.

В период с 01.05.1986 по 05.05.1986, по данным NCEP об интенсивности осадков (URL: <https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.html>), в акватории Черного моря шли сильные дожди со значениями от 10 до 22 кг/м². В этот период радиоактивное облако достигло северо-восточной части моря. Средние значения интенсивности осадков 2 мая для всей акватории Черного моря ~ 20 кг/м². Максимальные значения (до 22 кг/м²) сосредоточены в юго-восточной части моря у Кавказского побережья. Средние значения интенсивности осадков 3–4 мая уменьшаются до 10–15 кг/м². Радиоактивные изотопы с интенсивными осадками поступили в поверхностный слой моря. По данным IRSN – Института ядерной и радиоационной безопасности Франции (URL: https://www.irsn.fr/EN/global_partner/Radiation_protection), радиационный след (с концентрацией до 100 Бк/м³) от Чернобыльской АЭС достиг северо-восточной части моря 2 мая. Более интенсивный плюм со значениями до 1000 Бк/м³ 3 мая достиг северо-

восточной части моря, а 4 мая – центральной и северо-западной частей моря. В дальнейшем радиоактивное облако покинуло акваторию Черного моря в направлении Анатолийского побережья и Балкан. То есть в течение трех суток с интенсивными осадками в обозначенных областях Черного моря в его верхнем слое формировалось начальное поле концентрации ^{137}Cs . Задача состоит в том, чтобы на основе вариационного метода ассимиляции найти такое начальное поле концентрации, чтобы модельные оценки концентрации изотопа были близки к данным измерений. В результате проведенных численных экспериментов получено начальное поле изотопа, которое позволило получить модельные оценки концентрации, согласованные с данными измерений в силу минимизации функционала качества, характеризующего отклонения модельных оценок от измерений.

Найденное поле хорошо коррелирует с информацией о процессах формирования загрязнения изотопом в акватории Черного моря. Таким образом, на основе итерационного алгоритма ассимиляции имеющейся информации найдено начальное распределение изотопа. Дальнейшее интегрирование модели позволяет получать решение, согласованное с моделью и с данными измерений в силу минимизации функционала.

Список литературы

1. Information resources of Marine Hydrophysical Institute, RAS: current state and development prospects / Т. М. Bayankina [et al.] // *Processes in GeoMedia*. Cham : Springer, 2021. Vol. II. P. 187–197. https://doi.org/10.1007/978-3-030-53521-6_22.
2. Marchuk G. I., Penenko V. V. Application of optimization methods to the problem of mathematical simulation of atmospheric processes and environment // *Modeling and Optimization of Complex Systems*. Berlin ; Heidelberg : Springer, 1979. P. 240–252. <https://doi.org/10.1007/BFb0004167>.
3. Demyshev S. G. A numerical model of online forecasting Black Sea currents // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2012. Vol. 48, issue 1. P. 120–132. DOI: 10.1134/S0001433812010021.
4. The regional weather forecasting system SKIRON: An overview / G. Kallos [et al.] // *Proceedings of the Symposium on Regional Weather Prediction on Parallel Computer Environments* (Athens, Greece, 1997), pp. 109–122.
5. Определение начального поля концентрации Cs^{137} в Черном море после Чернобыльской аварии на основе решения сопряженных задач / С. Г. Демьшев [и др.] // *Процессы в геосредах*. 2021. № 3 (29). С. 1202–1211.
6. Определение местоположения начального поля концентрации возможного источника загрязнения в акватории Черного моря у Гераклейского полуострова на основе метода сопряженных уравнений / С. Г. Демьшев [и др.] // *Морской гидрофизический журнал*. 2020. Т. 36, № 2. С. 226–237. DOI: 10.22449/0233-7584-2020-2-226-237.

О ПРИЧИНАХ СТАЦИОНИРОВАНИЯ И ОТРЫВА СЕВАСТОПОЛЬСКИХ ВИХРЕЙ

А. А. Кубряков [✉], А. И. Мизюк, С. В. Станичный

МГИ, Севастополь, Россия

[✉] *arskubr@ya.ru*

Ключевые слова: Черное море, Севастопольский вихрь, синоптические вихри, стационарирование вихрей, взаимодействие вихрей с топографией.

В Черном море существует несколько известных мест стационарирования, где синоптические вихри имеют имена, соответствующие близлежащему географическому региону: Севастопольский, Батумский, Керченский вихрь. Одними из наиболее важных вихревых образований в бассейне являются Севастопольские вихри, которые существенно влияют на перенос богатых биогенами вод северо-западного шельфа в центральную часть моря. Эти вихри образуются в результате обтекания Крымского полуострова, после чего смещаются на запад со скоростями 1–10 см/с, а затем на расстоянии около 100 км от Крыма в ряде случаев становятся стационарными.

На основе альтиметрических измерений и численного моделирования показано, что стационарными становятся только интенсивные вихри с толщиной больше 200 м. При продвижении на запад крупные вихри сталкиваются с топографическим препятствием, связанным с резким поворотом континентального склона на юг в районе 41° с. ш. Таким образом, на пути вихря на глубинах от 200 м возникает меридиональный барьер, вытянутый с севера на юг на расстояние около 100 км, который препятствует прохождению крупных вихрей. В этом районе Севастопольские вихри становятся стационарными на период от нескольких недель до месяцев. После этого они отрываются от этого района и продолжают движение на расстояние до 300–500 км на юго-запад бассейна до турецкого побережья, где диссипируют.

Анализ реалистичного численного моделирования с высоким разрешением показал, что механизм отрыва Севастопольских

вихрей от препятствия состоит из нескольких этапов. При столкновении вихря со стенкой возникает «зеркальный эффект», в результате которого антициклон движется на север под действием реактивной силы [1] и упирается в северную стенку – склон северо-западного шельфа. В результате интенсивного трения о склон на глубинах 100–400 м формируется интенсивный присоединенный циклон меньшего масштаба [2]. Возникающий вихревой диполь обладает собственным моментом движения, который в такой конфигурации приводит к движению этой структуры на юго-запад по циклоидальной траектории [3]. Диполь смещается южнее меридионального барьера, в результате чего вихрь преодолевает препятствие и продолжает свое движение на запад.

Аналогичный механизм, по-видимому, ответственен за образование других мест стационарирования черноморских вихрей, которые также расположены вблизи сходных топографических препятствий.

Исследование механизмов стационарирования и отрыва вихрей выполнено при поддержке гранта РФФ 21-77-10052. Анализ спутниковых данных сделан при поддержке госзадания FNNN-2021-0006, численное моделирование – при поддержке Госзадания FNNN-2021-0003.

Список литературы

1. Shi C., Nof D. The destruction of lenses and generation of wadons // *Journal of Physical Oceanography*. 1994. Vol. 24, issue 6. P. 1120–1136. DOI: 10.1175/1520-0485(1994)024<1120:TDOLAG>2.0.CO;2.
2. Sutyurin G. G., Grimshaw R. The long-time interaction of an eddy with shelf topography // *Ocean Modelling*. 2010. Vol. 32, issue 1–2. P. 25–35. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2009.08.001>.
3. Velasco Fuentes O. U., Van Heijst G. J. F. Experimental study of dipolar vortices on a topographic β T-plane // *Journal of Fluid Mechanics*. 1994. Vol. 259. P. 79–106. DOI: 10.1017/S0022112094000042.

МЕХАНИЗМ ДОЛГОПЕРИОДНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ АТЛАНТИЧЕСКОЙ МЕРИДИОНАЛЬНОЙ ОКЕАНИЧЕСКОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ

Д. А. Кузнецова [✉], И. Л. Башмачников

СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия
[✉] *St055331@student.spbu.ru*

Ключевые слова: Атлантическая меридиональная океаническая циркуляция, Северная Атлантика, глубокая конвекция, апвеллинг в Южном океане.

Меридиональная океаническая циркуляция в Северной Атлантике (АМОЦ) является одним из ключевых звеньев глобального океанического конвейера. АМОЦ обеспечивает перенос приблизительно четверти суммарного океанического и атмосферного тепла к полярным широтам, определяя изменчивость климата в Северном полушарии. Схематично АМОЦ может быть представлена как зонально осредненный поверхностный перенос вод на север, их опускание в результате глубокой конвекции на значительные глубины, распространение вод на юг в промежуточных и придонных слоях Северной Атлантики и их поднятие к поверхности в результате ветрового апвеллинга в Южном океане.

Изменчивость интенсивности глубокой конвекции в морях Гренландском, Лабрадор и Ирмингера и апвеллинга в Южном океане определяют интенсивность АМОЦ на межгодовых и декадных временных масштабах, но относительный вклад каждого из этих факторов в АМОЦ является предметом дискуссий.

Взаимосвязь изменчивости АМОЦ и вышеупомянутых механизмов ее возможного контроля исследовалась с использованием кросс-корреляционного и регрессионного анализов. Были рассчитаны индексы АМОЦ, в результате чего был получен временной ряд интенсивности АМОЦ с 1950 по 2016 г. Глубокая конвекция оценивалась по среднегодовым значениям глубины верхнего однородного перемешанного слоя в каждом из

морей. Для оценки интенсивности апвеллинга была рассчитана средняя величина дивергенции экмановских потоков в Южном океане.

Было показано, что только два из предполагаемых механизмов контроля вносят значимый вклад в изменчивость АМОЦ в Северной Атлантике – глубокая конвекция в море Ирмингера и ветровой апвеллинг в Южном океане. При этом интенсивность конвекции в море Ирмингера имеет определяющее значение для интенсивности меридиональной циркуляции в Северной Атлантике. Нами также было показано, что изменчивость АМОЦ опережает изменчивость интенсивности конвекции в Гренландском море. Это говорит о том, что АМОЦ оказывает влияние на интенсивность конвекции, а не наоборот.

Публикация выполнена при финансовой поддержке гранта Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ) № 93016972.

ТЕОРЕТИКО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЕДОВОЙ ХОДКОСТИ СУДОВ

А. А. Куркин ✉, Н. В. Калинина, Е. М. Грамузов

НГТУ, Нижний Новгород, Россия
✉ aakurkin@nntu.ru

Ключевые слова: математические модели движения ледокола, экспериментальные исследования, настройка теоретических моделей.

В НГТУ им. Р. Е. Алексеева разработаны математические модели движения ледокола набегами на различных этапах, позволяющие прогнозировать ледовую ходкость на этапе проектирования. Теоретические модели движения построены таким образом, что нуждаются в настройке в соответствии с данными натурных экспериментов путем введенных эмпирических коэффициентов.

Это связано с тем, что физические модели взаимодействия ледокола со льдом упрощают реальность, а математические модели получены для идеализированных условий. Поэтому перед составляющими сопротивления введены неизвестные эмпирические коэффициенты, позволяющие приводить в соответствие теоретическую модель с натурными данными. Они могут быть определены на базе экспериментальных исследований.

Исследование работы судна набегами, при которой скорость все время меняется, связано с большими трудностями. Смоделировать движение ледокола во льду также сложно. Поэтому натурные испытания в данном случае имеют особое значение. Организация и проведение натуральных испытаний в современных экономических условиях выливается в огромные материальные затраты. Поэтому важным является сбор и обобщение результатов проведенных ранее натуральных испытаний по работе ледоколов непрерывным ходом и набегами.

Испытания судов во льдах проводят по принципу активного или пассивного эксперимента. Активный эксперимент имеет преимущества и при испытаниях ледоколов ему отдается предпочтение. Однако при его реализации в натуральных условиях часто возникают трудности. Одна из них связана с необходимостью на длительное время отвлекать суда от выполнения рейсовых заданий, что связано с большими расходами. В силу этого часто приходится проводить натурные испытания по схеме пассивного эксперимента, которые принято называть попутными. Они проводятся без вывода судна из эксплуатации, и результаты экспериментов представляются по-разному. Для одних опытов производятся непрерывные записи всего процесса движения ледокола (скорость \dot{x} , частота вращения гребных винтов n , мощность ледокола N , толщина льда h), для других фиксируются отдельные параметры движения, представляемые в табличном виде. Несмотря на разные представления экспериментальных данных, все они являются уникальными и могут быть использованы для построения методик расчета движения ледоколов.

Расчет эмпирических коэффициентов производился отдельно для каждого этапа движения сразу по нескольким проектам судов с использованием среднестатистических характеристик ледяного покрова. Оценка эмпирических коэффициентов производилась

непосредственным совпадением с натурными данными. Полученные расхождения между натурными данными и результатами теоретических расчетов объясняются неточными измерениями длин отходов, разбегов, продвижений ледокола, толщин льда и снега в результате пассивного эксперимента. При выводе расчетных формул лед и снег были приняты постоянной толщины. Хотя в реальном процессе толщина льда и снега постоянно колеблется. Не были учтены и зафиксированы изгибы реки, наличие течения, снос льда.

При накоплении данных натурных исследований эмпирические коэффициенты могут уточняться. Увеличение количества и повышение качества данных натурных экспериментов приводит к повышению надежности методики расчета параметров движения ледокола.

Представленные результаты получены при поддержке гранта РФФИ № 22-19-00376 «Экспериментально-теоретическое исследование полуэмпирических моделей взаимодействия судов со льдом».

ДИНАМИКА ВНУТРЕННИХ ПРИЛИВНЫХ И КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВОЛН В ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЕ О. САХАЛИН

О. Е. Куркина [✉], Е. А. Рувинская, П. Д. Кузнецов, А. А. Куркин

НГТУ, Нижний Новгород, Россия

[✉] *oksana.kurkina@mail.ru*

Ключевые слова: вероятности превышения уровня, придонные скорости, численное моделирование, негидростатическая модель, изопикна.

Охотское море – одно из наиболее богатых природными ресурсами, а зона сахалинского шельфа – стратегически важный регион, в котором сосредоточены месторождения углеводородов, а также районы нереста и нагула ценных пород рыб. В силу существенной стратификации и достаточно сильных приливов, ко-

которые в этом регионе имеют сложный многокомпонентный состав с преимущественным преобладанием суточных компонент, здесь активно генерируются внутренние волны, что подтверждается как немногочисленными натурными наблюдениями и спутниковыми снимками, так и косвенными признаками, например подводными дюнами в прибрежной зоне этой части акватории.

Целью настоящей работы является численное исследование динамики внутренних волн в условиях стратифицированного морского шельфа о. Сахалин с помощью полнонелинейного численного моделирования. В работе проанализированы как результаты двумерных (вертикальная плоскость) расчетов в рамках программного комплекса IGW, реализующего процедуру численного интегрирования полнонелинейной системы уравнений гидродинамики невязкой несжимаемой стратифицированной жидкости в приближении Буссинеска, так и результаты, полученные в Стэнфордской модели SUNTANS, в которой численно решается система уравнений Навье – Стокса, с учетом влияния баротропного прилива и вращения. Показано, что при трансформации бароклинной волны в зоне шельфовой отмели активно генерируются солибоны, а также уединенные волны умеренных амплитуд. Наблюдается сложная многомодовая сильнонелинейная динамика внутренних волн с образованием пучков внутренних волн над особенностями дна. Получены оценки амплитуд длинных бароклиных волн, а также индуцированных ими скоростей. Структура поля скорости сильно неоднородна в пространстве и времени. По вертикали и горизонтали наблюдается существенная асимметрия течений (придонных/приповерхностных, в сторону берега / в сторону моря). Проведен спектральный, вероятностный, корреляционный и вейвлет-анализ различных рассчитанных гидродинамических полей.

Представленные результаты получены в рамках государственного задания в сфере научной деятельности (тема № FSWE-2020-0007 «Волновой климат стратифицированного морского шельфа: нелинейные динамические процессы и их влияние на прибрежную зону и гидротехнические сооружения») и при поддержке гранта Президента РФ по государственной поддержке ведущих научных школ РФ НШ-70.2022.1.5.

СВЯЗЬ НИЗКОЧАСТОТНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ РЕГИОНАЛЬНОГО АРКТИЧЕСКОГО УСИЛЕНИЯ С МЕХАНИЗМОМ КОМПЕНСАЦИИ БЬЕРКНЕСА

М. М. Латонин^{1,2}✉, И. Л. Башмачников^{1,2}, Л. П. Бобылев¹

¹ Фонд «Нансен-центр», Санкт-Петербург, Россия

² СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

✉ mikhail.latonin@niersc.spb.ru

Ключевые слова: океанический перенос тепла, атмосферный перенос тепла, десятилетняя изменчивость, климат Арктики, цикличности, Евразийский бассейн, Северо-Европейский бассейн.

Причины Арктического усиления широко обсуждаются, но на данный момент остается много неопределенностей. В этом исследовании изучалась роль Атлантического меридионального океанического и атмосферного переноса тепла в Арктику в возникновении Арктического усиления. Рассмотрены интегральные адвективные потоки в слое атлантических вод и в нижней тропосфере. Результаты указывают на тесную связь меридиональных потоков тепла с региональным Арктическим усилением в Евразийском бассейне Арктики на десятилетних временных масштабах (10–15 лет). Показано, что низкочастотная изменчивость Арктического усиления регулируется цепочкой океанический перенос тепла – атмосферный перенос тепла – Арктическое усиление. Атмосфера откликается на воздействие океана с задержкой в три года за счет механизма компенсации Бьеркнеса. В свою очередь, атмосферный перенос тепла и влаги напрямую влияет на величину Арктического усиления, причем с опережением первого на один год. Таким образом, изменчивость океанического переноса тепла на южной границе Северо-Европейского бассейна может быть предиктором величины Арктического усиления над Евразийским бассейном Северного Ледовитого океана с заблаговременностью в четыре года. Результаты согласуются с концепцией десятилетней изменчивости климата Арктики, выраженной через индекс колебания Северного Ледовитого океана.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта № 13.2251.21.0006 (Уникальный идентификатор РФ – 225121X0006; Соглашение № 075-10-2021-104 в Системе «Электронный бюджет» РФ).

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПОВЕРХНОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ И ЛЕДОВИТОСТИ ОТДЕЛЬНЫХ РАЙОНОВ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Н. А. Лис ✉, Л. А. Тимохов

ААНИИ, Санкт-Петербург, Россия
✉ nalis@aari.ru

Ключевые слова: температура поверхности воды, площадь льда, Баренцево море, множественная регрессия.

В современном периоде глобальных климатических изменений площадь льдов Северного Ледовитого океана продолжает сокращаться, поверхностная температура воды – увеличиваться. Эти две характеристики неразрывно связаны между собой. Поэтому представляет особый интерес их совместный анализ. Баренцево море является одним из районов, наиболее чувствительных к таким масштабным изменениям климата.

Данные со среднемесячной дискретностью о площади льда Баренцева моря предоставлены отделом ледового режима и прогнозов ФГБУ «ААНИИ» с 1928 по 2021 г. Среднемесячные значения температуры поверхности океана 1928–2019 гг. в узлах сетки 2°× 2 получены по данным CDAS-1 Reanalysis Международного исследовательского института климата и общества (International Research Institute for Climate and Society, сокр. IRI) Колумбийского университета города Нью-Йорк, США (URL: <http://iridl.ldeo.columbia.edu/>). Рассматриваются однородные рай-

оны по ледовому и гидрологическому режимам: Северо-Восточный, Западный и Юго-Восточный. В качестве предикторов используется рабочий массив гидрометеорологических и астрогеофизических характеристик [1].

Разработаны уравнения долгопериодной изменчивости ледовитости и температуры поверхности океана для каждого из районов Баренцева моря.

Оценена информативность различных комбинаций параметров. На долю астрогеофизических параметров приходится до 50%, гидрометеорологических – до 70%, предшествующее состояние ледового и теплового режимов – до 65%. Доминирующее влияние оказывает система течений с теплыми водами атлантического происхождения и холодными арктическими водами.

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

Список литературы

1. Информативность гидрометеорологических и астрогеофизических факторов в задаче описания межгодовых колебаний ледовитости Гренландского моря / Н. А. Вязигина [и др.] // Лёд и Снег. 2021. Т. 61, № 3. С. 431–444. DOI: 10.31857/S2076673421030099.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ МОД СЕЙШ В СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЕ

Ю. В. Манилюк ✉, **Д. И. Лазоренко**, **Вл. Вл. Фомин**

МГИ, Севастополь, Россия

✉ *uvmsev@yandex.ru*

Ключевые слова: сейши, резонансные колебания, экстремальные моды, Севастопольская бухта, численное моделирование, модель ADCIRC.

Сейши – наиболее распространенное явление в бухтах. В основном они вызываются волновыми возмущениями, приходящими из открытого моря. Теоретически наибольшую опасность для бухт представляют так называемые экстремальные моды

сейш, амплитуда которых может значительно возрастать при увеличении длительности действия возмущения. Экстремальные моды имеют пространственную структуру, которая затрудняет излучение энергии колебаний воды в открытое море через вход в бухту, а также делает неэффективной передачу им энергии от волн, проникающих в бухту из открытого моря. Поэтому в инженерной практике часто пренебрегают учетом возможности генерации экстремальных мод. Но это представляет определенную опасность для судов, находящихся в гавани, береговой инфраструктуры, работ по разгрузке/выгрузке судов.

Общие закономерности для экстремальных мод сейш пока не установлены. Исследования проведены для небольшого количества модельных бассейнов. Поэтому изучение возникновения экстремальных мод в реальных бухтах представляет практический и научный интерес.

В настоящей работе для Севастопольской бухты на основе численного математического моделирования, выполненного с использованием конечно-элементной модели ADCIRC, исследуется возможность генерации экстремальной моды сейшевых колебаний, представляющей собой одноузловую поперечную сейшу с периодом около 2,5 мин. Сейши генерируются длинноволновыми возмущениями, приходящими из открытого моря. Диапазон периодов возмущений лежит в интервале 2,4–3,0 мин. Длительность действия возмущений составляет 24 ч. При проведении расчетов учитывается наличие соседних бухт, образующих систему севастопольских бухт.

В результате анализа результатов проведенных численных экспериментов установлено:

1. Продолжительное (> 15 ч ~ 300 периодов экстремальной моды) воздействие волновых возмущений в диапазоне периодов 2,4–3,0 мин приводит к генерации в Севастопольской бухте интенсивных сейшевых колебаний, в том числе и поперечной моды, относящейся к классу экстремальных мод.

2. Данная экстремальная мода сейш имеет высокую интенсивность в районах акватории Севастопольской бухты, используемых для швартовки судов, их ремонта, перевалки грузов, выращивания марикультур.

ОСОБЕННОСТИ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОД ЭГЕЙСКОГО И МРАМОРНОГО МОРЕЙ

Н. В. Маркова, С. В. Довгая ✉

МГИ, Севастополь, Россия

✉ *dovgayasvetlana0309@yandex.ru*

Ключевые слова: Эгейское море, Мраморное море, численное моделирование, течения, вихри, циркуляция.

Эгейское и Мраморное моря являются промежуточными звеньями каскада внутренних морей Атлантического океана, соединяя Средиземное и Черное моря, характеризующиеся, в свою очередь, существенно различными гидрологическими характеристиками. В данной работе приводятся некоторые основные особенности сложной динамики Эгейского и Мраморного морей, представляющей несомненный научный и практический интерес и требующей дальнейшего детального изучения.

Являясь окраинной частью Средиземного моря, Эгейское море (ЭМ) представляет собой уникальный полузамкнутый бассейн со сложной топографией и гидрологией; в его акватории находятся 483 острова, береговая линия сильно изрезана. ЭМ выступает в роли «собирающего» бассейна для различных водных масс, как формирующихся внутри него, так и приходящих из прилегающих регионов. Водные массы создают фронты и взаимодействуют в суббассейнах ЭМ, определяя, наряду с атмосферным воздействием, распределение гидрофизических характеристик.

Одной из важнейших особенностей гидродинамики ЭМ являются события формирования плотной воды, что делает ЭМ одним из основных источников глубоководных водных масс для всей восточной части Средиземного моря. Максимальные градиенты солёности характерны для фронтальной зоны между черноморской и левантийской водными массами в северной части ЭМ. Приток менее солёных черноморских вод через пролив Дарданеллы дает наибольший вклад плавучести и является основным фактором, определяющим стратификацию вод.


Циркуляция вод в северной части ЭМ, прибрежные течения, а также Самофракийский антициклон в значительной степени контролируются Дарданелльским шлейфом. Картины циркуляции сильно зависят от межгодовой изменчивости и выраженной сезонности этого притока, а его интенсивность может доминировать над вкладом ветра в определении циркуляции Северного ЭМ. Перемещению черноморских вод в южную часть ЭМ способствуют ветры северных румбов. Интенсивность водообмена между северной и южной частями моря определяется также потоками плавучести в его верхних и промежуточных слоях.

Для Мраморного моря на основе численной нелинейной вихререзающей модели (МГИ РАН, Севастополь) был проведен эксперимент по формированию гидродинамической структуры его вод под воздействием атмосферного возмущения и водообмена с проливами Босфор и Дарданеллы. На поверхности моря на каждые сутки задавались поля тангенциальных напряжений трения ветра, потоки тепла, осадки и испарение за 2008 г., полученные по данным расчета региональной атмосферной модели MM5. Проведенный эксперимент показал, что в среднем за год в поверхностном слое моря часть черноморских вод, поступающих из Босфора, вовлечена в S-образный поток, направленный к проливу Дарданеллы, а часть – в центральный антициклон. Циклонические вихри расположены в юго-западных и юго-восточных районах бассейна и в районе залива Измит. Такое расположение особенностей динамики соответствует пространственному распределению средней завихренности ветрового поля над регионом в 2008 г. На глубинах от 20 до 50 м воды, поступающие из пролива Дарданеллы, объединяются с водами, огибающими о. Мраморный, перемещаются вдоль западного берега моря и входят в центральную циркуляцию. Затем часть вод направляется к юго-восточному и северо-восточному циклоническим вихрям, а часть – в Босфорский пролив. Ниже горизонта 63 м циркуляция распадается на множество круговоротов, в которых движение вод в основном определяется топографией морского дна и распределением поля плотности.

Работа выполнена по темам госзадания 0555-2021-0003 (шифр «Оперативная океанология») и 0555-2021-0004 (шифр «Океанологические процессы»).

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ГЛУБОКОВОДНОГО ПРОТИВОТЕЧЕНИЯ В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ ОСЕНЬЮ 2016 ГОДА

Н. В. Маркова , О. А. Дымова

МГИ, Севастополь, Россия
 *n.v.markova@mail.ru*

Ключевые слова: Черное море, моделирование, циркуляция, мезомасштабные вихри, противотечения, данные ARGO.

Для исследования генерации глубоководных нестационарных течений, распространяющихся в Черном море вдоль материкового склона, выполнен анализ результатов численного эксперимента по моделированию гидрофизических полей Черного моря на основе модели МГИ. Эксперимент проведен для 2016 г. с атмосферным форсингом ERA5 без ассимиляции в численной модели данных гидрологических наблюдений. Шаг z -сетки составлял 1,6 км по горизонтали для всего бассейна. Интегрирование уравнений модели в течение модельного года дало возможность оценить внутригодовую изменчивость течений, подтвердив усиление скоростей на всех глубинах в осенне-зимний период (в том числе на глубоководных горизонтах).

Период 2016 г. был выбран в силу того, что по данным наблюдений ARGO осенью 2016 г. был зафиксирован разворот автономного дрейфующего буя-профилемера № 6901833 со сменой направления его движения с циклонического на антициклоническое вдоль северо-восточной части материкового склона. Буй дрейфовал на глубине 200 м в юго-восточном направлении на протяжении 40 сут, а затем последовал возврат к его первоначальной траектории (сонаправленно Основному Черноморскому течению). Подобное поведение буя могло быть обусловлено как мезомасштабными вихревыми структурами, образующимися и/или движущимися вдоль материкового склона, так и наличием глубоководного течения антициклонической направленности

(противотечения относительно направления циркуляции на поверхности). В указанном районе по данным контактных наблюдений и результатам численного моделирования ранее уже идентифицировались случаи проявления узких (шириной до 10–12 км) антициклонических течений под основным пикноклином.

Поэтому в данной работе были детально исследованы особенности полученных модельных полей – скорости течений, температуры, солёности и плотности морской воды на разных горизонтах, выявлены особенности стратификации черноморских вод вблизи северокавказского побережья.

Установлено, что в сентябре – октябре 2016 г. в районе северо-восточного свала глубин Черного моря на горизонтах более 200 м в результате воздействия серии мезомасштабных антициклонических вихрей на воды вблизи материкового склона происходило формирование узкого струйного течения, распространяющегося вдоль северокавказского побережья на юго-восток со скоростями от 2 до 8 см/с. Время жизни противотечения составило 9 сут, протяженность вдоль побережья – около 300 км. Предположительно, генерация противотечения происходила за счет накачки энергии вихрями между их периферией и узким крутым материковым склоном, который характерен для северо-восточной части моря. После ослабления прибрежных антициклонов релаксация поля скорости в указанном районе составила примерно 7 сут, позднее снова установилась циклоническая циркуляция.

Таким образом, показано, что модель МГИ воспроизводит разворот течений на глубинах под основным пикноклином вблизи северокавказского побережья, наблюдаемый посредством дрейфующего буй-профилемера ARGO. Узкое противотечение, в которое попал буй осенью 2016 г., распространялось вдоль свала глубин и было сгенерировано системой мезомасштабных антициклонических вихрей в рассматриваемом районе.

Численный анализ гидрофизических полей в сопоставлении с данными наблюдений выполнен в рамках темы госзадания 0555-2021-0003. Оценка влияния стратификации на формирование особенностей глубоководных течений проводилась при поддержке гранта РФФ 22-17-00150.

ЦУНАМИ В МИРОВОМ ОКЕАНЕ, ВЫЗВАННОЕ ИЗВЕРЖЕНИЕМ ВУЛКАНА ТОНГА В 2022 ГОДУ

И. П. Медведев

ИО РАН, Москва, Россия

✉ *medvedev@ocean.ru*

Ключевые слова: цунами, Тонга, метеоцунами, прибрежный ма-реограф, численное моделирование, атмосферное давление.

Извержение вулкана Тонга 15 января 2022 г. вызвало волны цунами, которые затронули весь Мировой океан на расстоянии до 18 000 км от источника. Важной особенностью этих цунами был их комплексный характер. Извержение вулкана сгенерировало океанские волны, распространяющиеся от источника со скоростью длинных волн, и волны атмосферного давления (волны Лэмба), распространяющиеся вокруг земного шара со скоростью звука (т. е. примерно в 1,5 раза быстрее, чем фазовая скорость длинной волны).

На основе анализа временных рядов нескольких сотен наблюдательных пунктов с высоким разрешением были построены глобальные карты океанических волн цунами и атмосферных волн Лэмба. В некоторых районах Тихого океана удалось различить два типа движений и оценить их относительный вклад. Была построена глобальная численная модель волн цунами, результаты которой сопоставлены с наблюдениями. Смоделированные и наблюдаемые высоты волн цунами хорошо согласовывались. Глобальные карты также позволили нам определить региональные «горячие точки», где наблюдались самые большие высоты волн цунами. Помимо районов в Тихом океане (Чили, Новая Зеландия, Япония, Западное побережье США и Аляска / Алеутские острова), «горячие регионы» включали Западное Средиземноморье и атлантическое побережье Европы и Северной Африки.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2021-0004) и при финансовой поддержке гранта президента РФ МК-4168.2022.1.5.

АНАЛИЗ ПОВТОРЯЕМОСТИ И СИНОПТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ КРЫМСКОЙ БОРЫ

В. В. Метик-Диунова, Е. М. Лемешко, С. А. Майборода

МГИ, Севастополь, Россия

✉ *vitaliya.diyunova@bshpg-ras.ru*

Ключевые слова: Южный берег Крыма, ЮБК, крымская бора, экстремальная скорость ветра, синоптические условия.

Наиболее опасным погодным явлением в холодный сезон года в районе Южного берега Крыма (ЮБК) является крымская бора – сильный, холодный, порывистый северный ветер со скоростями 15–20 м/с, а иногда и до 40–50 м/с., направленный на море по склону горного хребта. Как правило, бора сопровождается понижением температуры на 10–15 °С и порывами ветра настолько сильными, что они могут вызывать обрывы линий электропередач, затопление судов и другие разрушения.

По данным стандартных гидрометеорологических измерений, полученных на Черноморском гидрофизическом подспутниковом полигоне Морского гидрофизического института РАН (ЧГПП МГИ), проведен анализ синоптических условий образования и повторяемости крымской боры. Получены статистические значения по числу суток с борой за холодный и теплый периоды, количеству случаев боры при различной их продолжительности в сутках и повторяемости по месяцам за 2016–2022 гг.

За исследуемый период (7 лет) наблюдалось 17 случаев боры общей продолжительностью 19 сут. Продолжительность случая единичной боры в основном составляет 1 сут. Бора, длящаяся 3 сут, наблюдалась один раз с 12 по 14 февраля 2021 г., при этом максимальная экстремальная скорость ветра составила 39,4 м/с, а температура воздуха в течение 1 сут понизилась на 12,8 °С. В 2021 г. также зафиксировано наибольшее количество дней с борой – 7, из них: в феврале – 4, июне – 1, сентябре – 1.

Наиболее часто за исследуемый период бора наблюдалась в январе и феврале (5 случаев), в остальные месяцы – от 0 до

2 случаев. Наибольшая повторяемость боры в холодную половину года вполне закономерна. В этот сезон наиболее ярко проявляется влияние взаимодействия между холодным материком и относительно теплым Черным морем на термобарические процессы в регионе. Анализ повторяемости боры показал тенденцию к уменьшению количества явлений. Согласно предыдущим исследованиям, с 1956 по 1985 г. среднее количество дней с борой составило 10 дней, с 1986 по 2015 г. – 5, а за исследуемый период – 3 дня.

Исследование синоптических условий показало, что возникновение и развитие боры напрямую связано с крупномасштабными атмосферными образованиями, такими как область высокого давления в районе от Скандинавского полуострова до Балкан и область низкого давления от Северного Урала до низовий Волги.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0555-2021-0005.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ И НАКАТА ВЕТРОВЫХ ВОЛН НА ЗАПАДНОЕ ПОБЕРЕЖЬЕ КРЫМА С УЧЕТОМ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ БЕРЕГОЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

С. Ю. Михайличенко ¹✉, Д. Ю. Куранов ²

¹ МГИ, Севастополь, Россия

² СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

✉ liham1984@rambler.ru

Ключевые слова: модель SWASH, спектр JONSWAP, модельный бассейн, высоты значительных волн, осредненные по глубине орбитальные скорости жидкости, волнолом, величина вертикального заплеска, величина горизонтального заплеска, коэффициент трансформации волн.

В работе с помощью модели SWASH в рамках одномерной задачи исследовалось распространение, трансформация и накат ветровых волн на берег модельного бассейна с учетом располо-

жения в прибрежной зоне различных типов берегозащитных сооружений. В задаче использовался осредненный по широкому участку западного побережья Крыма профиль глубин. Ветровое волнение в расчетах моделировалось с помощью спектра развитого волнения JONSWAP с использованием величин высот, периодов и направлений волн для ветра наиболее штормоопасного направления для рассматриваемого региона. Во всех расчетах скорость ветра составляла 25 м/с. В численных экспериментах рассматривалось несколько типов гидротехнических сооружений: вертикальная волноотбойная стенка, откосно-ступенчатая стена и берма. Исследовалась трансформация ветровых волн при подходе к берегу и их взаимодействии с берегозащитными сооружениями.

В результате численных экспериментов были определены физические закономерности гидродинамических полей в зависимости от конфигурации берегозащитных сооружений. Рассчитаны высоты волн, осредненные по глубине скорости жидкости и коэффициенты трансформации волнового поля. Были также рассчитаны величины вертикального и горизонтального заплеска на берег модельного бассейна в случае без учета гидротехнических сооружений.

ВНУТРИГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК СУБАНТАРКТИЧЕСКОГО ФРОНТА В ЮГО-ЗАПАДНОЙ АТЛАНТИКЕ

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

МГИ, Севастополь, Россия

✉ *nikolsky.geo@gmail.com*

Ключевые слова: Юго-Западная Атлантика, Субантарктический фронт, внутригодовая изменчивость, геострофическая скорость, зональный градиент температуры.

В данной работе исследуются климатическая структура и сезонная изменчивость Субантарктического фронта (САФ)

в полях температуры и геострофической скорости в области Патагонского шельфа и в зоне схождения Фолклендского и Бразильского течений (зона СФБТ). Для этой цели используются массивы геострофических скоростей из реанализа CMEMS и температуры поверхности океана (ТПО) из реанализа NOAA OI SST за период 1993–2020 гг. В исследуемом районе САФ имеет квазимеридиональную ориентацию, поэтому фронт выделялся по экстремумам меридиональной геострофической скорости и зональных градиентов ТПО.

Показано, что на широте Фолклендских о-вов (52° ю. ш.) температурный фронт и соответствующее ему течение разделяются на две основные ветви – западную и восточную. Западная ветвь САФ усиливается в сентябре – октябре, т. е. весной Южного полушария, а соответствующее этой ветви фронта Западное Фолклендское течение (ЗФТ) наиболее интенсивно в марте. Восточная ветвь фронта усиливается в октябре – декабре, а Восточное Фолклендское течение (ВФТ) – в феврале.

Севернее 50° ю. ш. из-за влияния мелководья Фолклендских островов бимодальная структура фронта и течений сохраняется. Западная ветвь САФ усиливается в октябре, восточная – в ноябре – декабре. При этом ЗФТ так же, как на широте Фолклендских островов, максимально усиливается в марте, тогда как ВФТ достигает максимальной интенсивности в августе.

Севернее $47\text{--}45^{\circ}$ ю. ш. САФ образует циклонический меандр. Максимальная интенсивность фронта с прибрежной стороны меандра отмечается в декабре, при этом в июне отмечается второй более слабый максимум. С мористой стороны меандра основной максимум зонального градиента ТПО наблюдается в июне – августе. Поток северного направления, характеризующий западную периферию меандра, максимально усиливается в декабре, на восточной периферии течение южного направления максимально усиливается в мае – июле. Ближе к северной вершине циклонического меандра (40° ю. ш.) сезонный цикл САФ и соответствующего ему потока существенно изменяется. На западной периферии меандра основной пик интенсивности САФ в поле ТПО приходится на ноябрь, при этом в мае наблюдается еще один пик,

т. е. полугодовая периодичность в сезонном цикле интенсивности усиливается при приближении к зоне СФБТ. В поле геострофических течений также отмечаются два основных максимума скорости – в марте и июле. Формирование полугодового сигнала связано с наложением со сдвигом в несколько месяцев двух годовых сигналов, которые прослеживаются в сезонном ходе интенсивности Фолклендского и Бразильского течений. На восточной стороне циклонического меандра, где преобладает влияние Бразильского течения, интенсивность САФ в полях ТПО и геострофических скоростей изменяется с хорошо выраженной годовой периодичностью.

Наиболее вероятной причиной фазового различия между временем наступления максимумов интенсивности температурного фронта и соответствующих ему течений к западу и востоку от Фолклендских островов и на перифериях крупномасштабного циклонического меандра в зоне СФБТ является неодинаковая реакция верхнего слоя океана на сезонные меридиональные смещения системы фронтов и течений, обусловленная особенностями орографии района. Различия между формами сезонного сигнала ветвей САФ в поле ТПО и соответствующих им геострофических потоков обусловлены различной реакцией ТПО и интегральной циркуляции на сезонные изменения в атмосфере.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ № 0555-2021-0004 «Океанологические процессы».

**КЛИМАТИЧЕСКАЯ ВНУТРИГОДОВАЯ
ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДНЫХ МАСС
В РАЙОНЕ КОТЛОВИНЫ ПОУЭЛЛ
ПО ДАННЫМ ОКЕАНИЧЕСКОГО РЕАНАЛИЗА
ECMWF ORA-S5**

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

МГИ, Севастополь, Россия

✉ *nikolsky.geo@gmail.com*

Ключевые слова: Антарктика, море Уэдделла, котловина Поуэлл, температура, соленость, водные массы, внутригодовая изменчивость.

Для выявления особенностей структуры водных масс, полученной по результатам фактических гидрологических измерений, выполненных в ходе антарктических экспедиций на НИС «Академик Мстислав Келдыш» (79-й (2019–2020 гг.) и 87-й (2021–2022 гг.) рейсы), представляется важным иметь информацию о закономерностях климатической изменчивости этой структуры на внутригодовом масштабе. Работы проводились в котловине Поуэлл, расположенной в северной части моря Уэдделла. Для этого района на основе данных реанализа ECMWF ORA-S5, содержащего среднемесячные значения потенциальной температуры и солености в узлах регулярной криволинейной сетки примерно $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ на 75 вертикальных уровнях за период с 1979 по 2021 г. выделены основные водные массы и уточнены климатические внутригодовые изменения их T,S-индексов. Анализ T,S-кривых в каждом узле сетки позволил выявить основные водные массы, типичные для Антарктической зоны. Над хребтом Южный Скоша (северная граница котловины Поуэлл) и в ее глубоководной части выделены Антарктическая поверхностная (АПВ), Антарктическая зимняя (АЗВ) и Верхняя циркумполярная глубинная (ВЦГВ) водные массы. Над шельфом архипелага Жуэнвилль, который ограничивает бассейн с юго-запада, прослеживаются Антарктическая шельфовая водная масса (АШВ), АЗВ и ВЦГВ.

Показано, что термохалинные индексы АПВ, АШВ и АЗВ подвержены заметной внутригодовой изменчивости. Антарктическая поверхностная водная масса характеризуется наибольшими сезонными изменениями температуры и существенными изменениями солености, Антарктическая зимняя водная масса – изменениями температуры, Антарктическая шельфовая водная масса – максимальными изменениями солености.

Максимальные изменения температурного индекса АПВ выявлены над хребтом Южный Скоша и в северной части котловины Пуэлла, где они достигают почти 3 °С (от –1,75 °С зимой Южного полушария до 1,25 °С летом). В центральной части котловины изменения температуры АПВ уменьшаются до 2 °С (от –1,75 °С зимой до 0–0,25 °С летом), в южной – не превышают 1,5 °С (от –1,75 °С зимой до –0,25 °С летом). Изменения солености АПВ, наоборот, возрастают в южном направлении. В северной части котловины они составляют почти 1‰ (от 33,3‰ летом до 34,3‰ зимой), а в южной части повышаются до 1,4‰ (от 32,9‰ летом до 34,3‰ зимой).

Внутригодовые изменения солености АШВ достигают почти 1,5‰ (от 32,8‰ летом до 34,3‰ зимой), при этом диапазон изменения ее температуры не превышает 0,5–0,75 °С (–1,75 °С зимой и –1...–0,75 °С летом).

Изменения температурного индекса АПВ увеличиваются в восточном направлении и составляют 0,5 °С (–1,5 °С зимой и –1 °С летом) в западной части бассейна и почти 1 °С в восточной (–1,5 °С зимой и –0,5 °С летом). Внутригодовые изменения солености АЗВ не превышают 0,1‰ и изменяются на акватории котловины в течение года от 34,25 до 34,35‰.

Термохалинные индексы ВЦГВ практически не изменяются в течение года. Как показали оценки глубины проникновения сезонных колебаний в термохалинных полях, выполненные по данным реанализа ECMWF ORA-S5, это связано с тем, что сезонные колебания температуры у берегов Антарктиды южнее 60° ю. ш. не проникают глубже 50–75 м, солености – глубже 100–175 м.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ № FNNN-2021-0009 «Антарктика».

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТЫ ВЯЙСЯЛЯ – БРЕНТА В ЦИКЛОНАХ И АНТИЦИКЛОНАХ

Е. В. Новоселова ¹✉, Т. В. Белоненко ¹, В. В. Жмур ²

¹ СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

² ИО РАН, Москва, Россия

✉ e.novoselova@spbu.ru

Ключевые слова: частота Вьяйсяля – Брента, Лофотенская котловина, Лофотенский вихрь, Норвежское море, стратификация.

В данной работе исследуются изменения частоты Вьяйсяля – Брента, вызванные мезомасштабными вихрями различной полярности. Район исследования – Лофотенская котловина Норвежского моря. Для анализа используются данные океанического реанализа GLORYS12V1 за 10 июня 2010 г. Рассматриваются два вихря: квазипостоянный антициклон – Лофотенский вихрь (ЛВ), расположенный в центре котловины, и циклон, расположенный юго-восточнее ЛВ. Вычисляются характеристики вихрей, исследуются профили и вертикальные разрезы частоты Вьяйсяля – Брента. Растяжение или сжатие по вертикали элементарных жидких объемов приводит к изменениям частоты Вьяйсяля – Брента. В данной работе рассматривается воздействие мезомасштабных вихрей океана на перестройку частоты Вьяйсяля – Брента, которая возрастает при усилении стратификации морской воды и уменьшается в слабостратифицированных водах. Наличие вихрей приводит к деформации и смещению изопикн, которые в покоящемся океане при отсутствии вихрей представляют собой горизонтальные поверхности, причем наиболее сильной деформации будут подвергаться те части изопикнических поверхностей, которые попали внутрь вихревого ядра или находятся вблизи него.

Было показано, что изопикны в циклонах и антициклонах деформируются в среднем в противоположных направлениях. Циклонические вихри сближают изопикны, втягивая ближние

внешние изопикны внутри вихревого ядра, в то же время антициклонические вихри раздвигают изопикны друг от друга. Последнее приводит к увеличению частоты Вьясяля – Брента в вихревом ядре циклона и соответствующему ее уменьшению в антициклоне. Показано, что аномалии частоты Вьясяля – Брента относительно фоновой частоты положительны в ядре циклона и отрицательны в ядре антициклона.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 22-27-00004.

МАЛЫЕ РЕЧНЫЕ ПЛЮМЫ В ЧЕРНОМ МОРЕ

А. А. Осадчиев

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

Ключевые слова: речной плюм, малые реки, поверхностный слой моря, стратификация, циркуляция вод, Черное море.

Малые речные плюмы – это плюмы, сформированные реками с небольшими среднегодовыми объемами стока, оказывающими региональное влияние на прибрежные процессы. В мире насчитывается огромное количество таких речных плюмов, через них проходит значительная доля глобального переноса пресной воды, взвешенных и растворенных веществ с суши в Мировой океан, чем обуславливается актуальность их исследования. В этой работе приводится обобщение многолетних исследований малых речных плюмов, формируемых реками северо-восточного побережья Черного моря в прибрежных зонах России и Абхазии, которые изучались в рамках ежегодных экспедиций ИО РАН с 2006 по 2022 г.

Сочетание анализа данных многочисленных натуральных измерений, спутниковых наблюдений, аэрофотосъемки и численного моделирования позволило изучить основные гидродинамические процессы, определяющие формирование, распространение и диссипацию малых речных плюмов. В частности, были

изучены и описаны отклик малых речных плуомов на ветровое воздействие и изменчивость речногорасхода, взаимодействие между близко расположенными малыми речными плуомами, генерация высокочастотных внутренних волн в малых речных плуомах и формирование бароклинной неустойчивости, приводящее к специфическому механизму перемешивания на границах малых речных плуомов.

В результате проведенной работы было показано, что по своей структуре и динамике малые речные плуомы очень сильно отличаются от больших по размеру речных плуомов. Результаты, полученные для малых речных плуомов Черного моря, важны для понимания основных закономерностей формирования, распространения и перемешивания малых речных плуомов в других прибрежных морских акваториях, на долю которых приходится около 25% объема пресной воды и 40% объема терригенной взвеси, поступающих с суши в Мировой океан.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО И ХАЛИННОГО ОТКЛИКОВ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ОКЕАНА НА ПРОХОЖДЕНИЕ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ И МОДЕЛИРОВАНИЯ

П. Д. Пиваев ¹✉, **В. Н. Кудрявцев** ^{1,2}, **Н. Реул** ³,
Б. Шапрон ³

¹ РГГМУ, Санкт-Петербург, Россия

² МГИ, Севастополь, Россия

³ IFREMER, Plouzané, France

✉ pivaev.pavel@gmail.com

Ключевые слова: тропические циклоны, верхний слой океана, дистанционное зондирование, температура и соленость поверхности океана, перемешанный слой.

Реакция верхнего слоя океана на прохождение тропических циклонов (ТЦ) оказывает заметное влияние на эволюцию и развитие самих ТЦ. Это влияние обычно связывают с механизмом

отрицательной обратной связи между охлаждением поверхностного слоя моря и интенсивностью ТЦ. Ранее было выдвинуто предположение, что регионы с речными плюмами с высокими вертикальными градиентами солёности могут представлять собой районы быстрой интенсификации ТЦ. По этим причинам улучшение наших знаний об отклике океана на прохождение ТЦ необходимо для более качественного описания термодинамики океана в экстремальных условиях, а также для улучшения прогнозов, связанных с динамикой ТЦ.

Для исследования отклика верхнего слоя океана, как правило, применяются численные гидродинамические модели, результаты которых верифицируются в основном при сопоставлении с точечными *in situ* измерениями. В этом отношении использование упрощённых моделей отклика океана совместно со спутниковыми данными о температуре и солёности поверхности океана даёт возможность для развития модели отклика как инструмента, необходимого в практических приложениях, и оценки эффективности такой модели.

Целью настоящего исследования является рассмотрение и моделирование хорошо задокументированных случаев термической и халинной реакций океана на различные ураганы с помощью упрощённой модели баротропного и бароклинного откликов верхнего слоя океана на прохождение ТЦ, предложенной в работе [Kudryavtsev et al., 2019]. Изучаемые случаи – это интенсивные ТЦ, проходящие над плюмом рек Амазонки и Ориноко.

Данные об интенсивности и геометрии ТЦ были получены из базы данных IBTrACS. Источником данных о температуре и солёности поверхности океана являются архивы GHRSSST и ESA CCI SSS соответственно. *In situ* данные ISAS20, заданные на регулярной сетке, используются для получения вертикальных профилей температуры и солёности в качестве входных данных для модели. Данные об осадках и испарении получены из измерений TRMM и реанализа ERA5 соответственно. Подмножества данных IBTrACS, GHRSSST, ESA CCI ISAS20, TRMM и ERA5, относящиеся к области следа ТЦ, были подготовлены Центром спутниковых исследований и эксплуатации (CERSAT) в IFREMER, Plouzané (Франция), по проекту MAXSS.


Результаты моделирования согласуются с наблюдениями на качественном уровне. Отклонение результатов моделирования от измерений на количественном уровне обсуждается. На основе анализа наблюдений и результатов моделирования проводится проверка автомодельности аномалий температуры и солёности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 21-47-00038, Министерства науки и образования Российской Федерации в рамках государственного задания № 0555-2021-0004 в МГИ РАН и государственного задания № 0763-2020-0005 в РГГМУ (П.П. и К.В.). Также выражается благодарность за поддержку проекта ESA/MAXSS (Р.Н. и Ш.Б.).

ТЕЧЕНИЯ ВОД АЗОВСКОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИВОЛИНЕЙНОЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СЕТКИ

О. С. Пузина , А. И. Мизюк

МГИ, Севастополь, Россия

 *oksana_puzina@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: Азовское море, численное моделирование, NEMO, σ -координата.

Азовское море является самым мелководным морем, и его максимальная глубина не превышает 13,5 м. Поэтому важно подготовить конфигурацию исследуемого бассейна с высоким вертикальным разрешением. Для бассейнов Эвксинского каскада проводился ряд численных расчетов с z -координатой. В результате чего в Азовском море воспроизводили гидрофизические характеристики только 5 из 35 z -горизонтов. Для более точного моделирования в рассматриваемом регионе лучше использовать σ -координату, которая соответствует рельефу дна и сохраняет одинаковое количество горизонтов.

В данной работе была подготовлена конфигурация (*Azov_sigma*) для Азовского моря и граничившей с ним части Черного моря. Численный расчет проводился на основе модельного комплекса *NEMO*. Пространственное разрешение конфигурации составляет $1/24^\circ$ (≈ 5 км). По вертикали используется 35 горизонтов σ -координаты. Поля начальных условий и данных на открытой границе были подготовлены на основе расчета [1]. Такой расчет имеет пространственное разрешение $1/96^\circ$. В качестве атмосферного воздействия использовались данные, взятые из продукта ERA5. Разрешение ERA5 составляет $1/4^\circ$. Параметризация вертикального турбулентного перемешивания выполнена посредством модели $k - \epsilon$. Расчет проводился для периода с июня 2008 до конца 2009 г. Полученные результаты сравнивались с модельным расчетом аналогичной конфигурации, но построенной с использованием z -координаты (*Azov_z*).

В итоге в глубоководной части Азовского моря структура течений между двумя расчетами соответствует друг другу. Отличия получены в Таганрогском заливе. По расчету *Azov_z* проявлено течение, направленное в сторону глубоководной части Азовского моря. По *Azov_sigma* такое движение не наблюдается. В прибрежной зоне значения скорости в *Azov_z* выше, чем по *Azov_sigma*. На дне больше проявлены различия. По *Azov_z* скорость в два раза выше, чем в расчете с σ -координатой.

Аналогичные расхождения наблюдаются также в районе Керченского пролива. На основе численного моделирования вышеописанных конфигураций были посчитаны расходы воды через данный пролив. Результаты сопоставлялись с расчетами, которые получены на основе натуральных измерений [2].

Таким образом, на основе вышеописанного критерия наиболее подходящим для воспроизведения течений Азовского моря является расчет с σ -координатой.

Список литературы

1. Mizyuk A. I., Lishaev P. N., Puzina O. S. Estimation of the Azov Sea state based on the Black Sea hydrography // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1675. 012120. DOI: 10.1088/1742-6596/1675/1/012120.
2. Особенности водообмена через Керченский пролив по данным натуральных наблюдений / Н. Н. Дьяков [и др.]. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2016. № 1. С. 63–68.

ОЦЕНКА КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА

П. М. Рычкова¹ ✉, С. М. Гордеева^{1,2}

¹ РГГМУ, Санкт-Петербург, Россия

² ИО РАН, Москва, Россия

✉ poruvusitoo@gmail.com

Ключевые слова: Финский залив, ветровое волнение, климатические изменения, индикаторы ветрового волнения.

На основании данных об индикаторах ветрового волнения (ИВВ) (URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/sis-ocean-wave-indicators?tab=overview>) в Финском заливе Балтийского моря проводилось статистическое сравнение высот ветровых волн для двух климатических периодов 1979–2005 и 2001–2017 гг. В наборе данных в качестве индикаторов представлены параметры ветрового волнения с обеспеченностью 90% (ИВВ90) и 99% (ИВВ99) для европейского бассейна с шагом 30 км вдоль изобаты 20 м. Данные усреднены для двух периодов 1979–2005 и 2001–2017 гг., причем первый период рассчитывался по историческим наблюдениям, а второй – на основе данных о ветре реанализа ERA5.

Для восточной части Финского залива (59,4°–60,5° с. ш., 24°–29,5° в. д.), отдельно для северного и южного побережий, рассчитывались первичные статистики и функции распределения ИВВ. Проводилась статистическая оценка значимости различий средних значений и дисперсий ИВВ с помощью критериев Стьюдента и Фишера (при уровне 5%) для двух побережий и двух климатических периодов.

Распределение высоты волны в пространстве Финского залива показало, что в западной части области исследования по данным наблюдений (1979–2005 гг.) встречаются наиболее высокие волны (ИВВ90 до 3,5 м, ИВВ99 до 4,9 м), при подходе к востоку они уменьшаются, исключение составляют волны, которые сохраняют свою силу при прохождении всего залива

и отмечаются у Березовых островов и поселка Озерки (ИВВ90 3–3,2 м, ИВВ99 4–4,5 м). На остальных зонах побережья высота волны не менее 1,8 м.

Статистическое сравнение ИВВ двух периодов показало, что в период 2001–2017 гг. **все** оценки ниже предыдущего климатического периода 1979–2005 на 26–28%. Очевидно, это связано с использованием вместо наблюдений модели реанализа со всеми ее недостатками: сглаживанием оценок, описанием меньшей, чем реальный процесс, дисперсии, что и приводит к занижению значений. Таким образом, использование ИВВ за последний период времени предполагается неадекватным.

Тем не менее различие средних высот волн между северным и южным побережьем в первый период времени статистически не значимо (за 1979–2005 гг. ИВВ90 2,8 м, ИВВ99 3,8 м), а за 2001–2017 гг. на северном побережье волны с 90% обеспеченностью отмечаются на 20 см выше, чем на южном (ИВВ90_{сев} 2,1 м, ИВВ90_{юж} 1,9 м), дисперсия для обоих периодов на северном побережье статистически значима в 1,5 раза выше.

Функции распределения ИВВ за период 2001–2017 гг. практически повторяют форму распределений для периода 1979–2005 гг., только на более низком уровне среднего значения. Для северного побережья мода функций распределения несколько размыта в пользу более высоких волн, что подтверждает предположение, что северный берег подвергается более серьезному динамическому воздействию.

Так что можно предположить, что северный берег Финского залива больше страдает от волнения, чем южный, в связи с тем, что там часто отмечаются более высокие волны.

Работа выполнена в рамках государственного задания FMWE-2021-0014 «Волновые процессы, явления переноса и биогеохимические циклы в морях и океанах: исследование формирующих механизмов на основе физико-математического моделирования и натуральных экспериментальных работ».

РЕЗОНАНСНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ДЛИННЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ ПОТОКАХ

В. Ф. Санников

МГИ, Севастополь, Россия
✉ vf_sannikov@mail.ru

Ключевые слова: математическая модель, длинноволновое приближение, внутренние волны, резонансная генерация, геострофические эффекты, топографические волны, барические образования.

Внутренние волны в океане, генерируемые движущимися областями атмосферных давлений или при обтекании течениями неровностей дна (топографические волны), относятся к одному классу вынужденных волн в стратифицированных потоках. Скорости перемещения природных барических образований на порядок превышают скорости течений. Последние же сравнимы со скоростями распространения внутренних волн в морях и океанах, что обуславливает интерес к резонансному механизму генерации внутренних волн.

В работе представлены математические модели формирования двумерных и трехмерных полей внутренних волн при обтекании неоднородностей горизонтальных границ потоками стратифицированной жидкости. Исследование выполнено в рамках линейной теории волн с использованием гидростатического приближения и приближения f -плоскости. Волновое поле представляется в виде разложения по модам внутренних волн. Коэффициенты этого разложения, являющиеся распределениями амплитудных характеристик по горизонтали, удовлетворяют уравнениям Клейна – Гордона, решение которых записывается кратными интегралами. Такая форма представления решений является достаточно эффективной для исследования нестационарных ближних полей вынужденных волн синоптических масштабов.

На основе выполненных численных экспериментов определены принципиальные зависимости амплитудных характеристик вынужденных внутренних волн от основных параметров модели:

скорости потока, времени и географической широты. Резонансное возбуждение внутренних волн заметно в субэкваториальном поясе, а в более высоких широтах геострофические эффекты ограничивают рост высот волн из-за их дисперсии.

ВНУТРИГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ И КУРИЛО-КАМЧАТСКОМ РЕГИОНЕ

Е. И. Свергун^{1,2}✉, А. В. Зимин^{1,2}, Е. В. Софьина¹

¹ ИО РАН, Москва, Россия

² СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

✉ Egor-svergun@yanex.ru

Ключевые слова: короткопериодные внутренние волны, Баренцево море, Курило-Камчатский регион, радиолокационные изображения, внутренние приливные волны.

В данной работе на основе высокоразрешающих данных дистанционных наблюдений устанавливаются особенности пространственно-временной изменчивости характеристик короткопериодных внутренних волн (КВВ) в Баренцевом море и Курило-Камчатском регионе Тихого океана.

Регистрация поверхностных проявлений КВВ осуществлялась на радиолокационных изображениях (РЛИ) Sentinel-1A/B с разрешением 25–40 м. На акваторию Баренцева моря в период с 1 декабря 2018 г. по 30 ноября 2019 г. приходилось 3721 РЛИ, а на акваторию Курило-Камчатского региона – 827 РЛИ.

Детектирование проявлений КВВ на РЛИ выполнялось визуально. Для каждого проявления определялись такие характеристики, как географические координаты положения проявления, количество волн в пакете, длина дуги лидирующего гребня, средняя длина волны и направление распространения.

Выполнялся анализ связи положений поверхностных проявлений КВВ и очагов генерации внутренних приливных волн (ВПВ), выявляемых по критерию tidal body force.

В Баренцевом море и Курило-Камчатском регионе основные характеристики проявлений имеют сопоставимые значения, но максимальная длина лидирующего гребня в Курило-Камчатском регионе на 14 км больше, чем в Баренцевом море, что может указывать на большую нелинейность КВВ.

Поле проявлений КВВ в Баренцевом море характеризуется локальными скоплениями над неоднородностями рельефа дна, в то время как в Курило-Камчатском регионе проявления КВВ регистрируются практически по всей акватории.

Области частой встречаемости проявлений КВВ в Баренцевом море находятся у о. Надежды, западнее ЗФИ, северо-западнее Новой Земли, у м. Желания, а также у м. Святой Нос. В Курило-Камчатском регионе проявления КВВ наиболее часто регистрировались в областях у о. Кунашир, над хребтом Витязя, у м. Шипунский и в Камчатском заливе.

В Баренцевом море проявления КВВ регистрировались с июня по сентябрь. Их максимальное количество регистрировалось в августе. В Курило-Камчатском регионе проявления КВВ регистрировались практически на протяжении всего года. Максимальное число проявлений было зарегистрировано в июле.

На примере областей частой встречаемости было показано, что изменчивость гидрологической структуры вод в совокупности с воздействием ветра приводит к уменьшению количества поверхностных проявлений в Курило-Камчатском регионе и их полному отсутствию в Баренцевом море в период с октября по май.

При помощи критерия tidal body force было продемонстрировано, что в областях потенциальных очагов генерации ВПВ находится до 60–70% проявлений КВВ, что может указывать на механизм генерации в результате дезинтеграции ВПВ в пакеты КВВ.

Наряду с приливной динамикой, на юго-восточном шельфе Камчатки важную роль в генерации КВВ может играть мезомасштабная вихревая динамика, связанная с неустойчивостью крупномасштабного Курило-Камчатского течения.

Данная работа выполнена в рамках государственного задания № 0128-2021-0014 и гранта РФФИ № 20-35-90054 Аспиранты.

О ПРИМЕНЕНИИ МАЛЫХ ЛЕДОВЫХ ОПЫТОВЫХ БАССЕЙНОВ В ЛЕДОКОЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

А. С. Себин, Ю. А. Двойченко, А. А. Куркин ✉

НГТУ, Нижний Новгород, Россия

✉ aakurkin@ntu.ru

Ключевые слова: лед, ледокол, моделирование, физическая модель, ледовый опытовый бассейн, модель льда, композитный лед.

Круглогодичная навигация на Северном морском пути определяет важность задачи исследования воздействия судов ледового плавания на ледяной покров. Одним из путей решения такой задачи является лабораторный эксперимент, требующий выполнения условий моделирования, главным из которых является адекватность модели лабораторного льда натурному. Актуальность этой темы подтверждается продолжающимся поиском все новых моделей лабораторного льда, которые разрабатывали многие ученые-кораблестроители.

Появившиеся благодаря их трудам и научной деятельности крупные опытовые ледовые бассейны позволили обосновать проекты современных ледоколов и судов ледового плавания. В то же время возникает множество технических и исследовательских задач, не требующих значительных размеров ледяного поля, затрат и времени.

В НГТУ им. Р. Е. Алексеева создан малый ледовый бассейн на базе термокамеры «POLAIR KXH-11.02» с размерами зеркала $2,4 \times 1,1$, глубиной 0,4 м.

При небольших размерах ледяного поля отсутствие заметного влияния границ обеспечивалось при толщине льда 3,5 мм. Такая толщина достаточна для сопоставления диаграмм разрушения натурального льда толщиной 0,2–0,25 м и диаграмм, полученных на тонком льду бассейна. Следующим шагом в этом направлении предполагается создание малогабаритной буксировочной системы, с помощью которой будут буксироваться носовые оконечности ледокольных судов с целью поиска оптимальной формы с низким сопротивлением при разрушении ледяного поля.

Другое направление опытов в малом ледовом бассейне – исследование новых способов моделирования ледяного покрова без применения соли и других химических средств. Способ, предложенный в НГТУ им. Р. Е. Алексеева, состоит в применении композитного льда на основе полиэтиленовых гранул.

Для дальнейшего совершенствования методики моделирования на основе композитного льда проведены исследования процесса разрушения ледяного покрова с гранулами диаметром 3–20 мм. Задача состояла в нахождении и анализе деформационно-силовых характеристик и механических свойств образцов композитного льда различной структуры. В результате были получены диаграммы в осях прогиб – сила. Это позволило усовершенствовать методику моделирования ледяного покрова, расширить диапазон масштабов моделей судов.

Одно из важнейших направлений исследований в малом ледовом бассейне – определение величины адгезии отрыва льда от поверхности полиэтилена, поскольку эффект применения полиэтилена в составе композитного льда основан на том, что адгезионная прочность соединения льда и полиэтилена существенно ниже, чем прочность льда на изгиб. В опытах полиэтиленовые плитки примораживались к ледяному полю, после чего производился их отрыв по нормали к поверхности льда.

Таким образом, малый ледовый опытовый бассейн позволяет проводить большой набор экспериментов и является надежным, удобным и недорогим инструментом, дающим возможность существенно расширить диапазон ледовых исследований без необходимости использования дорогостоящего оборудования больших бассейнов.

Представленные результаты получены при поддержке гранта РФФИ № 22-19-00376 «Экспериментально-теоретическое исследование полуэмпирических моделей взаимодействия судов со льдом».

ОСОБЕННОСТИ ГЕОСТРОФИЧЕСКОГО ПЕРЕНОСА, ДЕЙСТВУЮЩЕГО В ОБЛАСТИ АПВЕЛЛИНГА

А. Н. Серебrenников

ИПТС, Севастополь, Россия

✉ *swsily@gmail.com*

Ключевые слова: верхний перемешанный слой, апвеллинг, геострофический перенос, термический индекс апвеллинга.

На ветровой прибрежный апвеллинг, кроме экмановских переноса и накачки, воздействует геострофический перенос. Из экмановской теории известно, что направление и модуль приповерхностного ветра определяют индекс апвеллинга, который вычисляется из зональной и меридиональной компонент касательного напряжения ветра. Из уравнения неразрывности для двумерного случая с учетом силы Кориолиса следует, что перенос воды вдоль берега, вызванный ветровым напряжением, приводит к подобному переносу воды из глубинных слоев на поверхность. Аналогичный подъем или опускание глубинных вод происходит при геострофическом переносе воды вдоль берега за счет градиента высоты поверхности океана.

Расчеты показали, что величина геострофического переноса зависит от географической широты области апвеллинга. Аналогично от этой широты зависит термический индекс апвеллинга (ТИА), который напрямую влияет на высоту уровня моря, по которой вычисляется геострофическая скорость. Также струи холодной воды при аномально больших величинах ТИА влияют на верхние перемешанные слои (ВПС), вплоть до их неопределенных значений. ВПС и вдольбереговая геострофическая скорость определяют геострофический перенос, различный на разных широтах области апвеллинга, и их экстремальные значения делают последний незначимым.

**ЦИКЛИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ИЗМЕНЧИВОСТИ
ТЕРМОБАРИЧЕСКОГО ПОЛЯ
АТЛАНТИКО-ЕВРОПЕЙСКОГО СЕКТОРА,
ВЛИЯЮЩИЕ НА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПОЛЯ
В РЕГИОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ**

А. А. Сизов ✉, **Т. М. Баянкина**, **В. Л. Посошков**

МГИ, Севастополь, Россия

✉ *sizov_anatoliy@mail.ru*

Ключевые слова: Североатлантическое колебание, аномалия температуры воздуха, аномалия приземного давления.

Циркуляция атмосферы в Атлантико-Европейском секторе регулируется процессами, определяемыми индексом Североатлантического колебания (САК). На Европейской территории России (ЕТР) в регулировании гидрометеорологических процессов принимает участие отрог Сибирского антициклона. Оценки показывают, что процессы в Азорском антициклоне опережают изменчивость в Сибирском примерно на 10 лет. При этом интенсификация (ослабление) Азорского антициклона сопровождается ослаблением (интенсификацией) Сибирского антициклона. Для анализа взаимного влияния Азорского и Сибирского антициклонов на процессы в регионе использовались индексы САК и САИ (Сибирско-Азорский индекс). Индекс САИ = $\Delta P'/\sigma$, где $\Delta P' = (P_{\text{Сиб}} - P_{\text{Аз}}) - (P_{\text{Сиб}} - P_{\text{Аз}})_{\text{ср}}$, а σ – с.к.о. $\Delta P'$.

Осредненные по десяти годам значения САК и САИ показывают их цикличную противофазную изменчивость с хорошо выраженным минимумом САК (максимумом САИ) в 1961–1970 гг. и максимумом САК (минимумом САИ) в 1981–2000 гг.

В 1961–1970 гг. в Восточной Европе преобладающее влияние на атмосферные процессы оказывал отрог Сибирского антициклона, а в 1981–2000 гг. циркуляция атмосферы в Атлантико-Европейском секторе преимущественно развивалась под влиянием Азорского антициклона. Эти особенности циркуляции атмосферы формировали в регионе Черного моря соответствующую изменчивость гидрометеорологических характеристик.

В десятилетия 1961–1980 гг. средняя аномалия приземной температуры воздуха (ПТВ) в Западной Европе составляла 0,2 °С, а в Восточной Европе – 2,1 °С. В десятилетие 1991–2000 гг. как в Западной, так и в Восточной Европе ПТВ была близка к среднему климатическому значению.

В десятилетия с отрицательными значениями индекса САК (положительный индекс САИ) на ЕТР преобладала положительная, а над Западной Европой отрицательная аномалия приземного давления. Это создавало такие условия циркуляции атмосферы в регионе Черного моря, при которых формировались положительные аномалии температуры поверхности моря (ТПМ) и скорости ветра над поверхностью моря. При этом отрицательный индекс ЕА/WR (колебание Восточная Атлантика – Западная Россия), сопровождавшийся смещением высотной фронтальной зоны на меридианах Черного моря к югу, представлял условия, при которых наблюдалось максимальное число случаев Новороссийской боры.

В десятилетия с положительными значениями САК (отрицательными индекса САИ) над ЕТР преобладала отрицательная, а над Западной Европой положительная аномалия приземного давления. В регионе Черного моря формировались отрицательные аномалии ТПМ (море становилось более холодным) и скорость ветра над морем была меньше, чем в десятилетие с отрицательными значениями индекса САК. Положительные значения индекса ЕА/WR, сопровождавшиеся смещением высотной фронтальной зоны на меридианах Черного моря к северу, представляли условия, при которых наблюдалось минимальное число случаев Новороссийской боры.

ГЕНЕРАЦИЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ ВНУТРЕННИМИ ВОЛНАМИ

А. А. Слепышев¹ ✉, Н. А. Анкудинов²

¹ МГИ, Севастополь, Россия

² МГУ, Москва, Россия

✉ slep55@mail.ru

Ключевые слова: внутренние волны, волновые потоки тепла, соли, массы, тонкая структура.

Тонкая вертикальная структура гидрофизических полей до сих пор привлекает исследователей Мирового океана. Создание высокоразрешающей зондирующей аппаратуры позволило «увидеть» не только тонкую структуру, но и микроструктуру. Механизмы формирования тонкой структуры и микроструктуры все еще находятся в стадии интенсивного изучения. За микроструктуру однозначно ответственна мелкомасштабная турбулентность. Выявлены критерии разграничения тонкой и микроструктуры. Причем это позволило получить и полуэмпирические зависимости для коэффициентов вертикального турбулентного обмена.


Природа тонкой структуры не так однозначна. В океане нередко встречаются ступенчатые структуры, которые своим происхождением обязаны механизму «двойной диффузии», когда температура и соленость убывают с глубиной. Вблизи фронтов также возможно расслоение благодаря «боковой конвекции». Вклад внутренних волн в формирование вертикальной тонкой структуры также интенсивно исследовался. Кинематический эффект внутренних волн приводит к искажению вертикальных профилей температуры, солености и плотности, которые имеют обратимый характер. Необратимый характер тонкой структуры появляется при обрушении внутренних волн, т. е. связан с генерацией мелкомасштабной турбулентности. Нелинейные эффекты при распространении пакетов внутренних волн проявляются в генерации неосциллирующих на временном масштабе волны поправок к средней плотности и скорости

течения, эти поправки пропорциональны квадрату текущей амплитуды волны и представляют собой обратимую тонкую структуру, после прохождения волнового пакета невозмущенный профиль стратификации восстанавливается.

В предлагаемой работе исследуется генерация необратимой вертикальной тонкой структуры инерционно-гравитационными внутренними волнами на сдвиговом течении, поперечная к направлению распространения волны компонента скорости которого зависит от вертикальной координаты. В этом случае уравнение для амплитуды вертикальной скорости имеет комплексные коэффициенты. Собственная функция внутренних волн и частота волны – комплексные. Мнимая часть у второй моды внутренних волн отрицательная, у первой моды она отрицательна в низкочастотной области, когда волновое число меньше 0,55 рад/м. Таким образом, вторая мода испытывает слабое затухание, у первой моды затухание имеет место в низкочастотной области. Сдвиг фаз между колебаниями вертикальной скорости и плотности (температуры, солености) отличен от $\pi/2$, и вертикальные волновые потоки массы (тепла, соли) отличны от нуля. Вертикальная составляющая скорости стокова дрейфа также отлична от нуля. Это приводит к генерации неосциллирующей на временном масштабе волны поправки к плотности (температуры, солености) – к тонкой структуре, генерируемой волной, которая имеет необратимый характер.

НОВОРОССИЙСКАЯ БОРА В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО КЛИМАТА

Н. Н. Соколичина , Г. В. Суркова

МГУ, Москва, Россия
 *nanalia.sokolikhina@gmail.com*

Ключевые слова: Новороссийская бора, изменение климата.

Предмет исследования – синоптические аспекты формирования Новороссийской боры и возможности ее прогноза.

На кафедре метеорологии и климатологии МГУ имени М.В. Ломоносова разработана синоптическая классификация Новороссийской боры, основанная на данных о синоптических ситуациях, предшествующих возникновению явления, а также сопутствующих ему. Были выделены азорский, северо-атлантический, сибирский и арктический классы – по происхождению крупных антициклонов, обязательно присутствующих на синоптических картах в момент возникновения боры и создающих значительные градиенты давления между материком и Черным морем, что вызывает сильный, направленный в сторону Новороссийска поток ветра в приземном слое.

Настоящая работа является продолжением этих исследований, в ней изучение повторяемости боры сведено к рассмотрению повторяемости возникновения крупных антициклонов в той или иной части Европы или Сибири, а в общем случае – повторяемости тех или иных конфигураций барических полей. Такой формализованный подход к изучению повторяемости явления позволяет использовать для прогноза данные моделирования полей давления, которые воспроизводятся моделями значительно лучше, чем поля ветра.

Конфигурации барических полей строились по ежедневным данным реанализа ERA-Interim о давлении, приведенном к уровню моря, и о высоте изобарической поверхности 850 гПа для территории с 40° по 70° с. ш. и с 10° по 60° в. д. с разрешением $0,75^\circ \times 0,75^\circ$ за холодный период (октябрь – апрель) начиная с 1979 г. за весь доступный период.

Для климатического прогноза Новороссийской боры на период 2016–2100 гг. была использована модель земной климатической системы Института вычислительной математики РАН, версия 4. Расчет повторяемости различных синоптических классов Новороссийской боры был выполнен на основе результатов численных экспериментов в рамках программы CMIP5.

В результате исследования был разработан синоптико-климатический метод классификации случаев боры, который заключается в переходе от анализа типовых схем синоптических процессов к анализу непосредственно полей приземного давления

и геопотенциальных высот, характеризующих тот или иной синоптический класс Новороссийской боры.

Использование этого метода позволило:

1) привлечь для прогноза Новороссийской боры данные моделирования полей давления, которые воспроизводятся моделями значительно лучше, чем поля ветра;

2) не только выделить случаи Новороссийской боры, но и определить их классы на продолжительном временном периоде;

3) составить прогноз повторяемости Новороссийской боры в XXI в.

Было показано, что в период потепления климата, которое наблюдается в настоящее время, вырастет число ситуаций сибирского класса, на фоне которого чаще наблюдаются боры фронтального и муссонного типа, относящиеся к самым экстремальным по своим метеорологическим характеристикам и последствиям.

АДВЕКЦИЯ ТЕПЛА ЧЕРЕЗ ПРОЛИВ ФРАМА

А. А. Соколов ¹✉, В. В. Иванов ²

¹ ААНИИ, Санкт-Петербург, Россия

² МГУ, Москва, Россия

✉ a.sokolov@aari

Ключевые слова: пролив Фрама, адвекция тепла, поток тепла.

Пролив Фрама – пролив между островом Гренландия и архипелагом Шпицберген. Он соединяет Северо-Европейский (СЕБ) и Арктический бассейны (АБ) Северного Ледовитого океана. Принято считать, что адвекция атлантических вод, несущих большие запасы тепла, солей и влаги из Атлантического океана в Северный Ледовитый океан, является одним из важнейших факторов, определяющих современный климат Арктики. Целью работы явилась оценка изменений объемного расхода потоков воды и тепла через пролив Фрама за последние десятилетия.

В качестве исходной информации использовались данные океанского реанализа Global Ocean Physics Reanalysis

GLORYS12V1(GLOBAL_REANALYSIS_PHP_001_031) (URL: <http://marine.copernicus.eu/>). Данные представляются на регулярной сетке с шагом $1/4^\circ$ на 75 стандартных уровнях в глобальном масштабе. В работе рассматривался зональный разрез от точки $17,25^\circ$ з. д. до 16° в. д. на широте 80° с. ш.

При описании распределения среднесезонных гидрофизических характеристик отмечаются общие изменения по долготе. Данная тенденция определяется динамическими процессами, проходящими в данном районе. Это объясняется тем, что в западной части пролива проходит поток пресных вод из Арктического бассейна, а в восточной части – поступает поток теплых и соленых атлантических вод в Арктику.

Поток тепла в проливе Фрама подразделяется на несколько ветвей. Самая мощная струя потока расположена в районе долгот от 5° до $6,5^\circ$ в. д., с максимальной интенсивностью $1,23 \cdot 10^6$ Вт/м² на глубине 35 м. Струи, находящиеся в восточной части разреза, имеют северное направление. В восточной части разреза тепловой поток определяется как вертикальным распределением температуры воды, так и течениями, а центральный поток тепла – в основном распределением скорости течения.

На разрезе значимые тренды присутствуют для двух струй теплового потока, выявленных в среднесезонном состоянии, и показывают, что значительное усиление потока со временем происходит в центральной струе, а ослабление – в восточной. Основную роль в формировании трендов в центральной струе потока тепла играют тренды в скорости течения и температуре воды, в восточной же только тренды в температуре воды.

Общее поступление воды через пролив Фрама из АБ в СЕБ составляет 2,38 Св ($1 \text{ Св} = 10^6 \text{ м}^3/\text{с}$). Для Гренландского течения величина потока воды составила 7,33 Св., для Западно-Шпицбергенского течения – 4,9 Св. По оценкам тренда оказалось, что за 27 лет общий поток воды через пролив Фрама из АБ увеличился на 21% (от среднего значения). Поток воды, приносимый Гренландским течением, уменьшился на 27%, уменьшение переноса отмечается также для Западно-Шпицбергенского течения до 55%. В целом прослеживается усиление потока воды из Арктического в Северо-Европейский бассейн.

В проливе Фрама среднемноголетний приток тепла составил 0,40 ТВт, тогда как поток тепла, приносимый Западно-Шпицбергенским течением, равен 60,37 ТВт, для Гренландского течения он составил 59,86 ТВт. По оценкам тренда оказалось, что за 27 лет поток тепла, проходящий через пролив Фрама, сменил знак. Значимое возрастание общего потока тепла отмечается с 2004 г. В Западно-Шпицбергенском течении поток тепла уменьшился на 7%, поток тепла, приносимый Гренландским течением, уменьшился на 40%.

В проливе Фрама во внутригодовом ходе потока тепла между Западно-Шпицбергенским и Гренландским течением прослеживается запаздывание последнего на один месяц, что, в свою очередь, определяет полугодовой ход в общем потоке тепла с преобладанием южного потока тепла в марте и октябре и северного потока – в декабре и июне.

МЕЗОМАСШТАБНЫЕ ПОЛЯРНЫЕ ЦИКЛОНЫ, ИХ ВЛИЯНИЕ НА ТУРБУЛЕНТНЫЙ ТЕПЛОБМЕН МЕЖДУ ОКЕАНОМ И АТМОСФЕРОЙ

Г. В. Суркова [✉], Н. Н. Соколичина, И. Р. Ломакин

МГУ, Москва, Россия
[✉] *galina_surkova@mail.ru*

Ключевые слова: полярные мезомасштабные циклоны, турбулентный теплообмен, Баренцево море.

Полярные мезомасштабные циклоны (ПМЦ) представляют собой короткоживущие (0,5–3 сут) и ограниченные в пространстве (100–200 км) образования центров пониженного атмосферного давления. Они быстро формируются и недолго живут, но с ними связаны очень высокие скорости ветра (15 м/с и выше), способные нанести ущерб антропогенной инфраструктуре и природной среде. Идентификация ПМЦ в полярных широтах ведется преимущественно по спутниковым снимкам

облачности, а в дальнейшем ПМЦ исследуются с использованием синоптических данных.

Наличие дополнительных малых вихрей такого типа, как ПМЦ, приводит к большей мозаичности пространственного распределения турбулентного теплообмена между морем и атмосферой. Научная новизна настоящей работы заключается в изучении турбулентного теплообмена в конкретных случаях ПМЦ на примере нового мезомасштабного модельного архива данных, созданного специально для Арктического региона.

Цель настоящей работы – изучение особенностей турбулентного теплообмена в ПМЦ в Баренцевом море на примере отдельных случаев, наблюдавшихся в последние годы, с использованием данных мезомасштабного моделирования.

В соответствии с целью работы были сформулированы следующие задачи:

- изучение современных представлений о климатологии турбулентного теплообмена и ПМЦ в Баренцевом море в современном климате;

- отбор модельных источников данных, наиболее корректно воспроизводящих ПМЦ и мезомасштабную динамику турбулентных потоков тепла и влаги;

- выбор одного из современных календарей ПМЦ для Баренцева моря и нескольких случаев, на примере которых будет проводиться работа;

- исследование синоптических ситуаций, в которых формировались выбранные ПМЦ и сопоставление турбулентного теплообмена в ПМЦ с окружающей акваторией;

- сравнение данных мезомасштабного моделирования с менее точными данными глобального реанализа и данными наблюдений, где это возможно.

Выводы следующие:

1. На примере рассмотренных случаев выявлено, что арктический ретроспективный прогноз COSMO-CLM хорошо воспроизводит турбулентный теплообмен Баренцева моря и атмосферы в ПМЦ: во всех случаях наблюдались интенсивные турбулентные потоки тепла и влаги, которые являются их неотъемлемой характеристикой и необходимым условием для их развития;

2. Показано, что наиболее высокие значения потоков явного и скрытого тепла в ПМЦ в Баренцевом море наблюдаются в областях сильных северных ветров в западных частях ПМЦ. Потоки достигают $-250 \dots -200$ Вт/м², в отдельных случаях достигая -300 Вт/м².

3. Выявлено, что во всех рассмотренных случаях ПМЦ образовывались в тыловых частях более крупных циклонов синоптического масштаба, где также наблюдается вынос холодного воздуха на относительно теплую морскую поверхность и есть условия для формирования аномальных потоков. Это наиболее частый случай, характерный в том числе для Баренцева моря.

4. Величины турбулентных потоков тепла и влаги в ПМЦ сопоставимы с аналогичными значениями, наблюдающимися в других частях акваторий и вызванными другими процессами: положением у границы ледового покрова, вблизи теплых морских течений и др.

АНАЛИЗ АСИММЕТРИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗОВ

П. А. Сухонос

ИПТС, Севастополь, Россия
✉ *pasukhonis@mail.ru*

Ключевые слова: асимметрия, температура поверхности океана, Северная Атлантика.

Негауссова изменчивость в наблюдениях известна уже довольно давно. Ненулевая асимметрия определяет скошенность функции плотности вероятности (ФПВ) и достаточна для демонстрации негауссовости. Коэффициенты асимметрии могут варьировать в зависимости от выбранного временного периода, а также от того, включены ли в выборку высокоамплитудные аномалии или нет.

Цель работы – выявить негауссовость поля температуры поверхности океана (ТПО) в Северной Атлантике за период 1980–2011 гг. по нескольким массивам данных.

В работе использованы среднемесячные данные о температуре верхнего слоя океана из объективных анализов океана EN.4.2.2 и Ishii и из реанализов океана SODA 2.1.6, ORA-S4, ORA-S3, GECCO3, GFDL, GODAS.

Акватория Северной Атлантики ограничена координатами 0° – 65° с. ш., 8° – 80° з. д. Под ТПО будем понимать температуру на самом верхнем горизонте в используемых массивах данных. Выбранные массивы данных имеют разное пространственное разрешение по горизонтали и вертикали. Периодом исследования является период 1980–2011 гг. (384 месяца), как общий временной период всех массивов. Все вычисления выполнены на исходном пространственном разрешении данных. Из временных рядов в каждом узле пространственной сетки удален линейный тренд за указанный период для каждого календарного месяца. Коэффициенты полиномов рассчитывались по методу наименьших квадратов. Далее выполнена нормировка значений ТПО за каждый месяц на среднее квадратическое отклонение межгодовых изменений за рассматриваемый период для этого месяца. Затем по полученным временным рядам среднемесячных аномалий ТПО рассчитаны коэффициенты асимметрии в каждом узле пространственной сетки.

В поле коэффициентов асимметрии выделяются области со значимыми отрицательными величинами. К ним относятся: восточная часть экваториальной зоны Атлантического океана, узкая область в Гольфстриме, область перехода Гольфстрима в Североатлантическое течение и область к югу от Исландии. Узкая область отрицательных коэффициентов асимметрии аномалий ТПО в окрестности Гольфстрима может плохо проявляться из-за грубого пространственного разрешения исходных массивов данных. Наблюдаемая негауссовская изменчивость аномалий ТПО в системе Гольфстрим хорошо описывается стохастической адвекцией аномалий ТПО в идеализированном зональном течении.

Области значимых положительных коэффициентов асимметрии аномалий ТПО над северо-восточной оконечностью Южной

Америки (10° с. ш., 50° – 60° з. д.) и в восточной части субтропического круговорота (с центром в точке с координатами 30° с. ш., 30° з. д.) выделяются почти по всем используемым массивам данных. Аномалии ТПО, формируемые тепловыми потоками на поверхности океана, имеют преимущественно положительную асимметрию. Это определяется знаком разности между приповерхностной температурой воздуха и ТПО при более теплом океане в сочетании со структурой параметризации теплового потока.

Таким образом, в Северной Атлантике в период 1980–2011 гг. на значимом уровне выделяются области с негауссовой изменчивостью аномалий ТПО.

Работа выполнена в рамках госзадания ИПТС № госрегистрации 121122300074-7.

СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПЛОЩАДИ ПОЛЫНИ В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ

А. Б. Тимофеева ✉, Р. И. Май

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

Ключевые слова: заприпайная полынья, ледовый режим, море Лаптевых, припай, ледовые условия.

Припай и заприпайные полыньи являются важными элементами ледового режима арктических морей. В работе И. Д. Карелина и В. П. Карклина «Припай и заприпайные полыньи арктических морей Сибирского шельфа в конце XX – начале XXI века» были подробно описаны особенности и рассчитаны статистические характеристики полыней моря Лаптевых в период с 1980-х по 2010 г.

В настоящем исследовании проанализированы карты ледовых условий, составленные в ААНИИ на основе спутниковой информации. С помощью методики, разработанной в среде Matlab, были получены ряды данных о площади полыней моря Лаптевых за период с 1997 по 2020 г. на середину каждой декады с ноября по июнь. Технически за полынью принимались

акватории, занятые начальным или молодым льдом толщиной до 30 см.

Несмотря на разные методики, использованные в настоящем и упомянутом ранее исследованиях, все результаты можно считать сопоставимыми. Начиная с 2005 г. во многих работах отмечаются серьезные климатические изменения в арктических морях. Поэтому ежедекадные значения были осреднены за периоды с 1997 по 2004 г. и с 2005 по 2020 г. для выявления климатических изменений. В работе И. Д. Карелина и В. П. Карклина оценка площади полыньи выполнялась уже с первой декады ноября. Однако из-за серьезного смещения сроков осеннего ледообразования на более поздние, в среднем на две (в отдельные годы на три) декады, акватория моря, занятая начальным и молодым льдом в течение ноября, в период с 2005 г. стала весьма обширна и вряд ли может быть определена как полынья.

В период до 2004 г. в первые декады ноября площадь акваторий с молодым льдом изменялась по декадам в среднем с 132 до 111 тыс. км², а в период с 2005 г. – уже с 607 до 518 тыс. км². Аналогичная ситуация наблюдается и в июне, когда начинается период интенсивного таяния и характеристики ледяного покрова резко изменяются. Эта особенность отмечалась и ранее, в среднем в период с 1980 до 2010 г. площадь полыньи во всем море к третьей декаде июня составляла около 82 тыс. км².

Согласно расчетам данного исследования, в период с 1998 по 2004 г. площадь полыньи в среднем составляла 86,4 тыс. км². Однако с 2005 г. к третьей декаде июня площадь полыньи резко увеличилась до 173 тыс. км², что также свидетельствует о более ранних интенсивных процессах весеннего таяния и разрушения ледяного покрова. В другие месяцы сезонного хода не выявлено существенных изменений, значения площади колеблются в среднем от 89 тыс. км² в начале зимнего сезона до 35 тыс. км² в весенний период. При этом межгодовая изменчивость площади полыньи за отдельно взятую конкретную декаду месяца является весьма высокой.

Оценка повторяемости полыней была проведена для всей акватории и рассчитана статистическая вероятность для каждой декады, на основании расчетов построены карты. Площади

попыней были также оценены отдельно для западного и восточного районов моря Лаптевых с различающимися ледовым и гидрографическим режимом, выявлены изменения характеристик в соответствии с последними климатическими изменениями.

ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ РОССБИ И ДВОЙНЫЕ ВОЛНЫ КЕЛЬВИНА КУРИЛО-КАМЧАТСКОГО ЖЕЛОБА

В. С. Травкин ✉, Т. В. Белоненко

СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

✉ *vtravkin99@gmail.com*

Ключевые слова: топографические волны Россби, Курило-Камчатский желоб, мезомасштабный вихрь, волны Кельвина.

В работе анализируются топографические волны Россби и двойные волны Кельвина в районе Курило-Камчатского желоба. Используются данные спутниковой альтиметрии, глобального океанического реанализа GLORYS12V1, а также атласа мезомасштабных вихрей с портала AVISO+ за 1993–2020 гг.

В работе сравнивается вклад топографии, β -эффекта и градиента меридиональной изменчивости фонового течения на распространение волн Россби и двойных волн Кельвина. Параметры волн также определяются при помощи двумерных FFT-спектров. Вертикальные профили и пространственные поля гидрофизических характеристик на поверхности моря и в глубинном слое позволяют подробно рассмотреть структуру антициклонических мезомасштабных вихрей, представляющих собой одну из форм волн Россби в Мировом океане.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что район Курило-Камчатского желоба является значительной энергоактивной зоной Мирового океана, в которой регистрируется большое количество антициклонических и циклонических мезомасштабных вихрей. Продолжительность жизни данных вихрей может

многократно превышать синоптический масштаб для данного района, что говорит об их долгоживучести. Наибольшее влияние на распространение волн в указанном районе оказывает совместный эффект вращения Земли с незональной топографией, тогда как второе место по значимости занимает незональное сдвиговое течение.

ВКЛАД МЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ В ЭНЕРГЕТИКУ ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЫ

В. С. Травкин ✉, **В. В. Жмур**, **Т. В. Белоненко**

СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

✉ *vtravkin99@gmail.com*


Ключевые слова: Лофотенская котловина, потенциальная энергия, кинетическая энергия, мезомасштабные вихри, филаменты, GLORYS12V1.


В работе на основе данных реанализа GLORYS12V1 за 1993–2019 гг. рассматривается вклад мезомасштабных вихрей в энергетику Лофотенской котловины. В области исследования, ограниченной изобатой 3000 м, рассчитывается общая кинетическая и потенциальная энергия, а также вклад в нее вихревой кинетической энергии. Результаты свидетельствуют, что потенциальная энергия циклонов и антициклонов в 2–3 раза превышает значения кинетической энергии, при этом антициклоны содержат больше энергии, по сравнению с циклонами.

В работе также рассматривается межгодовая и сезонная изменчивость вихревой кинетической и потенциальной энергии. Графики сезонного хода свидетельствуют об увеличении обоих типов энергии в зимний период. Замечено, что вклад мезомасштабных вихрей в общую энергетику Лофотенской котловины невелик. На кинетическую энергию вихрей приходится 7,29%, на потенциальную энергию – 8,41% от общей энергии котловины.

Такие результаты свидетельствуют о том, что, помимо мезомасштабных вихрей, крупный вклад в энергетику Лофотенской котловины вносят другие динамические структуры – филаменты и фоновые течения.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦУНАМИ В БАЛАКЛАВСКОЙ БУХТЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Вл. Вл. Фомин, А. Ю. Белоконь , Л. В. Харитонова,
Д. В. Алексеев

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

Ключевые слова: цунами, численное моделирование, цунамирайонирование, Балаклавская бухта, *SWASH*.

Балаклавская бухта является узкой полузамкнутой бухтой с затрудненным водообменом с акваторией Черного моря. Распространение длинных волн в таких бухтах может сопровождаться значительными подъемами уровня моря и затоплением суши. Поэтому возникает необходимость уточнения характеристик цунамиопасности в Балаклавской бухте на основе численного моделирования.

В настоящей работе приводятся результаты моделирования проникновения волн цунами в Балаклавскую бухту с учетом механизма затопления – осушения побережья. Рассматриваются два вида граничных условий на входе в бухту. В первом случае с помощью нелинейной модели длинных волн решалась задача об эволюции волн цунами в Черном море из трех гипотетических очагов. Получены зависимости от времени колебаний уровня моря на входе в Балаклавскую бухту. При втором виде граничных условий на входе в бухту задавалось начальное возвышение в виде солитона. Эти зависимости использовались в качестве краевых условий на жидкой границе расчетной области для Балаклавской бухты, где с помощью модели *SWASH* выполнялось

численное моделирование распространения волн цунами в бухте с последующим накатом на берег.

Выявлено, что в результате распространения цунами в бухте формируются сейшевые колебания уровня моря с периодом ~ 8 мин, соответствующие моде Гельмгольца. Внутри бухты высоты цунами увеличиваются в 5–6 раз по сравнению с высотой цунами на входе в расчетную область. Колебания уровня моря максимальны в вершине бухты, где его подъем достигает 1,4–1,5 м. Наибольшему затоплению подвержены восточные берега Балаклавской бухты и берега, примыкающие к ее вершине. Значения на суше уровня воды, отсчитываемого от уровня грунта, могут достигать 1,0–1,5 м, в вершине бухты – 1,8 м. Максимальная протяженность горизонтального заплеска для восточного берега составила 60 м, в вершине бухты – 90 м.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0555-2021-0005.

ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ УСВОЕНИЯ СПУТНИКОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ НА ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ЧЕРНОГО, АЗОВСКОГО И МРАМОРНОГО МОРЕЙ В МОДЕЛИ INMOM

Вл. Вас. Фомин ¹✉, **Н. А. Дианский** ^{1, 2, 3}

¹ *ГОИИ, Москва, Россия*

² *ИВМ РАН, Москва, Россия*

³ *МГУ, Москва, Россия*

✉ *vladimirfomin@live.com*

Ключевые слова: Черное море, численное моделирование, гидрофизические поля, усвоение данных наблюдений, температура поверхности моря.

В работе анализируются расчеты гидрофизических полей Черного, Азовского и Мраморного морей по модели циркуляции

INMOM (Institute of Numerical Mathematics Ocean Model), реализованной с пространственным разрешением 4 км, с различными алгоритмами усвоения спутниковой температуры поверхности моря (ТПМ) с сенсора SEVIRI, установленного на спутники MSG. В качестве методов усвоения использовались метод релаксации (так называемый наджинг) и ансамблевый метод оптимальной интерполяции (EnOI) с разной частотой усвоения от раза в сутки до одного раза в 3 часа.

Показано, что усвоение данных о ТПМ методом EnOI позволяет более точно, чем с использованием метода наджинга и тем более совсем без усвоения, воспроизводить гидрофизические поля. Даже при усвоении нерегулярно распределенных по пространству и времени данных о ТПМ на всей акватории наблюдается уменьшение ошибки в результатах расчетов, более корректно воспроизводятся структуры зон повышенных или пониженных температур. Лучшие результаты достигаются при усвоении методом EnOI с увеличением частоты усвоения по времени. При усвоении данных о ТПМ методом EnOI среднее отклонение результатов расчетов от данных измерений уменьшается с 0,16 °С (для частоты один раз в 24 часа) до 0,08 °С (для частоты один раз в 3 часа) и, соответственно, среднее отклонение по модулю уменьшается с 1,03 до 0,33 °С, а среднеквадратичное отклонение уменьшается с 1,33 до 0,42 °С. Кроме того, усвоение методом EnOI с частотой один раз в 3 часа позволяет улучшить работу модели INMOM по воспроизведению ТМП в период конвективного выхолаживания.

Усвоение данных о ТПМ приводит и к изменениям в структуре поверхностной морской циркуляции. В отдельных районах направление течений меняется в пределах 5–10°, а модуль скорости изменяется на 3–5%. Усвоение данных наблюдений о ТПМ только незначительно уменьшает ошибки в структуре модельного вертикального профиля температуры, которые на глубинах 30–40 м могут достигать 2 °С. На глубинах более 100 м отклонения не превышают 0,05 °С.

Работа выполнена при поддержке РФФ (проект № 22-27-00800).

ТОНГА ЦУНАМИ В ЯПОНСКОМ МОРЕ

Е. С. Цуканова ✉, И. П. Медведев

ИО РАН, Москва, Россия

✉ *tsukanovaelizaveta@gmail.com*

Ключевые слова: цунами, метеоцунами, Японское море, вулкан Тонга.

15 января 2022 г. на юго-западе Тихого океана произошло извержение вулкана Тонга. Оно привело к формированию волн цунами двух типов – гравитационной волны и атмосферной, которые наблюдались по всему Мировому океану. Волны первого типа распространялись непосредственно от источника со скоростью длинных волн. Второй тип был вызван взаимодействием с волнами в атмосфере, скорость которых была близка к скорости звука в атмосфере. На северо-западе Тихого океана отмечались волны высотой более 1 м, причинившие вред прибрежной инфраструктуре.

В Японском море волны разных типов имели различное влияние, что связано с особенностью их распространения. Так, на западном побережье Японских островов практически не было отмечено их влияние, но обратная ситуация наблюдалась на побережье России и Южной Кореи. Практически на всех станциях, находящихся в направлении распространения атмосферной волны, были выявлены колебания уровня моря, имеющие атмосферное происхождение. Их характер отличался в зависимости от региона.

Японское море является ограниченной акваторией, связанной с океаном через проливы. Их геометрия значительно изменяет проходящую волну, поэтому влияние гравитационных волн на станции значительно различается в зависимости от их расположения, что подробно рассматривается в данной работе.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2021-0004) и при финансовой поддержке гранта президента РФ МК-4168.2022.1.5.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РЕЧНОГО ПЛЮМА В ПЕРИОД ДЕЙСТВИЯ АПВЕЛЛИНГА

М. В. Цыганова ✉, Е. М. Лемешко

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

Ключевые слова: плум, Черное море, апвеллинг.

Районы апвеллинга обычно характеризуются высокой биологической продуктивностью, что имеет важное социально-экономическое значение. При однородном поле ветра вдоль западного побережья Черного моря наблюдается одновременное проявление апвеллинга во всем районе. На гидрологическую структуру вод этого района также сильное влияние оказывает сток рек. Поэтому целью данной работы является изучение эволюции плума на северо-западном шельфе Черного моря и его влияния на развитие апвеллинга на основе данных численного моделирования, архивной гидрологической и спутниковой информации.

Результаты численных экспериментов по эволюции плума Дуная, позволили оценить его влияние на развитие прибрежного апвеллинга, вызываемого южным ветром. Полученные закономерности проявляются также в поле поверхностной температуры моря по спутниковым данным и при анализе архивной гидрологической информации. Описывается взаимодействие прибрежного вдольберегового течения, обусловленного стоком реки, с апвеллингом и его роль в компенсации изменчивости апвеллинга.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0555-2021-0005.

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ
ПЕРЕМЕШАННОГО, ПОДПОВЕРХНОСТНОГО
И АТЛАНТИЧЕСКОГО СЛОЕВ
СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА
В РАЗЛИЧНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ПЕРИОДЫ**

Е. А. Чернявская ✉, **Л. А. Тимохов**, **С. Ю. Малиновский**

АНИИ, Санкт-Петербург, Россия
✉ *cherni_ka@mail.ru*

Ключевые слова: Арктика, перемешанный слой, галоклин, вертикальная структура, температура, соленость, атлантические воды.

Вертикальную структуру Северного Ледовитого океана (СЛО), в зависимости от суббассейна, составляют три либо четыре основных слоя: верхний слой (включающий перемешанный слой и слой галоклина), тихоокеанские воды (в Американо-Азиатском суббассейне), слой атлантических вод и донные воды.

В данной работе мы сфокусировались на исследовании взаимодействия верхнего перемешанного слоя, слоя галоклина и слоя атлантических вод, где в последние годы происходят существенные климатические изменения. Так, с середины 1990-х наблюдается повышение температуры поступающих в СЛО атлантических вод и поднятие их верхней границы в среднем на 80 м. В связи с этим происходит уменьшение толщины слоя галоклина и ослабление в нем стратификации. Также с конца 1970-х отмечается устойчивый тренд на сокращение площади и толщины морских льдов, что, в свою очередь, влечет за собой усиление влияния атмосферных процессов на состояние перемешанного слоя за счет увеличения площади открытой воды. Скопление речных и талых вод в районе круговорота Бофорта, связанное в том числе с особенностями режима атмосферной циркуляции, вызвало распреснение перемешанного слоя в Канадском бассейне, какое не наблюдалось ранее за всю историю наблюдений с 1950 г.

Для исследования сопряженности полей температуры, солености и толщины верхнего перемешанного слоя, слоя галоклина и атлантического слоя в периоды трех климатических режимов

(1950–1970; 1970–1990; 1990–2019), использовались океанографические данные из базы данных ААНИИ. Эти данные были собраны на стандартных горизонтах во время зимних экспедиций (март – май) в районе СЛО в 1950–1993 гг. За период с 1994 по 2019 г. использовались данные модели GLO 001_030 Европейского космического агентства. Данные интерполировались в узлы регулярной сетки с разрешением 200×200 км, покрывающей весь Арктический бассейн (всего 178 точек). Толщина верхнего перемешанного слоя определялась по горизонту максимального градиента условной плотности. Слой от нижней границы перемешанного слоя до изотермы 0°C принимался за толщину слоя галоклина. Верхняя и нижняя границы слоя атлантических вод определялись по положению 0°C изотермы.

Предварительные результаты анализа подтверждают наличие тенденции к уменьшению толщины слоя галоклина, являющегося слоем, изолирующим перемешанный слой от тепла атлантических вод. Рост температуры и уменьшение солености галоклина особенно отчетливо прослеживаются в Американо-Азиатском суббассейне, где, в свою очередь, увеличивается толщина перемешанного и атлантического слоев.

КОМБИНИРОВАННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГИДРОДИНАМИКИ АЗОВСКОГО МОРЯ И ДЕЛЬТЫ ДОНА

А. Л. Чикин ¹✉, Л. Г. Чикина ²

¹ ИОНЦ РАН, Ростов-на Дону, Россия

² ЮФУ, Ростов-на Дону, Россия

✉ chikin1956@gmail.com

Ключевые слова: уравнения мелкой воды, русловой поток, уравнение конвекции – диффузии, уравнения Сен-Венана, вычислительный эксперимент.

Построена математическая модель, объединяющая в себе две модели, составленные и проверенные ранее: двухслойную

модель гидродинамики Азовского моря [1] и модель гидродинамики дельты Дона [2], основанную на уравнениях движения воды в руслах.

В модели движения воды в дельтовой области Дона одними из входных данных является уровень воды в принимающем водоеме – Таганрогском заливе. Эти данные брались из наблюдений, которые имелись в наличии. Предлагаемая объединенная модель позволяет определять параметры течения в рукавах Дона в зависимости от ветровой ситуации в Азовском море.

Принцип работы объединенной модели следующий. Для заданной ветровой ситуации на каждом временном шаге рассчитываются скорости течения и величина уровенной поверхности. Расчет проводится для всего Азовского моря в целом, а не только для Таганрогского залива. Это объясняется следующими причинами: на колебания уровня воды в заливе влияет объем воды, поступающий из самого Азовского моря; кроме того, с вычислительной точки зрения существенно упрощается постановка граничных условий. Затем значения уровня воды, соответствующие точкам устьев основных рукавов Дона, передаются в модель руслового потока и производится расчет параметров течения в русле. Таким образом, имеется возможность наблюдать расчетные значения как в основных рукавах Дона, так и в точках принимающего водоема – Таганрогского залива.

Было рассмотрено несколько временных периодов при различных ветровых ситуациях. Для каждого временного периода ветровая ситуация была своя.

Задача решается конечно-разностными методами. Приведено сравнение расчетных значений расхода воды и скорости течения с наблюдаемыми значениями при разных сгонах воды в Таганрогском заливе.


Сравнение наблюдаемых и расчетных значений уровней воды в Донском и на Взморье показывает идентичное их поведение, что говорит о достаточной адекватности представленной модели. Возможна дополнительная корректировка с помощью поправочных коэффициентов.

Список литературы

1. Чикин А. Л. Двухслойная математическая модель ветровых течений в водоемах, имеющих большие площади мелководья // Математическое моделирование. 2009. Т. 21, № 12. С. 152–160.
2. Chikin A. L., Kleshchenkov A. V., Chikina L. G. An approach to numerical studies of the hydrology an of Don Delta area // Water Resources. 2021. Vol. 48, no. 5. P. 646–653. DOI: 10.1134/S0097807821050079.

ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА В ВОСТОЧНО-СИБИРСКОМ МОРЕ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

М. В. Шаратунова , **А. В. Юлин**, **В. Д. Трофимов**

ААНИИ, Санкт-Петербург, Россия
 *mvsh@aari.ru*

Ключевые слова: Восточно-Сибирское море, припай, толщина льда, полярные станции, площадь припая, температура воздуха, сроки разрушения припая.

Важным элементом ледового режима Восточно-Сибирского моря в зимний период являются припайные льды. Целью работы является описание основных закономерностей в формировании режимных характеристик припая в Восточно-Сибирском море и выявление причин межгодовых и многолетних изменений статистических характеристик и показателей. Для исследования использовались данные, подготавливаемые в ЦЛГМИ ФГБУ «ААНИИ» на основе компиляции данных с искусственных спутников Земли, информации с полярных станций и судовых ледовых наблюдений.

Проделана работа по обобщению наблюдений за изменениями толщины льда на полярных станциях, ширины на опорных створах и площади припая Восточно-Сибирского моря за период с 1979 по 2020 г.

На фоне положительного тренда температуры на всех полярных станциях процесс нарастания льда в последние годы происходит медленнее (сроки перехода в следующую возрастную градацию увеличились на 1–2 декады), прослеживается тенденция к уменьшению толщины льда в среднем на 10%.

Анализ ширины припая на момент его максимального развития за период 2010–2021 гг. позволил выделить годы с минимально развитым припаем (2011, 2017, 2020) и с максимальным (2010, 2018, 2021).

Четко прослеживается тенденция к сокращению площади припая в западной и восточной частях Восточно-Сибирского моря. В западной части уменьшение площади происходит в марте в среднем на 24 тыс. км², в октябре на среднем на 4 тыс. км². В восточной части моря произошли меньшие изменения. Наибольшее значение уменьшения площади припая приходится на январь (около 10 тыс. км²), наименьшее – в октябре (около 1 тыс. км²).

В пределах каждого района моря разрушение припая связано с региональными гидрометеорологическими условиями. Из года в год процесс разрушения припая остается практически неизменным, известны схемы разрушения припая в арктических морях. Но тем не менее в последние 10 лет средние сроки разрушения припая сместились на более ранние даты, размах сроков окончательного взлома припая составил около одного месяца.

Таким образом, полученные результаты статистической обработки и анализа толщины, площади и ширины припая в Восточно-Сибирском море в зимний период хорошо отражают текущий климатический период.

ИЗМЕНЕНИЯ ВОЗРАСТНОГО СОСТАВА ЛЬДОВ В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧУКОТСКОГО МОРЯ В СОВРЕМЕННОМ КЛИМАТИЧЕСКОМ ПЕРИОДЕ

Т. В. Шевелева

ААНИИ, Санкт-Петербург, Россия

✉ *sheveleva@aari.ru*

Ключевые слова: ледовый режим, арктические моря, юго-западная часть Чукотского моря, толщина льда, зимний период, Северный морской путь.

Наличие мощных льдов (однолетних толстых и старых) определяет сложность ледовых условий в морях на трассах плавания.

В зимний период преобладание льдов тех или иных возрастных градаций (толщины) в конечном итоге определяет возможность операции во льдах судов различных ледовых классов. Изучение ледовых условий российских арктических морей в зимний период в настоящий момент имеет не только научный интерес, но становится актуальной и практически важной задачей в связи с ожидаемым переходом к круглогодичной навигации по трассе Северного морского пути (СМП).

Детальное изучение возрастного состава льдов в районах арктических морей стало возможным после создания электронного архива данных возрастного состава льда в российских арктических морях с 1997 г. Архивные данные о возрастном составе льда в зимний период года сформированы на основе цифровых ледовых карт после обработки с помощью ГИС-технологий, которые позволяют выполнять идентификацию количественного состава льдов различного возраста (толщины). Карты готовятся в Центре ледовой и гидрометеорологической информации ААНИИ на регулярной основе.

Созданный электронный архив данных возрастного состава льда позволяет анализировать сезонные и межгодовые изменения в ледяном покрове от их появления в осенний период (октябрь – ноябрь) и до периода максимального нарастания (апрель – май) во всех российских арктических морях.

На примере Чукотского моря, как одного из самых сложных по ледовым условиям, рассматриваются результаты анализа сезонного хода и межгодовых изменений возрастного состава льда в зимний период за ряд наблюдений с 1997 по 2021 г. Трагические события прошлых лет показали, что в Чукотском море произошло наибольшее количество морских катастроф, связанных с морскими льдами, в этом районе затонул в феврале 1934 г. один из самых известных пароходов «Челюскин», а в октябре 1983 г. из-за сжатия льдов затонул в проливе Лонга теплоход «Нина Сагайдак».

Планы по развитию СМП в настоящее время приобрели особую актуальность. В 2024 г. объем перевозок по СМП с нынешних 35 млн т должен вырасти до 80 млн т. Это станет возможным только при устойчивой и безопасной организации круглогодичного плавания. Плавание в зимний период определяется главным

образом толщиной ледяного покрова. Поэтому изучение изменчивости возрастного состава льдов в зимний сезон является актуальной и практически значимой задачей.

В докладе рассмотрена сезонная изменчивость увеличения толщины дрейфующего льда в море, определены даты перехода льдов в более старшие возрастные градации при средних и экстремальных сроках нарастания льда. Это позволяет оценивать и планировать морские операции судов, необходимость использования ледокольной проводки.

В результате проведенной оценки межгодовой изменчивости возрастного состава установлено, что наблюдается устойчивая тенденция к снижению количества льдов старших возрастных групп (однолетних толстых и старых) и к увеличению количества средних возрастных градаций (однолетних средних и тонких). Это, безусловно, положительная тенденция для организации регулярного плавания судов в зимний период. Однако период максимального нарастания льдов (апрель – май) остается наиболее сложным для плавания.

Оценка возрастного состава льдов в зимний сезон года выполнена впервые.

КРИТИЧЕСКИЕ УРОВНИ БРИЗОВОЙ ИНЕРЦИОННО-ГРАВИТАЦИОННОЙ ВОЛНЫ

М. В. Шокуров ✉, Н. Ю. Краевская

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *shokurov.m@gmail.com*

Ключевые слова: линейная теория, бризовая циркуляция, внутренние инерционно-гравитационные волны, критический уровень, стратифицированное сдвиговое течение.

Распространение внутренних волн в атмосфере с вертикальным сдвигом скорости фонового ветра может приводить к обра-

зованию критических уровней на определенных высотах, где частота внутренних волн с учетом доплеровского сдвига обращается в нуль. При прохождении критического уровня происходит сильное поглощение внутренней волны, увеличивающееся с ростом числа Ричардсона.

При учете вращения Земли было обнаружено расщепление критического уровня на два, при этом частота волны с учетом доплеровского сдвига на критическом уровне равна плюс/минус параметру Кориолиса. Амплитуда волны уменьшается при прохождении критического уровня так же, как и в случае без учета вращения. При этом влияние вращения значительно только вблизи критического уровня, а вдали от него решения с учетом вращения и без него совпадают.

В рамках линейной теории бризовая циркуляция рассматривается как внутренняя инерционно-гравитационная волна с суточной частотой.

Целью настоящей работы является решение в линейной постановке задачи о влиянии критических уровней на инерционно-гравитационную волну с масштабом, характерным для бризовой циркуляции при наличии среднего фонового синоптического ветра с вертикальным сдвигом скорости, направленного перпендикулярно береговой черте.

Для решения поставленной задачи использовалось уравнение Тейлора – Гольдштейна с учетом вращения. Для анализа поведения решения рассматривалась задача Коши о прохождении волны через критический уровень. Решение вблизи критического уровня было получено численно.

Для выбранных значений стратификации и скорости фонового ветра рассчитаны коэффициенты поглощения вертикального потока импульса на экваторе и потока момента импульса – в тропиках и средних широтах.

В результате получено, что на экваторе генерируемая источником тепла на поверхности гравитационная внутренняя волна с суточной частотой доходит до единственного критического уровня, где происходит ее поглощение. Сравнение теоретического и экспериментального коэффициентов поглощения импульса показало их полное соответствие.

В тропиках существуют два критических уровня, между которыми располагается область затухания. Анализ вертикального потока момента импульса показал, что излучаемая с поверхности инерционно-гравитационная волна суточного периода ослабляется сильнее, чем на экваторе.

Полярнее 30° широты для волны существует единственный уровень, так как второй находится ниже поверхности Земли. В средних широтах генерируемая на поверхности инерционно-гравитационная волна сначала существует в области затухания, после чего распространяется в виде волны выше единственного критического уровня. В этих широтах отношение значения вертикального потока момента импульса около поверхности Земли к значению в области, где поток момента импульса постоянен (в области распространения волны), минимально для всех трех широт.

Работа выполнена в рамках темы Морского гидрофизического института № 0555-2021-0002 (шифр «Взаимодействие океана и атмосферы»).

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АПВЕЛЛИНГА В ОБЛАСТИ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

Д. А. Яровая ✉, **В. В. Ефимов**

МГИ, Севастополь, Россия

✉ darik777@mhi-ras.ru

Ключевые слова: мезомасштабное совместное моделирование, ветровой апвеллинг, вертикальная структура скорости и температуры в море.

При помощи совместной мезомасштабной модели море – атмосфера NOW (NEMO-OASIS-WRF) с разрешением 2 км рассмотрен ветровой прибрежный апвеллинг в Черном море на примере случая 24–25 сентября 2013 г., когда в течение двух суток произошло резкое, на 10 °С, понижение температуры поверх-

.. сти моря в области ЮБК. Повышенное пространственное разрешение при моделировании позволило выделить локальные особенности апвеллинга, связанные с очертаниями береговой линии. Показано наличие вертикальной ячейки циркуляции, связанной с апвеллингом, – подъем сезонного термоклина вблизи берега, отток теплой воды в квазиоднородном слое и опускание на расстоянии $\sim 40\text{--}60$ км от берега. Обнаружена суточная периодичность в изменении прибрежного течения, связанная с влиянием бризовой циркуляции: в дневные часы нормальная к берегу компонента скорости течения максимальна, а вдоль-береговая достигает максимума с запаздыванием 4–6 ч.

СЕКЦИЯ 2

МОРСКИЕ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ: МЕТОДЫ, СРЕДСТВА И РЕЗУЛЬТАТЫ

ВЕРИФИКАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ЛЕДОВОГО РОУТИНГА ААНИИ ДЛЯ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТА ПЛАВАНИЯ В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ

Т. А. Алексеева^{1,2}✉, Р. И. Май¹, Л. Н. Дымент¹,
А. А. Ершова¹, Е. А. Гришин¹

¹ ААНИИ, Санкт-Петербург, Россия

² ИКИ РАН, Москва, Россия

✉ taa@aari.ru

Ключевые слова: ледовый автороутинг, оптимальный маршрут плавания, разрывы, дрейфующий лед, ледовые прогнозы.

В Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте (ААНИИ) разработана методика автоматического определения оптимального пути судна во льдах, в которой используется вариант метода изохрон, основанный на операциях с векторными полигонами. На данный момент в автороутинге используется следующая входная оперативная информация: ледовые карты ААНИИ и краткосрочные ледовые прогнозы в формате SIGRID.

Для тестирования и настройки работы автороутинга использовались маршруты плавания судов типа «Норильский Никель» в юго-западной части Карского моря. За период 2006–2014 гг. в ААНИИ был накоплен представительный архив данных о плавании судов данного типа в юго-западной части Карского

моря с одновременной обратной связью от судоводителей, что позволяет оценивать реальные потребности судоводителей при выборе оптимального маршрута плавания. Для каждого рейса был проведен анализ и сравнение трех маршрутов плавания: маршрут, построенный с помощью автороутинга ААНИИ, маршрут, рекомендованный ледовым экспертом и фактический маршрут плавания.

Тестирование показало, что в целом автороутинг ААНИИ выбирает наилегчайший путь плавания по тем ледовым условиям, которые содержатся в фактических ледовых картах и прогнозах. Однако входная информация не обладает необходимой степенью детализации ледовой информации, которую учитывает ледовый эксперт, и не содержит в себе некоторые ледовые параметры, необходимые для выбора наилегчайшего пути плавания на отдельных участках.

Для усовершенствования методики автороутинга мы добавили в модель ледовой ходкости судна прогностические значения преобладающей ориентации разрывов в дрейфующем льду.

В этом случае скорость движения судна представляет собой не скалярную, а векторную величину. Коэффициенты, модулирующие скорость движения судна в зависимости от характеристик разрывов, определены с помощью методов векторной регрессии по массиву диагностической ледовой информации (ледовые карты, ледовые прогнозы), реанализу разрывов и архиву треков судов из Автоматической идентификационной системы (АИС) судоходства.

Учет информации о наличии попутных разрывов позволит повысить точность выбора оптимального маршрута плавания.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОПРОФИЛИРУЮЩИХ БУЕВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВНУТРЕННИХ ВОЛН

А. И. Андросович

МГИ, Севастополь, Россия

✉ *androsovich@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: термопрофилирующая коса, внутренние волны.

В целях исследования генерации, распространения, трансформации и обрушения свободных гравитационных внутренних волн (ВВ) использовались постановки станций и разрезов, состоящих из термопрофилирующих буйев. В зависимости от конкретных условий эксперимента станция или разрез могут включать в себя два и более буйев.

Конструкция бую представляет собой непосредственно плавающий элемент из экструдированного пенопласта с защитным покрытием емкостью 20–25 дм³ и включает в себя термопрофилирующую косу из 18–31 датчика температуры с шагом по глубине от 0,2 до 1 м, контроллер, позволяющий фиксировать значения датчиков с интервалом от 5 с, время непрерывной съемки до 1 месяца, коса крепится к буйрепу с грузом, позволяющим устанавливать буй до 55 м глубины. В комплектацию аппаратуры бую при необходимости входят источники питания, необходимые для работы системы GPS-позиционирования и ночной световой индикации. Дополнительный, подключаемый к контроллеру источник питания позволяет увеличить непрерывную съемку еще на 10 дней и производить перезарядку батарей и обмен информацией непосредственно по месту бую без возврата оборудования на берег.

Условия поставленной задачи предусматривают проведение наблюдений в штормовых условиях, с учетом непредсказуемости и скоротечности существования ВВ диктуется необходимость длительных съемок (минимум две недели, исходя из непредсказуемости и скорости метеорологической изменчивости северного шельфа Черного моря) с коротким периодом шага измерений (период колебаний ВВ 5–7 мин). С мая по август

2021 г. производилась установка станции из двух буюв в точке с координатами $44^{\circ} 37' 05''$ с. ш., $33^{\circ} 30'$ в. д. Буи располагались на расстоянии 195 м друг от друга в широтном направлении, дно плоское $h = 18$ м. Горизонты измерения температуры – начиная с 3 м и до дна с шагом 0,5 м. Интервал измерения по времени 20 с.

Условия полигона на время постановок менялось незначительно и характеризовалось толщиной верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) в мае 1,5 м ($t_0 = 20,5$ °С), в июле 3,0–3,3 м ($t_0 = 22,4$ °С). Можно отметить хорошо выраженный термоклин (июль – август), с температурой у дна $t_n = 13,2$ °С. В период с 30.06.2021 по 03.07.2021 постановка станции совпала с сильным штормом. Штормовые условия выражались в сильном, до 24 м/с, порывистом ветре переменного направления, обильных осадках до 5 мм/ч. При заходах ветра с углов 270 – 360° наблюдалось полное вырождение ВКС с понижением температуры поверхности до 19 °С, одновременно фиксировались скачки температуры в термоклине на глубинах от 3 до 6 м. Проявления ВВ отмечались во время прохождения шторма в виде пакетов 5–8 колебаний с периодом 6–7 мин и амплитудой до $2,2$ °С практически на всех глубинах. При этом колебания достаточно быстро затухали. Более детальное рассмотрение зарегистрированных ВВ требует отдельного изложения.

Проведенные эксперименты показали жизнеспособность описанного оборудования и выявили ряд моментов, на которых необходимо заострить внимание при проведении дальнейших исследований. Во-первых, в 2022 г. планируется использование трех- и четырехбуйковых станций с привлечением оборудования для определения профиля плотности, что позволит определить групповые свойства ВВ. Во-вторых, планируется установка станций на полигоне со сложным профилем дна. Определенные проблемы вызывает синхронизация работы контроллеров на разных буюх.

СТРУКТУРА ВОД МОРЕЙ СОДРУЖЕСТВА, ДЕЙВИСА И МОУСОНА (ВОСТОЧНАЯ АНТАРКТИДА) ПО ДАННЫМ РОССИЙСКОЙ АНТАРКТИЧЕСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ 2016–2022 ГОДОВ

К. В. Артамонова ¹✉, Н. Н. Антипов ², С. В. Кашин ²,
Н. А. Лавинен ²

¹ ВНИРО, Москва, Россия

² ААНИИ, Санкт-Петербург, Россия

✉ ksusha.vniro@gmail.com

Ключевые слова: море Содружества, залив Прюдс, море Дейвиса, море Моусона, структура вод, водные массы, растворенный кислород, биогенные элементы, донная вода залива Прюдс.

Моря Содружества, Дейвиса и Моусона относятся к приматериковым морям Восточной Антарктиды и расположены в индоокеанском секторе Южного океана. На берегу залива Прюдс моря Содружества находится станция «Прогресс», которая в настоящее время является центром Российской Антарктики. На побережье моря Дейвиса расположена первая российская (ранее советская) антарктическая научная станция «Мирный».

Данные, использованные в работе, были получены в летний антарктический период (январь – февраль) в составе российской антарктической экспедиции на научно-экспедиционном судне (НЭС) «Академик Федоров» и НЭС «Академик Трешников». На основе данных многолетних исследований (с 2016 по 2022 г.), полученных на меридиональных океанологических разрезах, подробно секущих зону шельфа и материкового склона, проанализирована структура вод исследуемых морей, выделены основные водные массы и их гидролого-гидрохимические характеристики.

Одной из особенностей рельефа приматериковых антарктических морей является наличие выраженной приподнятой бровки шельфа, которая ведет к изолированности шельфов и формированию на них специфической локальной очень

плотной шельфовой воды, которая при определенных условиях сваливается вниз по склону, перемешиваясь с нижележащей глубинной водой, достигает дна и участвует в пополнении антарктической донной водной массы (ААДВ).

В исследуемых морях выделена следующая структура вод, представленная: антарктической поверхностной водой (АПВ); антарктической зимней водой (АЗВ) с ядром – минимумом температуры; верхней циркумполярной глубинной водой (ВЦГВ) с ядром – слоем максимальных температур и минимального содержания растворенного кислорода; нижней циркумполярной глубинной водой (НЦГВ), выделяемой по максимуму солености, которой также свойственны максимумы в распределении нитратов и фосфатов; донной водой залива Прюдс (ДВЗП); антарктической шельфовой водой (АШВ).

Показано, что основной отличительной особенностью структуры вод шельфа морей Содружества и Моусона являлось проникновение на шельф этих морей модифицированной циркумполярной глубинной воды (МЦГВ), которая выделялась по промежуточному максимуму температуры и биогенных элементов и минимуму растворенного кислорода. В то же время, по полученным данным, шельф моря Дейвиса сильнее изолирован от океанических вод, структура вод шельфа глубже 100 м почти однородна и сформирована АШВ с минимумом температуры, достигавшим $-1,98^{\circ}\text{C}$.

Установлено, что только на склоне залива Прюдс моря Содружества происходит сползание плотных вод (ДВЗП), которые участвуют в пополнении ААДВ. Основными исходными водными массами для ДВЗП являются АШВ и МЦГВ. Определены гидролого-гидрохимические характеристики ДВЗП и ее пространственная изменчивость в море Содружества.

**ВНУТРИГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК
МЕЗО- И СУБМЕЗОМАСШТАБНЫХ
ВИХРЕВЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ
К ЮГО-ВОСТОКУ ОТ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН
ПО РАДИОЛОКАЦИОННЫМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ
2018 ГОДА**

О. А. Атаджанова^{1,2}✉, **И. Е. Козлов**¹, **А. А. Коник**²

¹ МГИ, Севастополь, Россия

² ИО РАН, Москва, Россия

✉ oksana.atadzhanova@gmail.com

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

В работе анализируется пространственно-временная изменчивость характеристик поверхностных проявлений мезо- и субмезомасштабных вихрей к юго-востоку от архипелага Шпицберген, охватывающих желоб Стурфьорд, Шпицбергенскую банку и шельф вблизи острова Надежды. В районе отмечается сезонный ледяной покров, а с южной стороны в течение года район опоясывает Полярная фронтальная зона. В связи с этими особенностями в работе рассматривается период исследования с января по декабрь 2018 г. Анализ внутригодовой изменчивости позволит оценить особенности вихрей, характерных как для каждого сезона, так и для всего года.

В качестве исходных данных используются около 2800 радиолокационных изображений (РЛИ) Sentinel-1 в режимах съемки EW и IW с пространственным разрешением 40 × 20 м и 20 × 5 м соответственно. Количество РЛИ, приходящееся на каждый месяц, составило в среднем около 250 шт. Вихревые структуры регистрировались в виде полос, закрученных в спирали или дуги за счет пленочного (вихри открытой воды) и ледового (вихри прикромочной зоны) механизмов. Регистрировались тип вихря (циклонический/антициклонический), диаметр и координаты центра.

Кроме того, привлекались данные о концентрации льда AMSR -2 для определения положения ледовой кромки, данные

о скоростях ветра ERA-Interim Reanalysis для оценки ветровых условий во время регистрации вихревых проявлений, а также данные о температуре морской поверхности в инфракрасном диапазоне электромагнитного спектра и данные в видимом диапазоне для прямых сопоставлений.

В результате анализа РЛИ было выявлено, что несмотря на большой размах диаметров зарегистрированных вихревых проявлений (от сотен метров до нескольких десятков километров), преобладали именно вихри с размером порядка единиц километров. В первую половину года в значительной степени (более чем в 15 раз) преобладали вихри, проявляющиеся за счет ледового механизма. В теплый период года (с июля по сентябрь) отмечалась обратная ситуация. Как и во многих предыдущих исследованиях малых вихрей по данным РЛИ, количество циклонических вихревых проявлений преобладало. Более подробно результаты будут представлены в докладе.

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

КОНТАКТНЫЕ БЕРЕГОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ОПОРНЫХ ПОЛИГОНАХ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ПОБЕРЕЖЬЯ ЗАПАДНОГО КРЫМА

А. В. Багаев [✉], Ю. Н. Горячкин, В. Ф. Удовик, В. В. Долотов,
А. В. Долотов, С. В. Щербаченко, Т. В. Ефремова,
В. В. Никишин, В. А. Кальпа, М. В. Цыганова

МГИ, Севастополь, Россия
[✉] *a.bagaev1984@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: Черное море, пляж, Западный Крым.

В ходе серии экспедиций в береговой зоне Западного и Юго-Западного Крыма были выполнены исследования на опорных полигонах, характеризующих основные черты этого побережья. Целью экспедиций было получение контрольных данных для сравнительного анализа с предыдущими наблюдениями.


Район проведения экспедиций охватывал участок побережья от г. Евпатории до мыса Форос. Объектами исследования были песчаные и галечные пляжи, а также участки берега, непосредственно к ним примыкающие.


Было выполнено визуальное обследование, фотофиксация и геоморфологическое описание пляжей в районах г. Евпатории, оз. Богайлы, с. Угловое, с. Андреевка, пгт Кача, а также пляжей г. Севастополя.

Было проведено около 50 измерений профилей вертикального геологического строения пляжа георадаром «Око-3» с выполнением контрольных шурфов и отбор проб песка. Проводилась разметка и геолокация опознавательных знаков для повторного мониторинга. Измерение ширины и профилей пляжа выполнено параллельно на тех же створах. Вдоль линии последнего штормового заплеска отбирались точечные пробы антропогенного морского мусора.

Полученные данные описывают изменения ширины и профиля пляжей, гранулометрический состав пляжного материала, вертикальное строение пляжа, мощность и состав слоев. Оценена степень антропогенной нагрузки на берег, описано техническое состояние гидротехнических сооружений. Оценены состав и концентрация пластикового загрязнения, ассоциированного с выбросом макрофитов.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛЯ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В ЮЖНОМ ОКЕАНЕ ЗИМОЙ 2020 ГОДА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ РСА-НАБЛЮДЕНИЙ

Я. И. Бакуева , И. Е. Козлов

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

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

В работе представлены результаты наблюдений короткопериодных внутренних волн (КВВ) над свободными ото льда

участками атлантического и индийского секторов Южного океана по данным спутниковых радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) Sentinel-1A/B за январь и февраль 2020 г. На основе анализа поверхностных проявлений КВВ в РСА-изображениях определялись районы их генерации и пространственно-временные характеристики, такие как длина фронта лидирующей волны и ширина пакетов. Всего было рассмотрено 2189 радиолокационных изображений Sentinel-1A/B, на которых идентифицировано 12327 поверхностных проявлений КВВ.

Ключевые районы наблюдения внутренних волн, определяемые их максимальной повторяемостью, зарегистрированы в проливе Дрейка, над континентальным склоном к северо-востоку от Антарктического п-ова в акватории моря Скоша, над континентальным склоном в акватории моря Содружества, а также в глубоководной части моря Лазарева в январе. Внутренние волны наблюдались в виде пакетов из 4–5 уединенных волн с длиной гребня лидирующей волны около 15–30 км при средней ширине пакета около 15 км (большинство значений находится в пределах 10–25 км) и характерным уменьшением расстояния между ними в сторону тыла пакета. В целом в феврале наблюдаются большие средние значения длины пакетов, нежели в январе. Нормированное количество проявлений КВВ в феврале 2020 г. на 36% превосходит аналогичное значение за январь 2020 г., что, по-видимому, связано с формированием более благоприятных условий стратификации для генерации КВВ. В работе также проводится анализ возможных механизмов генерации наблюдаемых внутренних волн.

Исследование выполнено в рамках государственного задания № FNNN-2021-0010.

ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА *A* В АТЛАНТИЧЕСКОМ СЕКТОРЕ ЮЖНОГО ОКЕАНА ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

Я. И. Бакуева ✉, Е. А. Кубрякова, А. А. Кубряков

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

Ключевые слова: Южный океан, хлорофилл *a*.

Экосистема Южного океана характеризуется рядом уникальных особенностей, основными из которых являются большое количество главных биогенных элементов и относительно низкая биомасса фитопланктона. Причинами этого считается недостаток железа, малый уровень освещенности в зимний период, частая облачность, наличие льда и процессы интенсивного ветрового воздействия. Интенсивная крупномасштабная и вихревая динамика Южного океана перераспределяет биогенные элементы, приводя к значительной пространственной неоднородности распределения концентрации хлорофилла *a*.

В настоящей работе проведено исследование особенностей пространственно-временной изменчивости распределения концентрации хлорофилла *a* (Chl) в различных районах Атлантического сектора Южного океана на основе спутниковых измерений MODIS-Aqua за период с 2002 по 2019 г.

В процессе работы анализировалось время наступления максимума и минимума сезонного хода концентрации на каждой широте, что позволило разделить исследуемую область на три зоны: умеренные широты с пиком концентрации Chl в июне, субантарктическая зона с пиком концентрации Chl в декабре – январе и антарктическая зона с пиком концентрации Chl в феврале – марте.

Кроме этого, для более детального понимания физических факторов роста Chl было проведено детальное исследование его изменчивости в зонах его локальных максимумов, а именно: вблизи восточного побережья Южной Америки; в районе выноса

глубинных вод Полярным фронтом вблизи островов Южной Георгии; в районе выноса вод от Антарктического полуострова; а также в прикромочной ледовой зоне. В обозначенных зонах проведен детальный анализ сезонной изменчивости концентрации Chl , как правило, связанной с расположением определенных особенностей: островов, шельфовых зон и фронтальных зон, выноса терригенной взвеси с рек Парана и Уругвай, прикромочной ледовой зоны и выноса вод Полярным фронтом.

Исследование выполнено в рамках государственного задания № FNNN-2021-0010.

БАНК ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ МГИ: ФОРМИРОВАНИЕ МАССИВОВ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ВАЛИДАЦИИ МОДЕЛЕЙ

В. Н. Белокопытов ¹✉, **М. П. Вецало** ¹, **А. А. Воронцов** ²,
Е. А. Годин ¹, **Е. В. Жук** ¹, **А. В. Ингеров** ¹, **Т. В. Пластун** ¹

¹ МГИ, Севастополь, Россия

² ВНИИГМИ-МЦД, Обнинск, Россия

✉ bod@mhi-ras.ru

Ключевые слова: базы данных, контроль качества, ассимиляция, валидация, морские прогнозы.

Одной из задач современной оперативной океанографии является прогноз состояния гидрофизических полей. Данному направлению работ, имеющему большое научное и прикладное значение, в ФГБУН ФИЦ МГИ на протяжении длительного времени уделяется значительное внимание. Достигнутые в МГИ результаты, базирующиеся на использовании современных моделей диагноза и прогноза состояния морской среды, получили признание как внутри страны, так и за рубежом.

Важнейшими этапами разработки и создания моделей являются ассимиляция данных и валидация. Эти работы в МГИ, а также совершенствование методов анализа достоверности

морских прогнозов выполняются при тесном взаимодействии разработчиков моделей и Банка океанографических данных МГИ (БОД МГИ) (URL: <http://bod-mhi.ru/>).

В рамках этих работ в БОД МГИ формируются массивы океанологических данных, осуществляется автоматизированный контроль их качества, в том числе с использованием методов статистического анализа результатов многолетних наблюдений, выполняется подготовка данных натуральных наблюдений к ассимиляции моделями и валидация моделей. Помимо этого, рассчитываются необходимые климатические характеристики, проводятся исследования, направленные на совершенствование методов анализа и оценки достоверности морских прогнозов. Существенную роль при подготовке данных играют разрабатываемые БОД МГИ программные системы, позволяющие трансформировать исходные данные наблюдений в формат, воспринимаемый моделями, в том числе реализующие методы вертикальной и горизонтальной интерполяции данных для включения их в расчетную сетку модели.

Если на протяжении предыдущего десятилетия в МГИ основным районом моделирования гидрофизических процессов являлось Черное море, то в последние годы география значительно расширилась. В связи с этим актуальной стала задача создания баз данных для тех акваторий Мирового океана, для которых в МГИ такие базы ранее не формировались, например отдельные районы Северной Атлантики и моря Арктического бассейна. Эта задача была успешно решена в значительной степени благодаря взаимодействию БОД МГИ и ФГБУ ВНИИГМИ-МЦД, которое осуществлялось в рамках договора о творческом сотрудничестве между двумя институтами. В состав баз вошли все доступные данные судовых измерений, в том числе международных проектов, в которых МГИ принимал участие ранее, а также спутниковые данные, данные, получаемые буями Argo, буями ИТР и сенсорами, закрепленными на морских животных (проект MEOP).

В БОД МГИ предполагается продолжение исследований, направленных на развитие методов обработки океанографической информации для использования в системах прогнозирования состояния морской среды, а также на пополнение существующих

и формирование новых баз данных, дальнейшее расширение сотрудничества с ФГБУ ВНИИГМИ-МЦД.

Работы выполняются в рамках государственного задания по теме № 0555-2022-0003 «Оперативная океанология».

ХАРАКТЕРИСТИКА СГОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ТАГАНРОГСКОМ ЗАЛИВЕ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

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

МГИ, Севастополь, Россия

✉ *nadinkot.nk@gmail.com*

Ключевые слова: Азовское море, Таганрогский залив, сгонные процессы, спутниковые данные, зона осушки.

Таганрогский залив является наиболее мелководным районом Азовского моря, средняя глубина которого составляет 4,9 м. Ежегодно в исследуемом регионе наблюдаются экстремальные сгонно-нагонные явления, создающие опасные условия для ведения морского хозяйства. При этом амплитуда колебаний сгонно-нагонных процессов в Таганрогском заливе может достигать более 6 м.

Данное исследование охватывает период с 2015 по 2021 г., использовались оптические спутниковые данные высокого разрешения OLI Landsat-8 (15 м) и MSI Santinel-2 (10 м). Выделение зоны осушки осуществлялось за счет комбинирования каналов видимого и ближнего инфракрасного диапазонов, в последующем измерялась ее площадь в программе Matlab. Для анализа влияния гидрометеорологических условий на возникновение сгонных процессов привлекались данные реанализа о полях ветра NCEP с 6-часовой дискретностью.

Было выявлено, что наиболее часто сгонные процессы возникают под действием устойчивого и интенсивного ветра восточного и северо-восточного направления со значениями скорости более

10 м/с. При наиболее длительных и интенсивных ветрах площадь осушки в приустьевой зоне реки Дон в отдельных случаях может составлять более 100 км². За исследуемый период в среднем ежегодно наблюдается 2–3 случая выраженного сгона вод.

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

СОПОСТАВЛЕНИЕ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЙ ПО ДАННЫМ СВЧ-РАДИОЛОКАТОРА, ADCP И ДРИФТЕРОВ НА ГИДРОФИЗИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ ИО РАН

В. И. Веремьев³, **И. Г. Горбунов**³, **В. Д. Шестак**³,
К. П. Сильвестрова¹, **С. А. Мысленков**^{1,2}✉, **В. И. Баранов**¹,
В. В. Очередник¹

¹ ИО РАН, Москва, Россия

² МГУ, Москва, Россия

³ СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, Россия

✉ stasocean@gmail.com

Ключевые слова: радиолокация, СВЧ, скорость течения, Черное море, дрейфтеры, гидрофизический полигон.

В июне 2022 г. на гидрофизическом полигоне ИО РАН (Геленджик) был проведен эксперимент по изучению приповерхностных течений. Измерения проводились при помощи когерентного СВЧ-радиолокатора 3-сантиметрового диапазона и акустического доплеровского профилографа (ADCP), установленных на НИС «Ашамба», а также лагранжевых дрейфтеров. СВЧ-радиолокатор представляет собой когерентизированную навигационную радиолокационную станцию «Фуруно» с импульсной мощностью излучения 2 кВт, работающую с волноводно-щелевой антенной с вертикальной поляризацией. Использовался ADCP с акустической частотой 600 кГц, позволяющий получить параметры течений на горизонте 3–4 м в режиме bottom-tracking. Дрейфтеры имели подводный парус высотой 0,5 м, который был расположен в самом верхнем слое. Эксперимент проводился сле-

дующим образом: сначала при помощи буксируемого ADCP производились измерения скорости течения в онлайн-режиме, далее запускалось несколько дрейфтеров и производились радиолокационные измерения на малом ходу судна (2–3 узла).

Обработка данных радиолокатора включает в себя получение спектральных портретов, позволяющих оценить динамические процессы на морской поверхности, в том числе скорость течения.

В результате по данным радиолокатора были получены радиальные составляющие скорости приповерхностных течений. Так как измерения выполнялись на ходу судна, были также получены композитные карты течений на радиальных составляющих скорости, полученных из разных точек пространства. Далее было выполнено сопоставление скорости течений по данным дрейфтеров, ADCP и по радиолокации.

В ходе эксперимента наблюдались скорости течений от 7 до 52 см/с. В целом данные радиолокационных измерений хорошо согласуются с данными дрейфтеров в диапазоне скорости от 15 до 50 см/с.

Работа выполнена по теме государственного задания № FMWE-2021-0002.

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССОВ ВЕРТИКАЛЬНОГО ТЕПЛООБМЕНА В САКСКОМ ЛИМАНЕ

П. В. Гайский¹✉, И. И. Руднева¹, О. В. Шайда¹, В. Г. Шайда²

¹ МГИ, Севастополь, Россия

² ООО Экосервис А, Москва, Россия

✉ gaysky@inbox.ru

Ключевые слова: термопрофилемер, теплообмен, соленое озеро, рапа, грязевые отложения, метан.

Современные измерительные средства и методы позволяют качественно по-новому контролировать процессы теплообмена в вертикальной структуре разделов воздух – вода – рапа – дон-

ные отложения в соленых прибрежных озерах. Получение статистических данных о динамических процессах, происходящих в активных грязевых отложениях, достигающих в ряде случаев глубин до 15 м, позволит не только обследовать современную структуру донных осадков, но и понять механизмы взаимодействия физических, химических и биологических процессов внутри сред и между их составляющими.


Разработанная и установленная в конце 2021 г. в районе метеопоста Восточного бассейна Сакского озера экспериментальная гидрологическая автономная станция с распределенным термопрофилемером длиной 5 м и приводными датчиками газов CO₂ и CH₄ позволила уже за короткий период получить уникальные данные о распределенном вертикальном профиле температуры и динамике теплообмена на глубинах 3 м внутри донных отложений.

Предварительная оценка полученных непрерывных по времени полугодовых данных измерений показывает наличие постоянных активных биогеохимических процессов в донных отложениях, сопровождающихся круглогодичными повышенными градиентами температур и приповерхностными выбросами метана.

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ДИНАМИКИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОКЕАНОГРАФИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЕ

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

МГИ, Севастополь, Россия

 *gaysky@inbox.ru*

Ключевые слова: термопрофилемер, теплообмен, теплозапас, апвеллинг, внутренние волны.

На базе трех идентичных по конструктивному и методическому исполнению 24-метровых термопрофилемеров, установленных вертикально до глубины 21 м в виде пространственного

равностороннего треугольника со стороной 18 м на океанографической платформе (Южный берег Крыма, пгт. Кацивели), разработана экспериментальная система контроля вертикального профиля температуры с целью определения скоростей и направлений переноса водных масс, распространения внутренних волн и др. в условиях изменяющихся термодинамических процессов.

Результаты исследований показали возможность использования подобной системы для контроля по временным фазовым сдвигам направления и скорости распространения волновых процессов, сгонно-нагонных явлений, а также подводных течений, сопровождаемых фронтовыми градиентами температур.

Обеспеченность такого контроля на заданной малой пространственной базе может быть осуществлена при определенных технических и метрологических характеристиках распределенных датчиков температуры, включая пространственно-временное разрешение, инерционность и погрешность измерений. Это позволяет оперативно получать на ограниченном объеме по фронтам-изолиниям картину вертикального и горизонтального переноса водных масс, не связанного с теплообменом.

ШТОРМОВОЕ ВОЛНЕНИЕ В РАЙОНЕ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

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

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

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

С 2011 г. на стационарной океанографической платформе (СОП), расположенной в прибрежной зоне (600 м от берега) Южного берега Крыма (пгт. Кацивели), проводился гидрометеорологический мониторинг (высоты волн, скорость и направление

ветра, температура воздуха и моря, атмосферное давление, относительная влажность) с помощью разработанного в Морском гидрофизическом институте комплекса сбора гидрометеорологических данных (КСГД).

Для измерения высот волн использовался витой резистивный волнограф с дискретностью опроса 4 Гц и возможностью регистрации высот волн до 10 м. Регистрация возвышения морской поверхности проводилась в течение периода 2011–2019 гг., который с перерывами охватывает 9 лет. За весь период наблюдений было накоплено и обработано более 39 000 волнограмм с продолжительностью от 20 до 60 мин.

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

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

Цель настоящей работы состояла в анализе данных многолетних измерений ветрового волнения в северной части Черного моря (Южный берег Крыма (ЮБК)), проводимых на стационарной океанографической платформе в районе п. Качивели, для получения статистических характеристик штормового ветрового волнения, описывающих волновой режим в прибрежной части ЮБК в 2011–2019 гг.

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

Получено:

– среднемесячная высота значительных волн в летние месяцы составляет примерно 0,4 м, в зимние месяцы – 0,75 м;

– максимальные высоты значительных волн при штормах достигали значений 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 один 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.

ОЦЕНКА СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ ПО ВИДЕОЗАПИСЯМ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ: МЕТОД РАСПОЗНАВАНИЯ СИГНАТУР ДИСПЕРСИОННОГО СООТНОШЕНИЯ

Л. А. Глухов , Ю. Ю. Юровский

МГИ, Севастополь, Россия

 *notthebees148@gmail.com*

Ключевые слова: течения, морская поверхность, анализ последовательности изображений.

Фурье-спектры яркости морской поверхности содержат информацию о дисперсии поверхностных волн – зависимости их фазовой скорости от частоты. В присутствии течений частота волн подвержена доплеровскому сдвигу, который, будучи надежно зарегистрированным, может быть использован для измерения скорости течения. В данной работе разработан метод оценки доплеровского сдвига поверхностных волн по видеозаписям морской поверхности. Предложен оригинальный метод анализа пространственно-временных спектров яркости изображений, содержащих сигнатуры дисперсионного соотношения. Помимо данных сигнатур, являющихся «полезным» сигналом, спектры яркости содержат различные «ложные» сигналы,

возникающие из-за нелинейности связи между уклоном волн и их регистрируемой оптической яркостью, например из-за неоднородного освещения небосвода, наличия солнечных бликов, обрушений волн, пены и т. д. Полезный сигнал выделяется путем корреляционного сопоставления измеренных спектров и соответствующих им модельных спектров, рассчитанных в ожидаемых пределах скорости поверхностного течения с заданным шагом. С использованием данного метода проанализированы видеозаписи, полученные с камеры видеонаблюдения (IP-камеры), установленной на океанографической платформе.

Сопутствующие независимые гидрологические измерения показали хорошее соответствие с оценками, полученными разработанным методом.

Работа выполнена в рамках госзадания № FNNN-2021-0010.

МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВЕЛИЧИНЫ pH В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ГЛУБОКОВОДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Е. А. Гребнева

ИПТС, Севастополь, Россия
✉ *Lenagrebneva12@gmail.com*

Ключевые слова: Черное море, глубоководная часть, поверхностный слой, величина pH, стационарный временной ряд, годовой цикл, межгодовая изменчивость.

Рост концентраций парниковых газов в атмосфере и, в первую очередь, углекислого газа, изменение гидрохимических параметров поступающих в море речных вод и атмосферных осадков, вариации региональных гидрометеорологических условий в процессе климатических изменений и другие процессы оказывают существенное влияние на гидролого-гидрохимическую структуру морских вод. Это проявляется, в частности, в вариациях pH, что оказывает существенное влияние на многие морские организмы.

В основном современные исследования водородного показателя сосредоточены на получении глобальных климатических тенденций рН поверхностных слоев Мирового океана, которые являются прямым следствием поглощения морской водой возрастающего количества атмосферного CO_2 .

Для поверхностных вод Черного моря тренд величины рН за период с 1956 по 2010 г. был оценен в $-(0,013-0,017)$ ед. рН/10 лет. Вместе с тем во временном ходе рН были выделены квазициклические компоненты изменчивости с периодом $\sim 2,5$ и $6,7$ лет. Наиболее вероятно, что основная причина такой квазипериодической изменчивости величины рН в верхнем слое открытой части Черного моря – вариации региональных гидрометеорологических характеристик, обусловленных изменениями циклонической активности в Атлантико-Европейском секторе, включая Черноморский регион, в различные фазы климатических мод в системе океан – атмосфера. Однако в этой работе выделение внутригодового цикла и интерполяция данных были осуществлены с недостаточно высоким временным разрешением, что может приводить к искажению оценок трендов и межгодовой изменчивости восстановленного ряда величины рН. Ясно, что анализ более надежных многолетних временных рядов необходимого разрешения может уточнить представления об отклике региональных гидрохимических циклов на изменчивость гидрометеорологических процессов, происходящих на фоне климатических трендов, и уточнить многолетние тенденции рН. В связи с этим по архивным данным ИПТС (6989 станций рН) за период с 1957 по 1996 г. рассчитан эквидистантный временной ряд величины рН, разрешающий внутригодовой цикл и позволяющий уточнить межгодовые вариации, а также тренды этой величины для глубоководной части Черного моря.

Результаты показали, что по статистической структуре временной ряд делится на два временных отрезка, различных по знаку тенденции и дисперсии величины рН. Первый – с 1957 по 1976 г. и второй – с 1977 по 1996 г. СКО первого отрезка – $0,0598$, второго – $0,0699$. Первый временной отрезок характеризуется положительной (хотя и незначимой) тенденцией изменений рН ($0,006$ ед. рН/10 лет). Второй обусловлен отрицательным линейным трендом ($-0,03$ ед. рН/10 лет). С помощью добавки белого


шума к проинтерполированным значениям получен стационарный по дисперсии, внутри каждого временного отрезка, ряд. При этом СКО этих периодов до и после добавки белого шума не изменилось (0,0596 и 0,0700). Вместе с тем различие дисперсий этих двух периодов статистически незначимо на 95%-ном уровне.

В результате спектрального анализа выделена значимая квази-периодическая составляющая изменчивости с периодом 10 лет.

Работа выполнена в рамках Госзадания ИПТС № госрегистрации 121122300074-7.

ВЫДЕЛЕНИЕ АНОМАЛИЙ В БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ РАННЕГО ОБНАРУЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ БЕЗ УЧИТЕЛЯ

А. Н. Греков , Е. В. Вышкваркова, В. В. Трусевич

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

Ключевые слова: аномалия, машинное обучение, моллюски, биологическая система раннего обнаружения.

В 2008 г. разработан, а позже модернизирован комплекс автоматизированного биомониторинга, являющийся аналогом системы Musselmonitor, предназначенный для эксплуатации в натуральных условиях водоемов. Работа комплекса основана на фиксации и анализе поведенческих реакций моллюсков и генерации сигнала тревоги при обнаружении аномалии. У двустворчатых моллюсков величина раскрытия створок, особенности ритмики их движений характеризуют фильтрационную активность, а следовательно, и уровень их жизнедеятельности в нормальной и токсической средах.

Для обнаружения аномалий поведенческих реакций моллюсков использованы данные, полученные при помощи разработанного авторами комплекса автоматизированного мониторинга

водной среды на основе поведенческих реакций двустворчатых моллюсков. Наблюдения за поведенческими реакциями моллюсков проводились в русле реки Черная на гидроузле № 14 в 2016–2017 гг. В качестве биоиндикаторов использованы пресноводные моллюски. Разработанный комплекс позволяет устанавливать до 16 моллюсков, но в процессе эксплуатации два из них вышли из строя (номер 1 и 16). Поэтому для обучения моделей использовались данные от 14 моллюсков.

К данным поведенческих реакций моллюсков применены четыре алгоритма машинного обучения без учителя для обнаружения аномалий: локальный уровень выброса (local outlier factor, сокр. LOF), одноклассовый метод опорных векторов (support vector machine, сокр. SVM), метод эллиптической огибающей (elliptic envelope) и изолирующий лес (Isolation forest, сокр. iForest). В приложениях машинного обучения рекомендуется оценивать несколько алгоритмов и сравнивать их производительность, поскольку каждый из них имеет свои собственные предположения о базовой структуре данных.

В режиме поведенческих реакций моллюсков выделяются аномалии вследствие естественных процессов, например прохождения обильных дождей, а также по причине технических неисправностей комплекса. Работа направлена на обнаружение аномалий обоих видов.

Эффективность алгоритмов машинного обучения оценивалась по F-мере (F-score) – интегральному показателю, являющемуся гармоническим средним полноты и точности обнаружения. Этот показатель позволяет наиболее полно оценить эффективность алгоритма. Характеристика F1 находится в пределах от 0 до 1. Оценка F1, равная 1, указывает на идеальную точность и полноту (наилучшая производительность), а оценка 0 указывает на то, что либо точность, либо полнота равны 0 (наихудшая производительность). Кроме того, для каждого алгоритма рассчитывалась ошибка второго рода – ложноотрицательный (False Negative) результат, т. к. в этом случае алгоритм не обнаруживает аномалию при ее наличии, что для системы раннего обнаружения загрязнения является критически важным.

Наихудшим алгоритмом для обнаружения аномалий в данных об активности двустворчатых моллюсков оказался метод SVM.

Применение других алгоритмов (elliptic envelope, iForest и LOF) при определенной настройке гиперпараметров (осреднение, масштабирование и др.) позволило оценить параметр F1, равный единице. Используемые в работе алгоритмы машинного обучения могут применяться с целью обнаружения аномалий в данных активности моллюсков для включения в программное обеспечение комплекса биомониторинга воды для получения сигнала тревоги в режиме реального времени.

СЕЙШЕВАЯ ДИНАМИКА АЗОВСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ СЪЕМОК И БЕРЕГОВЫХ УРОВНЕМЕРОВ

К. С. Григоренко ¹✉, Е. П. Олейников ¹,
А. Д. Фролова ²

¹ ИОНЦ РАН, Ростов-на-Дону, Россия

² ЮФУ, Ростов-на-Дону, Россия

✉ klim_grig@mail.ru

Ключевые слова: течения Азовского моря, сейши, сгонно-нагонные явления, береговые косы.

Сгонно-нагонные ветры являются одной из наиболее известных причин возникновения сейш. Эти явления находятся в настолько тесной взаимосвязи, что представления о ветровой схеме течений Азовского моря следует рассматривать как фазы сейшевых течений. При самом сильном сгоне или нагоне через 12–24 ч при неизменном ветре направление течения сменится на противоположное. Таким образом, можно утверждать, что сейшевые течения являются основой гидродинамики Азовского моря. В этом отношении оно является уникальным среди других аналогичных водных объектов.

Крупные ледниковые озера (Ладожское, Онежское, Великие Американские озера) – глубже, поэтому развиваются плотностные течения [1]. В эстуариях сибирских рек и в Белом море решающее значение имеют приливы. Мелководная северная часть

Каспийского моря, заливы восточной части Балтийского моря (Финский, Рижский, Гданьский) открытыми частями связаны с более глубокими бассейнами (Южный Каспий, максимальная глубина 1025 м, собственно Балтийское море, 470 м), из-за чего сейшевая динамика становится менее выражена и уже не играет такую роль в перемешивании.

Сейшевая природа течений косвенно подтверждается современной формой кос, а также их подводных продолжений. Затопленные части Павло-Очаковской, Петрушинской, Чумбурской, Беглицкой, Сазальницкой, Кривой и Елениной кос направлены вдоль стокового течения Палеодона периода фанагорийской регрессии и нимфейской трансгрессии моря. Современная форма говорит о циклонической циркуляции в море к западу от косы Долгой. С востока Таганрогского залива округлая форма Павло-Очаковской, Чумбурской, Сазальницкой и закругленная – Беглицкой соответствуют последовательному чередованию направления течений. Размеры и направление Долгой косы сформированы равновесием между циклоническим переносом к западу и сейшево-стоковым с востока. Наблюдающееся с середины XX в. разрушение косы может являться еще одним следствием маловодья Дона – ослабления стокового течения.

Волновой характер течений позволяет предположить, что Азовское море обладает заметным потенциалом для строительства бесплотинных гидроэлектростанций. В устьях между Белосарайской и Долгой, в меньшей степени между Кривой и Сазальницкой косами, даже в безветренную погоду течения имеют скорости 0,3–0,5 м/с и суточную цикличность смены направления. При эффективном использовании подобный источник мог бы обеспечить прибрежные населенные пункты доступной и экологически чистой электроэнергией.

Список литературы

1. Филатов Н. Н. Гидродинамика озер / Отв. ред. Ю. Л. Демин ; АН СССР, Карел. науч. центр, Отд. вод. пробл. СПб. : Наука : С.-Петербург. отд-ние, 1991. 196 с.

**ВОСПРОИЗВОДИМОСТЬ ДИНАМИКИ ВОД
НА ЧЕРНОМОРСКОМ ПОЛИГОНЕ
«ГЕЛЕНДЖИК» ИО РАН ПОСРЕДСТВОМ МОДЕЛИ
С ДВОЙНЫМ ВЛОЖЕНИЕМ СЕТОК ВО ВРЕМЯ
ГИДРОФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА В ИЮНЕ
2022 ГОДА**

А. В. Григорьев^{1,2}✉, **А. И. Кубряков**³, **А. Г. Зацепин**^{2,3,4},
С. Б. Куклев⁴, **В. И. Баранов**⁴, **С. А. Мысленков**^{4,5},
В. В. Очередник⁴, **К. П. Сильвестрова**⁴

¹ *ГОИН, Москва, Россия*

² *МФТИ, Долгопрудный, Россия*

³ *МГИ, Севастополь, Россия*

⁴ *ИО РАН, Москва, Россия*

⁵ *МГУ, Москва, Россия*

✉ *ag-privat@mail.ru*

Ключевые слова: оперативная модель, технология вложенных сеток, полигон «Геленджик» ИО РАН, субмезомасштабные процессы.

Для воспроизведения мезомасштабной и субмезомасштабной динамики вод в прибрежной области Черного моря, включающей в том числе район полигона «Геленджик» ИО РАН, была использована система моделей, использующая двойное вложение сеток. То есть общебассейновая модель всего моря «поставляет» начальные и граничные условия для региональной модели северо-восточной области, а та, в свою очередь, обеспечивает соответствующей информацией локальную модель, сеточная область которой покрывает район Новороссийска – Геленджика. Такой подход позволяет при сравнительно небольшом времени счета обеспечивать горизонтальное разрешение локальной модели ~ 150 м. Система инсталлирована в ФГБУ «ГОИН», работает в ежедневном оперативном режиме и обеспечивает расчеты полей скорости течений, температуры, солёности и уровня моря с оговоренной в эксперименте временной дискретностью 1 ч.

В рамках Этапа 1 «Поддержание кластера автономных станций на полигоне „Геленджик“ ИО РАН, изучение гидрофизических процессов на шельфе и континентальном склоне дистанционными и контактными методами» ежегодной прибрежно-морской экспедиции ИО РАН на Черном море в период с 15 по 25 июня 2022 г. был проведен гидрофизический эксперимент по прибрежной оперативной океанографии (ПОО). В результате были апробированы три составляющие системы ПОО, включающие в себя: а) натурные контактные измерения (судовые гидрофизические съемки, автономные измерения с помощью заякоренных и дрейфующих станций); б) радиолокационные доплеровские измерения приповерхностной скорости течения и характеристик волнения; в) численное моделирование трехмерной структуры термохалинных полей, а также поля скорости течения на основе использования гидродинамических моделей.

В докладе приводятся результаты сравнения модельных расчетов и данных натурных наблюдений.

ДИНАМИКА ПРИКРОМОЧНОЙ ЛЕДОВОЙ ЗОНЫ КАРСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ, БПЛА И КОНТАКТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ЛЕТОМ 2021 ГОДА

В. Р. Жук¹, И. Е. Козлов¹✉, А. А. Кубряков¹,
А. А. Осадчиев²

¹ МГИ, Севастополь, Россия

² ИО РАН, Москва, Россия

✉ igor.eko@gmail.com

Ключевые слова: Арктический океан, мелкомасштабная изменчивость, дрейф льда, прикромочная ледовая зона, Карское море.

Исследования динамических процессов в прикромочной ледовой зоне (ПЛЗ) важны для мониторинга климатических изменений, а также для прогнозирования будущих последствий этих изменений. В частности, сведения о характеристиках ледового поля

необходимы для оценок теплового обмена и взаимодействия океан – лед – атмосфера. В условиях увеличения площади открытых вод в Арктике транспорт в данном регионе будет неуклонно возрастать, особенно в ПЛЗ. В то же время все более актуальными становятся исследования мелкомасштабных процессов у кромки льда. По причине сложных погодных условий в Арктическом регионе на данный момент представлено ограниченное количество публикаций на эту тему.

В ходе 58-го рейса НИС «Академик Иоффе» получены гидрологические данные в ПЛЗ Карского моря. Выполнялась съемка морской поверхности в оптическом диапазоне с помощью БПЛА DJI Mavic 2 Pro. Для оценки мезомасштабной динамики ПЛЗ использовались спутниковые измерения радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) Sentinel-1A/B.

Анализ гидрологических профилей показал существенные вариации глубин опресненного слоя, которые составили от 0,45 до 2,5 м. Обработка измерений БПЛА позволила оценить мелкомасштабную динамику ПЛЗ. Так, на станции 3969 зафиксирована антициклоническая направленность дрейфа льда. Средние значения скорости находятся в диапазоне 0,2–0,6 м/с. При этом усредненная скорость ветра по данным судовой метеостанции составила около 7 м/с. Ветровая составляющая в скорости движения льдин в таком случае принимает значения не более 0,2 м/с (3% от скорости ветра). Существенная часть скоростей выходит за эти рамки, что может быть связано с агеострофической составляющей в поле скорости поверхностных течений. Фиксируемая на данной станции изменчивость направлений ледового дрейфа при постоянном направлении ветра также говорит о выраженном влиянии динамики поверхностного слоя моря в наблюдаемом поле течений. На станции 3970 наблюдаются одинаковые направления движения льда и скорости ветра. Средние скорости ледового дрейфа и ветра равны 0,1–0,35 и 5 м/с соответственно. Тогда ветровая составляющая принимает значения около 0,15 м/с, что меньше скорости некоторых льдин. Таким образом, ледовый дрейф на данной станции также во многом обусловлен динамикой поверхностного слоя моря.

На РСА-снимках за 17–21 августа отчетливо прослеживается эволюция ПЛЗ в районе 78°30′ – 81°30′ в. д., 79°–79°48′ с. ш.


Наблюдается перестройка ПЛЗ и образование вихревых структур диаметром около 20 км в областях $78^{\circ}30' - 79^{\circ}30'$ в. д., $79^{\circ}24' - 79^{\circ}36'$ с. ш. Отметим, что одна вихреобразная структура также была зафиксирована с квадрокоптера 20 августа.

Таким образом, совместный анализ спутниковых РСА-изображений, данных с БПЛА и натуральных измерений позволил оценить динамику ПЛЗ в Карском море.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 21-17-00278, а также в рамках государственного задания № FNNN-2021-0010 и № 0555-2021-0006.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПРОЦЕДУРА РАСЧЕТА СКОРОСТЕЙ ТЕЧЕНИЙ В ЧЕРНОМ МОРЕ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ARGO

Е. В. Жук , Н. В. Маркова

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

Ключевые слова: Черное море, данные Argo, течения, циркуляция, автоматизированный расчет, Банк океанографических данных, ГИС.

Основная задача представленной работы заключалась в оценке скоростей течений Черного моря на разных глубинах с помощью автоматизированной процедуры обработки данных натуральных наблюдений, собранных с помощью дрейфующих буев-профиломеров Argo. В отсутствие достаточного количества прямых наблюдений течений, их скорости оценивались по перемещениям лагранжевых трассеров, в качестве которых выступали дрейфующие на своих парковочных глубинах буй-профиломеры.

Включенные в систему наблюдений за состоянием океана Argo, буй-профиломеры дрейфуют в Черном море на различных (заданных) глубинах и осуществляют передачу собранных во время рабочего цикла данных при всплытии на поверхность моря

посредством спутниковой коммуникации. В пакет передаваемой информации входят, в частности, координаты и время трансляции данных, что позволяет оценить путь, пройденный буем во время рабочего цикла, и рассчитать среднюю скорость буя между его последовательными погружениями и всплытиями на поверхность. Выполняемый как отношение пройденного пути ко времени движения расчет средних скоростей буев позволяет оценить направление и амплитуды переносящих их течений и в их совокупности показать трехмерную структуру и временную изменчивость поля скорости.

Разработка и включение в геоинформационную систему Черного моря процедуры расчета лагранжевой скорости позволяет существенно сократить время оценки и обработки поступающих от буев Argo данных наблюдений, оперативно уточняя информацию о скоростях и изменчивости течений. Подобная процедура отсутствует в онлайн-сервисах проекта Argo, в то время как ее применение существенно упрощает работу с океанографическими данными и их анализ.

Так, с помощью указанной процедуры расчета скоростей по данным наблюдений буев Argo были выполнены оценки средних скорости течений в Черном море на горизонтах от 200 до 1500 м для периода с 2005 по 2022 г. По сравнению с предыдущими работами, на основе наиболее полного массива данных наблюдений были уточнены скорости течений на всех парковочных горизонтах буев-профилемеров. Рассчитаны средние скорости, их минимальные и максимальные значения, СКО и доверительный интервал на каждом из рассмотренных горизонтов. Построенные на основе полученных результатов карты скоростей и выполненные статистические оценки позволили установить крупномасштабные и региональные особенности поля течений в поверхностном и глубинном слоях моря.

Работа по разработке и внедрению автоматизированной процедуры оценки скоростей выполнена в рамках госзадания ФГБУН ФИЦ МГИ по теме № FNNN-2021-0003. Исследование региональных особенностей глубоководных течений проводилось при поддержке гранта РФФ № 22-17-00150.

СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ РИСКОВ, СВЯЗАННЫХ С МОРСКИМИ КАТАСТРОФАМИ

А. И. Зайцев

СКБ САМИ ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

✉ *aizaytsev@mail.ru*

Ключевые слова: информационная система, риски, морские катастрофы, прибрежные районы.

Опасные природные процессы являются постоянно действующим фактором, оказывающим негативное влияние на социально-экономическое положение. В настоящее время возрастает роль Мирового океана в экономике всех стран, что приводит к активному освоению прибрежных территорий и увеличению численности населения в прибрежных регионах.

Риск определяется как физическими характеристиками катастроф, так и социальными характеристиками населенных пунктов. Не последнюю роль здесь играет и изменение климата, медленно, но постепенно меняющее условия жизни населения. Отсюда возникает необходимость разработки соответствующих планов, направленных на смягчение последствий природных катастроф и уменьшение риска для населения. Такие планы базируются на результатах научных исследований в данной междисциплинарной области знаний. Для этого необходимо иметь физические и математические модели, позволяющие рассчитать возможные параметры катастроф, а также проводить непрерывный мониторинг окружающей среды. Полученные результаты позволяют оценить риски этих морских природных катастроф в исследуемых районах с учетом социально-экономических приложений.

Главным результатом данной работы являются разработанные элементы и прототипы информационной системы прибрежных рисков, связанных с природными катастрофами.

**СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ
ГИДРОФИЗИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ВОД
К СЕВЕРУ ОТ АРХИПЕЛАГА СЕВЕРНАЯ ЗЕМЛЯ
ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ, РЕАНАЛИЗА
И МОДЕЛИРОВАНИЯ**

В. В. Иванов^{1,2}✉, **А. В. Даньшина**², **А. В. Смирнов**²

¹ МГУ, Москва, Россия

² ААНИИ, Санкт-Петербург, Россия

✉ vladimir.ivanov@aari.ru

Ключевые слова: Северный Ледовитый океан, морские течения, водные массы, морской лед, сезонная изменчивость.

Проблема содержательного анализа данных натурных наблюдений с целью получения объективного описания гидрофизических процессов связана с пространственной фрагментарностью наблюдений и их привязкой к фиксированным моментам времени. С другой стороны, результаты расчетов на математических моделях и данные океанского реанализа позволяют воспроизвести целостную картину структуры и изменчивости гидрофизических полей с пространственной дискретностью, равной шагу расчетной сетки на временном масштабе, равном продолжительности расчета. Однако результаты расчетов на численных моделях и данные реанализа пока не позволяют полностью заменить данные натурных наблюдений из-за недостаточного разрешения моделей и использования упрощенных параметризаций подсеточных процессов. С учетом этого объединение возможностей, предоставляемых в рамках различных методов исследований, представляется оптимальным подходом для обоснованного документирования пространственно-временной изменчивости гидрофизической структуры вод.

В сентябре 2018 г. в международной экспедиции «Арктика-2018» на НЭС «Академик Трешников» были успешно подняты семь автономных буйковых станций (АБС), установленных в сентябре 2015 г. на шельфе, континентальном склоне и в при-

легающей глубоководной части Арктического бассейна Северного Ледовитого океана (СЛО) к северу от архипелага Северная Земля. АБС представляют собой хорошо зарекомендовавшую себя наблюдательскую платформу, обеспечивающую долговременный мониторинг ключевых параметров состояния морской среды. В свободных ото льда районах Мирового океана АБС, стационарно устанавливаемые в заданной точке, массово применяются со второй половины XX в. В СЛО применение АБС активно началось с 2000-х гг. благодаря развитию технических средств, обеспечивающих их постановку в притопленном состоянии, т. е. с расположением верхнего несущего буйа на глубине 50–100 м подо льдом, а также поиск и подъем АБС в условиях сплошного ледяного покрова. Принципиальная схема всех поднятых в исследуемом районе АБС идентична: на глубине 40–60 м располагался основной несущий буй, удерживавший на плаву всю измерительную систему. На несущем тросе закрепляются измерительные приборы, в число которых на различных станциях входили: гидрологические зонды MicroCAT SBE37 для точечной регистрации температуры, электропроводности и давления, профилографы ММР (McLane Moored Profiler) для регистрации температуры, солёности и сдвига скорости течений в водной толще при движении прибора вдоль троса в слое от 60–70 до 800 м и акустические доплеровские измерители течения (ADCP). Вспомогательный инструментарий, необходимый для выполнения постановки и подъема гирлянды с измерительными приборами, включал акустический транспондер и размыкатели, а также «якорь» – бетонный блок, обеспечивающий неизменное положение АБС в заданной точке пространства.

Временные серии температуры и солёности воды, полученные за три года непрерывных измерений на семи АБС, анализировались совместно с результатами численного моделирования на модели NEMO (версия 3.6) (URL: <https://www.nemo-ocean.eu/>) и данными океанского реанализа GLORYS12V1 (URL: <https://doi.org/10.48670/moi-00021>). Основное внимание было уделено выявлению механизмов существования устойчивого сезонного температурного сигнала в промежуточном слое вод атлантического происхождения, надёжно выделяемого в данных инструментальных наблюдений на шельфе и континентальном

склоне. Результаты численного моделирования и данные реанализа в целом свидетельствуют в пользу предложенной в [1] гипотезы об адвективном переносе сезонного сигнала, который формируется вверх по потоку атлантических вод на границе постоянного ледяного покрова в Северо-Европейском бассейне СЛО [2].

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ 19-17-00110-П.

Список литературы

1. Seasonal variability in Atlantic Water off Spitsbergen / V. V. Ivanov [et al.] // Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers. 2009. Vol. 56, issue 1. P. 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2008.07.013>.

2. Ivanov V. V., Repina I. A. The Effect of Seasonal Variability of Atlantic Water on the Arctic Sea Ice Cover // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2018. Vol. 54, issue 1. P. 65–72. <https://doi.org/10.1134/S0001433818010061>.

ОЦЕНКА КОЛИЧЕСТВА СТАРЫХ ЛЬДОВ, ВЫНОСИМЫХ ЧЕРЕЗ ПРОЛИВ ФРАМА ИЗ АРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА

В. В. Иванов ✉, **М. В. Шаратунова**

АНИИ, Санкт-Петербург, Россия

[✉_iyv@aari.ru](mailto:iyv@aari.ru)

Ключевые слова: Гренландское море, пролив Фрама, дрейфующий лед, вынос, возрастной состав, старый лед.

В настоящей работе рассмотрены и проанализированы региональные ледовые карты Гренландского моря, подготовленные центром «Север» АНИИ с 2015 по 2021 г. Региональные ледовые карты составляются на основе снимков, получаемых с ИСЗ еженедельно для всех морей Арктического бассейна.

Целью работы является определение площадных характеристик старых льдов, а также площадей дрейфующих льдов других возрастных градаций, выносимых из Арктического бассейна в пролив Фрама, где проходит основная ветвь трансарктического

переноса. Второй поток, проходящий вдоль побережья Гренландии с севера и попадающий через море Линкольна в пролив Кеннеди и море Баффина, не учитывается из-за малых объемов выносимого льда.

Проделана работа по подготовке исходных данных (архива региональных ледовых карт в виде shp-файлов с еженедельной дискретностью) с целью выделения из всего моря отдельной части, а именно участка пролива Фрама (створ м. Норост-Руннинген – о. Западный Шпицберген), поскольку он имеет весьма важное значение для Арктического бассейна в целом. Через него осуществляется заток теплых атлантических вод и через него же вдоль побережья Гренландии происходит активный вынос дрейфующего льда из Арктического бассейна и его дальнейшее разрушение и таяние в летний период. При количественной оценке площадей дрейфующего льда каждой возрастной градации использовалась группа возрастов: старый, молодой, однолетний – в соответствии с национальной номенклатурой морского льда (в осенний период площади остаточного и старого льдов подсчитаны вместе). Помимо этого, проведен подсчет площадей припая и ширины створа выносимого льда.

Прослеживается тенденция отдельных скачков площадей льда, что объясняется переходом зон дрейфующего льда в припай, а также влиянием атмосферной циркуляции на положение кромки дрейфующего льда, увеличением и уменьшением скоростей дрейфа льда, активным ледообразованием молодых льдов.

Общей закономерностью при оценке площадей старых льдов является смещение его максимального количества с конца мая в 2015–2016 гг. на декабрь в 2018–2019 гг., март – апрель в 2016–2017 и 2020–2021 гг.

В начале зимнего периода количество старых льдов в проливе Фрама значительно колебалось от 94149 км² в начале ледообразования в 2015 г., до 177253 км² в 2020 г.

Вынос однолетних и молодых льдов не является столь важным. Основная часть данных льдов местного образования либо является принесенной из приполюсного района Баренцева моря (район к северу от арх. Шпицберген). Часть данных льдов, не рас-

таявших к началу ледообразования, перейдут в градацию остаточного льда, их количество невелико и зависит от положения границы зон преобладания старых льдов.

Колебания площадей припая, часть которого состоит из старых льдов, также весьма велики, в среднем площадь припая увеличивалась за зимний сезон в 5–6 раз, в отдельные экстремальные моменты до 12.

После площадной оценки старых льдов можно попробовать оценить объемы выносимого льда, несмотря на большую погрешность данной оценки, данная характеристика весьма важна для оценки выноса арктических льдов.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ТУРБУЛЕНТНОГО ОБМЕНА В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ 87, 92, 102 И 110-ГО РЕЙСОВ НИС «ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ»

**Д. А. Казаков [✉], А. С. Самодуров, А. М. Чухарев,
М. И. Павлов**

МГИ, Севастополь, Россия
[✉] dk@mhi-ras.ru

Ключевые слова: диссипация энергии, стратифицированные слои, турбулентный обмен, частота плавучести, Черное море, натурные измерения.

В работе рассматриваются результаты экспедиционных работ, проведенных отделом турбулентности МГИ РАН в Черном море на НИС «Профессор Водяницкий» в различные сезоны 2016–2019 гг. с целью уточнения локальных и сезонных частей моделей вертикального турбулентного обмена в области термоклина. Были построены графики сезонной изменчивости частоты плавучести и коэффициента вертикального турбулентного обмена. Также было выполнено деление исследуемой области на регионы по характерным гидрологическим особенностям и особенностям

топографии дна с последующим корреляционным анализом изменчивости коэффициента вертикальной турбулентной диффузии с глубиной в каждом из регионов.

Данные охватывают летне-осенний период и были собраны с помощью зондирующего комплекса «Сигма-1». Они включают в себя зоны шельфа, склона и глубоководную часть экономической зоны Черного моря вблизи крымского побережья. Зависимости коэффициента вертикальной турбулентной диффузии K от частоты плавучести N и от глубины z были получены на основе существующих полуэмпирических моделей вертикального турбулентного обмена. Оценки строились на основе анализа спектров вертикальных градиентов горизонтальных пульсаций скорости. Спектры рассчитывались на трехметровых интервалах глубин для каждой станции, что при частоте съема сигнала 100 Гц позволяло получить достоверную оценку. Основным результатом проведенной работы является учет особенностей выделенных регионов для получения в дальнейшем более точных моделей вертикального турбулентного обмена.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 0555-2021-0004 «Океанологические процессы».

ОЦЕНКА ЦУНАМИОПАСНОСТИ ДЛЯ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ РОССИИ: ПРОБЛЕМА ТОЧНОСТИ

В. М. Кайстренко

ИМГиГ ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия
✉ *vict-k@mail.ru*

Ключевые слова: цунами, повторяемость, вероятностная модель, оценки точности.

Все Дальневосточное побережье России, как Тихоокеанское, так и окраинных морей (Японского, Охотского и Берингова), неоднократно подвергалось воздействию цунами. Учитывая вероятностную трактовку опасности и риска, важной задачей


является построение физически обоснованных вероятностных моделей проявлений цунами на побережьях. Очевидно, что проявления такого опасного явления, как цунами, стимулирует не только чисто научные работы по физике цунами, но и прикладные работы по созданию такого востребованного продукта, как карты цунамирайонирования. И здесь на первое место выдвигается проблема оценок точности параметров цунамиактивности и, соответственно, цунамиопасности.


Анализ получения таких параметров для Южно-Курильска показал, что точность оценок параметров цунамиактивности, асимптотической частоты сильных цунами $f = 0,15 \pm 0,04$ 1/год и характеристической высоты цунами $H^* = 1,6 \pm 0,5$ м, полученных на базе натуральных данных за период наблюдений 67 лет (1953–2020 гг.), оказалась ожидаемо невысокой. Анализ построенных синтетических рядов высот цунами на заданный длительный период времени показал необходимость иметь наборы данных наблюдений за цунами длительностью примерно 250 лет без пропусков, чтобы получить параметры активности цунами с точностью примерно 10%, а точность 5% можно получить, используя наборы данных наблюдений за 500 лет. Имеются данные о цунами в течение длительного периода на северо-восточном побережье Хонсю и тихоокеанском побережье Южной Америки, но при этом документированы только сильнейшие события, так что для этих побережий наборы данных не полны.

Серьезный прогресс в улучшении качества оценок цунамиактивности возможен с привлечением данных о палеоцунами, но в настоящее время в технологии получения оценок из данных о палеособытиях имеется много нерешенных проблем.

Современная технология Probabilistic Tsunami Hazard Assessment (РТНА) привлекает данные о сейсмичности, но в рамках этой многопараметрической модели получить надежные оценки точности получаемых параметров цунамиопасности крайне сложно.

ВИХРИ В ПРИКРОМОЧНОЙ ЛЕДОВОЙ ЗОНЕ ПРОЛИВА ФРАМА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЛЕДЯНОЙ ПОКРОВ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ РАДИОЛОКАЦИИ

И. Е. Козлов , О. А. Атаджанова

МГИ, Севастополь, Россия
 *igor.eko@gmail.com*

Ключевые слова: океанские вихри, прикромочная ледовая зона, таяние льда, спутниковая радиолокация морской поверхности.

На основе анализа спутниковых данных Envisat ASAR и Sentinel-1 за зимние периоды 2007 и 2018 гг. выполнены детальное определение характеристик вихревых структур и оценка их влияния на таяние льда в прикромочной ледовой зоне (ПЛЗ) прол. Фрама и вблизи арх. Шпицберген.

Анализ 2039 РСА-изображений позволил выделить 4619 поверхностных проявлений вихревых структур в ПЛЗ. При существенно различных фоновых ледовых условиях в зимние периоды 2007 и 2018 гг. относительное количество вихрей, зарегистрированных на единицу площади ПЛЗ, было равным в оба года. Результаты анализа показали явное доминирование малых мезомасштабных и субмезомасштабных вихрей в общей выборке. Диаметры вихрей варьировались в диапазоне 1–68 км со средним значением около 6 км для шельфовых районов и 12 км для глубоководных районов.

На основе спутниковых измерений в микроволновом диапазоне оценена фоновая концентрация льда в районах образования вихрей и процентное содержание льда внутри них. Показано, что большинство вихрей образуется на кромке льда и на участках с концентрацией льда менее 20%. С увеличением фоновой концентрации льда наблюдается отчетливый рост средних диаметров вихрей.

Процентное содержание льда внутри вихрей, характеризующее степень вовлечения дрейфующего льда вихревыми течениями, имеет выраженное бимодальное распределение с пиком

в районе максимальных значений концентрации льда. Показано, что циклонические вихри в среднем аккумулируют несколько большее количество льда (53%), чем антициклонические (48%).

Впервые определена площадь дрейфующего льда, вовлеченного в «средний» вихрь, которая составила около 40 км². На основе анализа актуальной спутниковой информации и исторических экспедиционных данных впервые получена пространственная оценка горизонтального сокращения площади ледяного покрова в ПЛЗ за счет вихреобразования, составившая в среднем 0,2–0,5 км/день ± 0,02 км/день.

В работе также исследована взаимосвязь между повторяемостью вихрей и среднемесячными полями течений ветра в районе исследований. Показано, что интенсивность вихреобразования возрастает при ветрах северного направления.

Настоящая работа выполнена в рамках гранта РФФ № 21-17-00278 (анализ влияния вихрей на таяние ледяного покрова), гранта РФФ № 21-77-10052 (анализ связи интенсивности генерации вихрей с фоновыми течениями), а также госзадания по теме № FNNN-2021-0010 (анализ спутниковых данных для определения пространственно-временных характеристик вихрей).

ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ В БЕЛОМ МОРЕ: ГОРЯЧИЕ ТОЧКИ, СТРУКТУРА И ВЛИЯНИЕ НА ПЕРЕМЕШИВАНИЕ ПО ДАННЫМ МУЛЬТИСЕНСОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

И. Е. Козлов ¹✉, О. А. Атаджанова ^{1,2}, А. В. Зимин ²

¹ МГИ, Севастополь, Россия

² ИО РАН, Москва, Россия

✉ ik@mhi-ras.ru

Ключевые слова: внутренние волны, очаги генерации, спутниковая радиолокация морской поверхности, контактные измерения, вертикальное перемешивание, Белое море, Арктика.

В работе будут представлены результаты комплексного анализа поля короткопериодных внутренних волн (КВВ) в Белом

море, полученные на основе использования спутниковых радиолокационных данных Envisat ASAR и Radarsat-1,2 и контактных измерений за летние периоды 2007 г. и 2009–2013 гг.

На основе анализа спутниковых данных были определены «горячие точки» образования КВВ на акватории моря, их пространственные и кинематические характеристики, а также возможные механизмы генерации в различных районах моря. Анализ контактных измерений позволил определить вертикальные характеристики наблюдаемых волн в различных районах моря и оценить их влияние на вертикальное перемешивание. Показано, что в районах наблюдения КВВ значительных амплитуд значения коэффициента диапикнической диффузии значительно выше, чем в других районах. Без учета эффектов, связанных с интенсивными КВВ, вертикальный турбулентный обмен недооценен.

Настоящая работа выполнена в рамках государственного задания по темам № FNNN-2021-0010 (МГИ РАН) и № 0128-2021-0014 (ИО РАН).

БАЗА ДАННЫХ ПО ОКЕАНОГРАФИИ ШЕЛЬФА ЗАПАДНОЙ КАМЧАТКИ (ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ОХОТСКОГО МОРЯ)

В. В. Коломейцев¹ ✉, **С. Л. Горин**²

¹ *КамчатНИРО, Петропавловск-Камчатский, Россия*

² *ВНИРО, Москва, Россия*

✉ *Kolomeytssev.v.v@kammiro.ru*

Ключевые слова: база данных, океанография, шельф, Охотское море, Западная Камчатка.

КамчатНИРО существует уже 90 лет и большую часть этого времени является ведущей организацией в области океанографических и биологических исследований в прибрежных водах Камчатского края. К настоящему времени в архиве института

накопилось множество уникальных данных, в связи с чем назрела необходимость в их систематизации. В последние десять лет в КамчатНИРО проводилась соответствующая работа, одним из главных достижений которой стало создание Базы данных по океанографии шельфа Западной Камчатки («БД ОШЗК», автор – В. В. Коломейцев).

БД ОШЗК (далее – БД) основана на следующих материалах. Во-первых, это фондовые данные КамчатНИРО на бумажных носителях за период времени с 1937 по 1990-е гг., которые были переведены в электронный вид. Во-вторых, данные на электронных носителях за последние 30 лет, для которых потребовалось лишь изменение формата. В-третьих, в БД включены материалы World Ocean Database (WOD, версия 2018 г.), которые находятся в свободном доступе (URL: <https://www.ncei.noaa.gov/products/world-ocean-database>). Соотношение долей архива КамчатНИРО и WOD в общем объеме БД составляет 85 и 15% соответственно.

БД содержит информацию по 23758 океанографическим станциям, выполненным в 581 научном рейсе с 1888 по 2020 г. Из них 20125 наблюдений (374 рейса) – это наблюдения КамчатНИРО (в том числе совместные с ТИНРО). Информация WOD в БД содержит материалы Гидрометслужбы, Академии наук, Гидрографической службы КТОФ, а также зарубежных (преимущественно японских) организаций.

Данные за каждый рейс или съемку, если их было несколько в одном рейсе, сохранялись в отдельный файл в текстовом формате. Затем они сводились в общую БД в программе Ocean Data View (URL: <https://odv.awi.de>). Учету подлежали все станции, на которых производились наблюдения хотя бы за одним гидрологическим параметром. Прежде всего это температура и соленость воды. Помимо результатов наблюдений и метаданных станций, в БД также вносилась информация об исполнителях и характере исследований.

Для всех данных была проведена машинная и ручная проверка. По возможности обнаруженные ошибки исправлялись. Например, время и координаты станций наблюдений корректировались по известной хронологии соответствующих

рейсов; проверялось соответствие глубины и координат станции, а гидрологические характеристики при обнаружении логических ошибок исправлялись по данным с соседних станций. Некоторая часть исходных данных была забракована.

По многолетним периодам общий объем БД распределяется следующим образом: 11% приходится на период до 1960 г., 53% относится к 1961–1990 гг. и 36% данных собрано в 1991–2020 гг. В отношении сезонности преобладают данные за апрель – сентябрь (с локальными пиками в апреле и июле – августе). Материалов за октябрь – март значительно меньше. Это обусловлено сезонным характером рыбохозяйственных исследований, к которым относится основная часть океанографических материалов. В пространственном отношении количество данных увеличивается в направлении берега. Кроме этого, хорошо выражены широтные разрезы вдоль всего побережья Западной Камчатки с шагом в 0,5 град.

К настоящему времени созданная БД готова к использованию. В ближайшее время на ее основе планируется исследование пространственно-временной динамики зоны смешения речных и морских вод на шельфе Западной Камчатки.

Благодарности. Авторы выражают искреннюю признательность всем наблюдателям, благодаря самоотверженному труду которых стало возможным существование БД, а также инициаторам создания World Ocean Database Project.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БУКСИРУЕМОЙ ВИДЕОПЛАТФОРМЫ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЙ ДОННЫХ СООБЩЕСТВ ОСНОВНОГО ПИКНОКЛИНА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ЧЕРНОГО МОРЯ

Г. А. Колючкина¹, Я. И. Белевитнев¹, В. Л. Семин¹,
У. В. Симакова¹, М. И. Симаков¹, В. А. Тимофеев²✉,
Н. В. Шабалин³

¹ ИО РАН, Москва, Россия

² ИнБЮМ, Севастополь, Россия

³ ЦМИ МГУ, Москва, РФ

✉ galka.sio@gmail.com

Ключевые слова: видеоплатформа, бентос, Черное море, глубоководные экосистемы, пространственная неоднородность.

Исследование бентоса стандартными пробоотборниками (дночерпателями, корерами, драгами) позволяет оценить состав инфауны, но имеет ряд ограничений. Так, дночерпатели не обеспечивают 100%-ной гарантии сохранности верхнего наиболее подвижного слоя грунта, массивные мульти-, бокс-, хапс-кореры хорошо сохраняют структуру грунта, но работа с ними с малых научно-исследовательских судов затруднительна, тралы и драги не позволяют получить количественные оценки. Кроме того, все эти пробоотборники не дают полноценного представления о том, как выглядят глубоководные сообщества и о пространственной неоднородности бентоса. Такие данные позволяют получать подводные телеуправляемые необитаемые подводные аппараты (ТНПА) осмотрового класса. Современные системы позволяют осуществлять съемку с высоким разрешением в реальном времени, но обычно отличаются высокой стоимостью, особенно на глубинах свыше 300 м.

Совместными усилиями ЦМИ МГУ и инженера-конструктора Я. И. Белевитнева (ИО РАН) была разработана новая буксируемая подводная видеосистема. Устройство предназначено для подводной видеосъемки донных ландшафтов на глубинах до 500 м, до этого на таких глубинах требовалось использование

ТНПА осмотрового класса, массовое применение которых в исследовательских и экологических работах невозможно из-за чрезвычайно высокой стоимости, строгих требований к судам-носителям и опыту пилотов ТНПА. Съемка в 4К 60 к/с, низкая стоимость и максимальная простота в работе в полевых условиях позволили получить высококачественные видеозаписи донных ландшафтов на глубинах до 150 м.

В ноябре 2021 г. выполнены тестовые съемки подводным видеомодулем (дополненным камерой GoPro9 и Портативным зондом-логгером, измеряющим и записывающим температуру ($\pm 0,1$ °C) и глубину ($\pm 1,62$ м, до 270 м), Star-Oddi DST centi-TD) на глубинах 80–160 м для изучения неоднородности грунта и бентоса на этих глубинах.

Была получена серия видеозаписей с этих глубин, в которые были интегрированы данные о времени съемки, глубине и температуре, полученные с помощью логгера.

На глубинах 150–160 м грунт представлял собой рыхлый пелит. Поверхность грунта была серой хлопьевидной и легко взмучивалась, подповерхностный слой и глубинный слой были черного цвета. Однако граница вода – дно была резкой и четкой. Отмечено придонное течение, не взмучивающее верхний слой грунта. Более сильное течение было на меньших глубинах. На глубинах 80–130 м поверхность грунта была неоднородной, представляя собой серию возвышенностей и ложбин (амплитуда примерно 10 см). В районе возвышенностей поверхность была охристого цвета, в ложбинах просвечивал черный грунт. Здесь были отмечены выходы скал (пласты), обвалы грунта, актиния на камне.

Видеоразрезы позволили сделать вывод об относительной однородности поверхности грунта на глубинах 150–160 м и неоднородности на меньших глубинах и дать рекомендации по будущему пробоотбору для бентосных исследований.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ и Минобрнауки Краснодарского края № 19-45-230012 и госзадания ФГБУН ФИЦ ИнБЮМ (г.р. № 121030100028-0).

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В ПРОЛИВЕ КАРСКИЕ ВОРОТА В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД ПО ДАННЫМ *IN SITU*

И. О. Копышов^{1,2}✉, И. Е. Козлов¹, Д. И. Фрей³,
К. П. Сильвестрова³, А. И. Корженовская⁴,
И. П. Медведев³, П. В. Гайский¹, А. А. Осадчиев^{2,3},
Н. Б. Степанова^{2,3}

¹ МГИ, Севастополь, Россия

² МФТИ, Долгопрудный, Россия

³ ИО РАН, Москва, Россия

⁴ МГУ, Москва, Россия

✉ kopyshov.io@phystech.edu

Ключевые слова: короткопериодные внутренние волны, сизигийный прилив, колебания термоклина, БПЛА, спутниковые данные, термопрофилемеры, пролив Карские Ворота, Северный Ледовитый океан.

В настоящей работе представлены результаты исследования вертикальных, пространственных и кинематических характеристик короткопериодных внутренних волн (КВВ) в проливе Карские Ворота по данным натурных измерений за 12 августа 2021 г., полученных в ходе 58-й экспедиции НИС «Академик Иоффе» в Карском море по программе «Плавучий университет ИО РАН». Измерения включали данные термопрофилемера, термокос, учащенные STD-зондирования, съемку с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) и оперативное обеспечение спутниковой информацией. Измерения проводились в сизигию, когда скорость приливных течений максимальна. Данные спутниковых измерений и БПЛА-съемки показали, что в проливе наблюдается система пакетов КВВ, распространяющихся вдоль пролива в южном и юго-западном направлениях. В ходе измерений было зарегистрировано 18 выраженных колебаний термоклина с диапазонами высот от 4 до 30 м и периодами от 2 до 30 мин, что подтверждает существование интенсивных внутренних волн в этом районе. Внутренние волны регистрировались в слое 15–50 м.

Измерения трех разнесенных в пространстве приборов позволили определить фазовую скорость и направление распространения наблюдаемых КВВ. Согласно измерениям, внутренние волны были направлены на юго-запад в сторону Баренцева моря и распространялись с фазовой скоростью около 0,4 м/с. Полученные значения фазовой скорости КВВ хорошо согласуются с теоретическими расчетами для нелинейных внутренних волн. Съемка с БПЛА подтвердила наличие пакетов КВВ в непосредственной близости от судна и направление их распространения.

Настоящая работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 21-17-00278 (анализ БПЛА- и судовых измерений для оценки вертикальной структуры и фазовой скорости внутренних волн), а также государственного задания по теме № FNNN-2021-0010 (анализ спутниковых данных для определения пространственно-временных характеристик внутренних волн в Карском море). Данные натурных измерений получены в экспедиции 58-го рейса НИС «Академик Иоффе» в рамках программы «Плавучий университет ИО РАН» при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, Московского физико-технического института и Института океанологии им. П.П. Ширшова.

СПЕКТРАЛЬНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ЯРКОСТИ И ЕГО ЦВЕТОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ПРОЗРАЧНОСТЬ В ВОДАХ ЧЕРНОГО МОРЯ В ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД

Е. Н. Корчёмкина , Е. В. Маньковская

МГИ, Севастополь, Россия
 *korchemkina@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: коэффициент яркости, глубина видимости белого диска, доминирующая длина волны, эффективная длина волны, чистота цвета.


В работе показана сравнительная изменчивость натурных данных коэффициента яркости и его цветовых характеристик за ана-

логичные весенние периоды апреля – мая 2019 и 2021 гг. Приведены статистические данные цветовых характеристик (доминирующая длина волны, эффективная длина волны, чистота цвета) и значимые корреляционные связи между ними и относительной прозрачностью по белому диску. Изучено пространственное распределение представленных характеристик. Вследствие различных предшествующих климатических условий формирование поля гидрооптических характеристик в 2021 г. происходило с задержкой относительно 2019 г. Из-за этого в одинаковый календарный период не удалось пронаблюдать сходных особенностей распределения коэффициента яркости. В 2019 г. наблюдалось типичное для весеннего периода распределение коэффициента яркости, тогда как в 2021 г. наблюдаемое распределение ближе к местной климатической зиме.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПОГРЕШНОСТИ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ В ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД В ЧЕРНОМ МОРЕ

Е. Н. Корчёмкина , А. О. Райкина

МГИ, Севастополь, Россия

 *korchemkina@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: коэффициент яркости, MODIS Aqua/Terra, Sentinel 3A/B, аэрозольная оптическая толщина, атмосферная коррекция.

Стандартный алгоритм атмосферной коррекции предполагает, что в длинноволновой части яркость излучения, выходящего из водной толщи, равна нулю (алгоритм черных пикселей). Это предположение справедливо только для оптически глубоких вод типа 1 с концентрацией хлорофилла $0,3 \text{ мг/м}^3$ или менее и не подходит для вод, содержащих более высокие концентрации хлорофилла или минеральных частиц, в частности вод Черного моря.

В настоящей работе сопоставлены данные дистанционного зондирования в оптическом диапазоне и данные экспедиционных измерений коэффициента яркости для дальнейшего усовершенствования стандартных методов обработки спутниковых измерений о цвете вод с учетом реальной аэрозольной оптической толщины.

Показано, что характеристики атмосферы (аэрозольная оптическая толщина, параметр Ангстрема) по данным спутниковых измерений завышены в 2–3 раза, что приводит к регулярному занижению значений спутникового коэффициента яркости особенно в коротковолновых каналах.

ВЛИЯНИЕ СИНОПТИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ БУЕВ БИО-АРГО И РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А. А. Кубряков ✉, **П. Н. Лишаев**, **Е. А. Кубрякова**,
А. И. Мизюк, **С. В. Свищев**

МГИ, Севастополь, Россия
✉ arskubr@ya.ru

Ключевые слова: синоптические вихри, Био-Арго, физико-биохимическое моделирование, концентрация хлорофилла *a*, фитопланктон.

Синоптические вихри могут значительно влиять на протекание различных биохимических процессов в морской среде, поскольку модулируют адвективные и турбулентные потоки биогенных веществ, условия освещенности в верхнем слое.

В настоящей работе на основе методов автоматической идентификации вихрей, использования большого массива данных буев Био-Арго, а также результатов численного биохимического моделирования NEMO + BFM исследовано влияние синоптических циклонов и антициклонов на биологические характеристики Черного моря. По данным Био-Арго исследованы особенности

вертикального распределения концентрации хлорофилла *a*, показателя обратного рассеяния и характеристик освещенности (ФАР) в вихрях различного знака, сезонный отклик этих характеристик на вихревую динамику.

На основе данных численного моделирования NEMO + BFM и процедуры трехмерной идентификации в вихрях исследованы особенности распределения основных биогенных элементов (нитратов, аммония, фосфора) в вихрях, а также влияние вихрей на изменчивость биомассы различных групп фитопланктона. Исследованы причины выраженных сезонных особенностей влияния вихрей на биохимические характеристики бассейна.

Идентификация и определение характеристик вихрей выполнено при поддержке гранта РФФ 21-77-10052, исследование влияния вихрей на характеристики фитопланктона выполнено при поддержке гранта РФФ 20-17-00167, численное моделирование выполнено при поддержке Госзадания FNNN-2021-0007.

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В ЛЕТНЕ-ОСЕННИЙ ПЕРИОД 2019 И 2020 ГОДОВ

А. В. Кузьмин ✉, И. Е. Козлов

МГИ, Севастополь, Россия

✉ *vlowcs@gmail.com*

Ключевые слова: короткопериодные внутренние волны, спутниковые радиолокационные изображения, приливные течения, море Лаптевых, пролив Вилькицкого, мыс Арктический, Новосибирские острова.

В данной работе представлен анализ результатов спутниковых радиолокационных наблюдений короткопериодных внутренних волн (КВВ) на акватории моря Лаптевых за период с июля по

октябрь 2019 и 2020 гг. Анализ 639 и 728 радиолокационных изображений (РЛИ) Sentinel-1 A/B за 2019 и 2020 гг. соответственно позволил определить основные районы генерации и распространения КВВ в море Лаптевых. Покрытие акватории моря РСА-съемкой достаточно неравномерно: значительная часть снимков охватывает центральную и западную части бассейна, меньший набор данных приходится на восточный район и прибрежные участки.

Большая часть проявлений КВВ зарегистрирована в конце летне-осеннего периода, что может быть связано как с более выраженной вертикальной стратификацией, так и большей площадью открытых ото льда областей. Показано, что наиболее интенсивная генерация КВВ в море Лаптевых происходит на бровке шельфа севернее Новосибирских островов и на выходе из Хатангского залива. Эти районы характеризуются интенсивными приливными течениями, максимальными для акватории моря значениями плотности баротропной приливной энергии и скорости ее диссипации.

В 2019 г. поверхностные проявления (ПП) КВВ регистрировались преимущественно на бровке шельфа северо-западнее и севернее Новосибирских островов, в проливах Вилькицкого, Шокальского и Благовещенском, а также над глубокой водой в юго-восточной части бассейна Амундсена. В 2020 г. КВВ наблюдались также вблизи устьев рек Анабар, Лена и Хатанга и к западу от острова Котельный.

Сопоставление карт распределения основных характеристик КВВ (длины фронта лидирующего гребня и ширины пакета) за летне-осенние периоды 2019–2020 гг. показывает небольшую межгодовую изменчивость значений этих характеристик.

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

РЕЖИМЫ ЦИРКУЛЯЦИИ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА ПО ДАННЫМ АЛЬТИМЕТРИИ

Е. Е. Лемешко

МГИ, Севастополь, Россия

✉ *e.lemeshko@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: Северный Ледовитый океан, альтиметрия, Арктическая осцилляция, режимы циркуляции океана.

Работа посвящена изучению циркуляции Северного Ледовитого океана (СЛО) с целью установления количественных закономерностей изменчивости уровня океана и поверхностных геострофических течений в зависимости от типов синоптических ситуаций в атмосфере. В качестве индексов, характеризующих крупномасштабную изменчивость арктической атмосферы, используются индексы Арктической осцилляции (АО) и Арктического Диполя (АД). Изменчивость уровня СЛО и геострофических течений анализируются по месячным данным альтиметрии с разрешением 20 км за период 2011–2020 г. с учетом данных спутника CryoSat-2, что позволило расширить область океана до 88° с. ш.

Установлено, что разница уровня моря между областями положительных и отрицательных значений аномалий уровня создает градиент давления, который вызывает поверхностные геострофические течения, что усиливает приток атлантических вод вдоль кромки шельфа в восточном направлении для циклонического режима и ослабляет приток для антициклонического режима. Рассчитаны коэффициенты линейной регрессии для уровня моря в зависимости от значений индекса АО. В среднем они составляют ~2 см в шельфовой зоне СЛО на единицу индекса АО.

Работа была выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-35-90061 «Аспиранты».

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРОГНОЗА ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ В ЧЕРНОМ МОРЕ

К. Н. Макаров

СГУ, Сочи, Россия
✉ *ktk99@mail.ru*

Ключевые слова: поля атмосферного давления, градиентный ветер, приземный ветер, трансформация волн в прибрежной зоне моря.

Одной из основных прогностических задач на морях, крупных озерах и водохранилищах является прогноз штормового волнения. Это необходимо для обеспечения безопасности мореплавания, гидротехнического строительства и прогноза самоочищения акватории от различных природных и антропогенных загрязнений. В связи с этим под руководством автора разработана автоматизированная система прогнозирования штормового волнения в Черном море.

Система позволяет решать следующие задачи:

- ввод исходной информации о поле существующего (текущего) и (или) прогнозируемого атмосферного давления в приземном слое атмосферы в виде статистической цифровой модели, то есть в виде поля точек с известными плановыми координатами и величиной давления;
- интерполяция статистических полей давления в узлы регулярной прямоугольной сетки (регуляризация данных);
- интерполяция из сеток текущего и прогнозируемого полей давления промежуточных полей давления с заданным временным шагом;
- расчет градиентного ветра;
- расчет полей ветра в приземном слое атмосферы (скорости и направления в узлах сетки) для всех имеющихся в текущем каталоге полей давления;

– расчет полей высот, периодов и направлений распространения волн на «глубокой» воде в исследуемой акватории (в узлах сетки) для всех имеющихся в активном каталоге полей ветра;

– расчет полей высот, периодов и направлений распространения волн в мелководной и прибойной зонах вплоть до их наката на берег;

– отображение исходных данных и результатов расчетов в виде текстовых файлов и графически;

– ведение архива (банка) данных о текущих, то есть уже скорректированных по данным наблюдений, полях атмосферного давления с определением индекса атмосферной циркуляции по Белинскому.

В процессе работы системы может быть выполнено графическое отображение следующей информации:

– построение батиметрической карты исследуемой акватории в изобатах;

– построение барических карт в изолиниях атмосферного давления в приземном слое (в изобарах);

– построение карт ветрового поля в векторной и цифровой формах на фоне барических карт;

– построение карт волнового поля на «глубокой» воде в векторно-цифровой форме на фоне барических карт;

– построение карт волнового поля в мелководной и прибойной зонах.

В рассматриваемой системе расчеты градиентного и приземного (приводного) ветра, элементов волн на глубокой воде и в прибрежной зоне моря выполняются в полном соответствии с российскими нормативными документами.

Система откалибрована для Черного моря по данным наблюдений за волнением на морских гидрометеорологических станциях, входящих в структуру сочинского Специализированного центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Черного и Азовского морей (Сочи, Туапсе, Геленджик, Новороссийск).

СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В МРАМОРНОМ МОРЕ

А. В. Медведева ✉, **С. В. Станичный**, **Н. В. Василенко**,
А. А. Алескерова, **А. А. Кубряков**, **Т. Я. Шульга**,
Л. В. Вержевская, **И. А. Свищева**, **В. А. Рубакина**,
Б. А. Новиков, **Т. В. Михайличенко**

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

Ключевые слова: Мраморное море, внутренние волны, плюм, стратификация вод, оптические изображения.

Для выявления и исследования характеристик внутренних волн в Мраморном море (период наблюдения – с 2018 по 2021 г.) были использованы спутниковые данные MSI Sentinel-2 L1 с пространственным разрешением 10 м. Дополнительно для оценки выраженности речных плюмов привлекались оптические данные среднего разрешения – MODIS/Aqua (250/500 м), MODIS/Terra (500 м), VIIRS/Suomi-NPP (375 м). Количество выпавших осадков было получено из данных модели MERRA-2. Изменения температуры поверхности моря регистрировались по данным модели MERRA-2, спутниковым данным MODIS/Aqua и по спутниковым данным TIRS/Landsat-8 (пространственное разрешение – 100 м).

На спутниковых изображениях, составленных из шести сцен, в отдельные дни выявляется до шести – семи и более пакетов внутренних волн. Картирование проявления внутренних волн обнаруживает сезонность в пространственном распределении районов генерации пакетов.

Первый период длится с января по март – апрель, и внутренние волны регистрируются преимущественно в плюме рек южного побережья Мраморного моря и вблизи от них. Примерно с декабря – января по март – апрель наблюдается увели-

чение интенсивности речного стока в связи с возрастанием количества осадков, выпадающих в пределах водосборного бассейна рек.

Второй период длится с мая по сентябрь, пакеты внутренних волн обнаруживаются практически во всех районах акватории с преобладанием в северо-восточной и центральной частях акватории, где наиболее выражено влияние Верхнебосфорского течения.

Третий период – с октября по декабрь – характеризуется практически полным отсутствием проявления внутренних волн.

Рассмотрены возможные причины такого характера проявления внутренних волн в годовом цикле с учетом особенности формирования и изменения стратификации вод Мраморного моря и специфики обмена с Черным морем.

Работа выполнена в рамках государственных заданий FNNN-2021-0003 и FNNN-2021-0006.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИКРОМОЧНОЙ ЛЕДОВОЙ ЗОНЫ И ПОЛЯ ВНУТРЕННИХ ВОЛН У АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ SENTINEL-1

Т. В. Михайличенко [✉], Л. А. Петренко, И. Е. Козлов

МГИ, Севастополь, Россия
[✉] *fsbsi.mhi.tamara@yandex.ru*

Ключевые слова: короткопериодные внутренние волны, спутниковые радиолокационные изображения, прикромочная ледовая зона, архипелаг Шпицберген, пролив Фрама.

В настоящее время сохраняется интерес к исследованию внутренних волн (ВВ) в арктических морях. Изучение короткопериодных внутренних волн (КВВ) имеет важное прикладное значение для обеспечения безопасности подводной навигации и передачи акустических сигналов.

Целью данной работы является определение ключевых районов генерации и основных пространственно-временных характеристик КВВ вблизи арх. Шпицберген и в прол. Фрама на основе анализа массива РСА-изображений спутника Sentinel-1 A/B и рассмотрение связи характеристик КВВ с границей поля дрейфующих льдов в теплый период 2019 г.

Представлены результаты наблюдений за кромкой поля дрейфующих льдов и поверхностными проявлениями КВВ по данным спутниковых радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) Sentinel-1 A/B в июне – сентябре 2019 г. Проанализировано 1200 изображений РСА, на которых фиксировалось положение границы распространения льдов и было зарегистрировано 387 поверхностных проявлений короткопериодных внутренних волн. В рассматриваемый период 2019 г. максимальное южное положение кромки поля дрейфующих льдов в проливе Фрама на 79° с. ш. зафиксировано 20 июня. Крайнего северного положения на 82° с. ш. граница льдов достигла 16 сентября. Сезонное уменьшение количества льда на рассматриваемой акватории происходило более интенсивно в юго-восточном секторе. Наибольшее количество поверхностных проявлений короткопериодных внутренних волн выявлено в августе – 162 пакета. Максимальные значения повторяемости короткопериодных внутренних волн за рассматриваемый период отмечались в шельфовой области к северо-западу и к югу от арх. Шпицберген. Внутренние волны наблюдались в виде пакетов из 4–5 волн. Максимальные значения длины фронта лидирующей волны составляли 30–40 км и наблюдались к югу от арх. Шпицберген. Преобладали короткопериодные внутренние волны с длинами фронта лидирующей волны 7–10 км. Наибольшая повторяемость отмечена у волн с шириной пакета 3–4 км. Представлены детальные карты повторяемости внутренних волн и пространственного распределения их основных параметров. Проанализирована связь изменчивости параметров внутренних волн с изменчивостью границы распространения льдов. Получено, что плотностные градиенты, возникающие при таянии льда на кромке ледового поля, оказывают влияние на генерацию и распространение короткопериодных внутренних волн.

Сочетание процесса таяния льда, приливных течений и влияния донной топографии приводит к генерации крупных пакетов короткопериодных внутренних волн.

ИЗУЧЕНИЕ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ ЦИКЛОНА С ПОМОЩЬЮ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

С. В. Михальцева

АНИИ, Санкт-Петербург, Россия
✉ *msv@aari.ru*

Ключевые слова: циклоническая деятельность, спутниковое изображение, приводный ветер.

Состояние климатической системы Арктического региона в значительной мере зависит от синоптических процессов, зарождающихся и развивающихся в Северной Атлантике. В докладе рассмотрена концепция атмосферного циркуляционного диполя по данным приводного ветра, полученным с искусственных спутников Земли OceanSat и QuickScat, материал дополнен картами барической топографии и спутниковыми изображениями в видимом диапазоне.

Была создана база данных скорости и направления приводного ветра по спутниковым данным с 2003 по 2013 г., проанализирована тонкая структура циклонов, обнаруженных над акваторией северной части Атлантического океана. Выделены области с наибольшими и наименьшими скоростями приводного ветра. База дополнена квазисинхронными спутниковыми снимками видимого диапазона со спектрорадиометра Aqua и Terra/MODIS и данными о распределении приземного давления.

Скорость и направление приводного ветра являются важнейшими гидрометеорологическими параметрами, необходимыми при выполнении работ на море. В Арктическом регионе приводный ветер вносит наибольший вклад в процесс дрейфа ледяного покрова, поэтому при понимании закономерностей распределе-

ния скоростей и направления ветра в циклоне, можно прогнозировать и оценивать такие характеристики ледяного покрова, как сплоченность, сжатие, торосистость, полыньи и другие характеристики нарушения сплошности ледяного покрова.

СУБМЕЗОМАСШТАБНЫЕ И МЕЗОМАСШТАБНЫЕ ВИХРИ В ПРОЛИВЕ ФРАМА

Е. А. Морозов , И. Е. Козлов

МГИ, Севастополь, Россия
 *frisman@list.ru*

Ключевые слова: вихри, пролив Фрама, хлорофилл *a*, ТПО.

В районе пролива Фрама идентифицировали 583 и 721 вихрь с использованием данных о температуре поверхности океана (ТПО) и концентрации хлорофилла *a* (Хл-а) соответственно, полученных по данным MODIS-Aqua за 2007, 2018–2020 гг. Были выявлены как мезомасштабные, так и субмезомасштабные вихри. Количество циклонических и антициклонических вихрей, идентифицированных по данным о ТПО, составило соответственно 354, 200, а по данным о Хл-а – 365, 272 соответственно. Средние радиусы вихрей, выявленных по данным о ТПО, составили 11,2 и 14,6 км для циклонов и антициклонов соответственно, а для вихрей, выявленных по данным о Хл-а, – 10,8 и 14,2 км соответственно. Средние значения соотношений длин осей для вихрей, выявленных по данным о ТПО, составили 0,759 и 0,750 км для циклонов и антициклонов соответственно, а для вихрей, выявленных по данным о Хл-а, – 0,774 и 0,778 соответственно. Были изучены положения обоих типов вихрей, выделенных по обоим типам данных. Исследование мезомасштабных и субмезомасштабных вихрей в проливе Фрама по данным о ТПО и Хл-а проведено впервые.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИДОННОГО КОНВЕКТИВНОГО СЛОЯ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ STD-ИЗМЕРЕНИЙ

А. Н. Морозов [✉], Е. В. Маньковская

МГИ, Севастополь, Россия

[✉] *anmorozov@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: придонный конвективный слой, потенциальная температура, соленость, потенциальная плотность, поток тепла, поток соли, коэффициент вертикальной турбулентной диффузии, Черное море.

В докладе представлены данные зонда SBE911+, полученные в экспедиции НИС «Профессор Водяницкий», проходившей 30 июня – 18 июля 2016 г. в центральном секторе северной части Черного моря. Выполнен анализ профилей потенциальной температуры, солености и потенциальной плотности, полученных на 20 станциях с глубиной зондирования более 1900 м.

Установлено, что положение верхней границы придонного конвективного слоя (ПКС) изменяется от 1713 до 1922 м и в среднем составляет 1800 м (с.к.о. 60 м). При переходе от западного круговорота к восточному прослеживается тенденция к поднятию верхней границы слоя на 150–200 м. На двух станциях слой не наблюдается до глубин более 1900 м, что может объясняться влиянием антициклонического вихря, выявленного в районе проведения измерений на карте температуры поверхности моря. Полученные данные указывают на то, что вихревые движения проникают в глубинные слои моря и проявляются в значительном заглублении верхней границы ПКС.

Диапазон вариаций потенциальной температуры в ПКС составил $1,6 \cdot 10^{-3}$ °С, солености – $1,2 \cdot 10^{-3}$ psu. Выявлено убывание потенциальной температуры и солености придонного однородного слоя с ростом долготы, а также убывание потенциальной температуры с увеличением толщины слоя. Более высокие значения температуры отмечаются в западном круговороте, в антициклоническом вихре и в окрестности свала глубин, где толщина слоя составляет менее 200 м.

Коэффициент вертикальной турбулентной диффузии в слое 80–150 м над верхней границей ПКС составил $1,1 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$. Значение близко фоновому значению коэффициента ($10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$), в параметризации PP81, получившей широкое применение в численном моделировании.

Расчетные значения вертикального потока тепла и соли на расстоянии 150 м над верхней границей ПКС составили $1,6 \text{ мВт}/\text{м}^2$ и $2,9 \cdot 10^{-7} \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ соответственно. Полученные величины говорят о том, что практически весь геотермальный поток тепла рассеивается в придонном слое, а соленость в ПКС изменяется медленно со скоростью около 10^{-3} psu за 30 лет.

Выводы данной работы подтверждают ряд предположений, сделанных ранее другими авторами на основе численного моделирования и данных контактных измерений.

Работа выполнена в рамках государственного задания по темам № 0555-2021-0003 и № 0555-2021-0005.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ 3D-МОДЕЛЕЙ ЗАТОПЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В КАРСКОМ МОРЕ С ПОМОЩЬЮ КАЛИБРОВКИ ВИДЕОКАМЕРЫ

В. О. Муравья, И. М. Анисимов, Н. А. Римский-Корсаков

ИО РАН, Москва, Россия

✉ *muravya.vo@ocean.ru*

Ключевые слова: фотограмметрия, Карское моря, подводная съемка, калибровка камеры, 3D-моделирование.

Для корректной работы с подводными изображениями необходимо улучшить качество получаемых снимков. Одна из основных проблем, которую необходимо решить перед началом построения 3D-моделей, – искажение изображения, приводящее к недостоверным размерам подводного исследуемого объекта. Поэтому перед началом обработки подводных изображений проводится калибровка с учетом оптических свойств фото- или видеокамер.

В данной работе были использованы снимки, полученные с буксируемого необитаемого подводного аппарата (БНПА) «Видеомодуль» при обследовании затопленных объектов, микрорельефа дна, донных животных и растений. Подводные камеры, установленные на БНПА «Видеомодуль», помещены в водонепроницаемые корпуса, рассчитанные на глубину 3000 м. Прежде чем достичь чувствительной области камеры, оптические лучи, отраженные от объекта, искажаются, когда они проходят границу трех сред вода – стекло – воздух. Преломление изменяет видимый размер и положение объектов. Этот эффект в сочетании с несовершенством системы корпуса приводит к нелинейному искажению изображения, которое необходимо компенсировать с помощью процесса калибровки.

Computer Vision Toolbox содержит калибровочные алгоритмы для модели камеры с точечной диафрагмой. Оценки внутренних и внешних параметров камеры в водной среде проводились с помощью программных средств среды MATLAB в приложении Stereo Camera Calibrator. В ходе калибровки камеры определяются следующие параметры: фокусное расстояние, принципиальная точка (центр пересечения оптической оси с плоскостью изображения), коэффициенты радиальной и тангенциальной дисторсии. Если калибровка не проводится специально, все эти параметры определяются в ходе фотограмметрического анализа последовательности изображений. Одновременно с внутренними параметрами камеры определяются и внешние параметры (перемещение, вращение и трехмерные координаты точек объекта съемки), что увеличивает количество неизвестных и ухудшает сходимость. При этом, если объектив обладает достаточно сильной дисторсией, результирующая 3D-модель может быть существенно искажена, так как определение коэффициентов дисторсии становится неточным. В случае подводной съемки, когда камера установлена в прочный корпус с плоским иллюминатором, появление дисторсии неизбежно из-за преломления оптических лучей. Поэтому для корректного применения методов фотограмметрии при анализе подводных изображений калибровка камеры необходима. В этом случае внутренние параметры камеры оказываются зафиксированными, а в ходе фотограмметрического анализа определяются непосредственно искомые параметры объекта съемки.

Работа выполнена в рамках государственного задания темы № FMWE-2021-0010.

ХАРАКТЕРИСТИКИ СУБМЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ ПО ДАННЫМ БЛИЗКИХ ПО ВРЕМЕНИ СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

О. Ю. Нижниковская ✉, А. Г. Зацепин

ИО РАН, Москва, Россия
✉ nizhnikovskaya.ou@ocean.ru

Ключевые слова: мониторинг, мезомасштабные вихри, спутниковые данные.

Новые возможности для исследования динамики вод Черного моря в области малых пространственных масштабов открывают данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Последовательные спутниковые изображения с высоким пространственно-временным разрешением и одновременным охватом всей исследуемой акватории позволяют проследить эволюцию обнаруженного элемента циркуляции вод при наличии контрастов в поле температуры поверхности моря (ТПМ), содержании взвеси, содержании хлорофилла, шероховатости поверхности или аномалии уровня. Кроме того, очень важна, ввиду ограниченности экспедиционного времени, возможность коррекции курса научно-исследовательского судна на выбранный при анализе оперативной спутниковой информации объект исследования (например, мезомасштабный вихрь или вихревой диполь).

В арсенале средств ДЗЗ поверхности Черного моря – спутниковые изображения ИК- и оптического диапазонов спектра, радиолокационные изображения (РЛИ) радаров с синтезированной апертурой (РСА) и данные спутниковой альтиметрии.

Богатую информацию о мезомасштабных и субмезомасштабных вихрях (СМВ) Черного моря дают поля ТМП по данным ИК-изображения и карты содержания хлорофилла и взвеси. Они позволили: получить синоптическую картину апвеллинга у северо-восточного побережья Черного моря и проследить ее динамику.

В настоящей работе излагаются результаты анализа последовательных спутниковых изображений северо-восточной части

Черного моря. Для оценки возможности использования имеющихся данных были отобраны квазисинхронные спутниковые изображения с разных спутников: данные, которые находятся в открытом доступе (такие как Landsat-6, -7; Sintel-1, -2), а также ряд радиолокационных изображений. Количество проанализированных изображений составило около 200 шт., на которых выявлены СМВ различного характера образования. К сожалению, из-за облачности информативных изображений мало, в том числе и данных съемок, близких по времени. В выбранном временном интервале с января 2017 по апрель 2022 г. это число составило всего лишь 26 снимков.

Анализ данных подтвердил, что есть возможность проследить динамику образования СМВ, их зарождения и распада в прибрежной зоне северо-восточной части Черного моря. На основе таких данных можно рассчитать диаметр вихря, его орбитальную скорость и скорость перемещения, а также оценить степень его влияния на перенос взвешенного вещества.

Исследование выполнено в рамках государственного задания по теме № 0128-2021-0002 «Механизмы формирования циркуляционных структур Мирового океана: ключевые процессы в пограничных слоях и их роль в динамике океана на основе экспедиционных исследований, численного и лабораторного моделирования».

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТНЫХ И ВНУТРЕННИХ ВОЛН В РАЙОНЕ РЕЧНОГО ПЛЮМА БЕЛЬБЕКА ПО ДАННЫМ ОПТИЧЕСКОЙ И ИНФРАКРАСНОЙ КАМЕРЫ БПЛА

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

МГИ, Севастополь, Россия

✉ *alsha996@yandex.ru*

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

В работе для определения характеристик ветрового волнения и скорости течений во время интенсивного стока реки Бельбек

использовался беспилотный летательный аппарат (БПЛА) типа DJI Enterprise 2 Dual с бортовой оптической и инфракрасной видео камерой.

Съемка в надир с БПЛА на высоте 150 м проводилась в июле 2021 г. в районе устья реки Бельбек, Черное море. Для восстановления скорости и направления течения речного плюма была выполнена пространственная коррекция и фрагментация кадров видеосъемки.

По результатам съемки выделяются три типа движений с различными пространственно-временными масштабами: ветровое волнение, внутренние волны и скорости потока впадающих речных вод. Речной поток выделяется только по данным инфракрасной камеры, с помощью которой регистрировался холодный, обильный после сильных осадков плюм реки Бельбек.

Для нахождения скоростей потока высокочастотные колебания были отфильтрованы и во фрагментах смежных кадров применялся алгоритм взаимной кросс-корреляции. По результатам анализа были выделены динамические вихревые структуры, образуемые в результате интенсивного речного стока, рассчитаны скорости в приустьевой и удаленной от берега зоне, достигающие 1 м/с.

На меньших временных масштабах в ИК- и оптическом диапазонах видны волны, вызываемые ветровым воздействием. На основе спектрального анализа определены пространственно-временные диаграммы поверхностных волн для нескольких районов, исследована их трансформация.

Кроме этого, по данным видеосъемки отчетливо выделялись круговые волны, распространяющиеся от устья плюма к его фронту. Эти явления, предположительно, были связаны с пульсацией речного стока и представляли собой внутренние волны. Данные видеосъемки БПЛА позволили определить скорость распространения этих волн и их пространственно-временные характеристики.


Таким образом, данные низковисотной съемки БПЛА, особенно в разных диапазонах, позволяют определять динамические характеристики водной массы с высоким разрешением и частотой. Данные БПЛА могут быть использованы как для отдельных расчетов, так и для моделирования вместе с измерениями *in situ*.

Предложенные методы могут быть использованы для исследования динамики прибрежной зоны на различных временных и пространственных масштабах.

Исследование динамических структур, образующихся при интенсивном стоке вблизи устья выполнено при поддержке гранта РФФ 21-77-10052. Разработка методов восстановления волн и течений выполнено при поддержке гос. задания FNNN-2021-0006.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ СТЕРИЧЕСКОГО УРОВНЯ ЧЕРНОГО МОРЯ С ПОМОЩЬЮ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

В. П. Новицкая , **Е. М. Лемешко**

МГИ, Севастополь, Россия
 *doronina.viktori@mail.ru*

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

Гравитационные изменения позволяют наблюдать и прогнозировать перераспределения массы Земли, связанные с климатической системой и передвижением общих запасов земных вод. Среднегодовое стерическое изменение уровня Черного моря рассчитывается на основе данных, полученных со стационарных гидрологических метеостанций, имеющих ограниченное пространственное разрешение.

Многолетние колебания стерического уровня Черного моря по данным гидрологического массива данных показывают, что самый низкий уровень моря выявляется в центральной части водной акватории (до 6 см ниже репера его западной части). По мере приближения к берегу стерический вклад в уровень Черного моря повышается, достигая максимума на юго-востоке со значением 6–7 единиц выше репера.

С помощью гравиметрических и альтиметрических данных произведены расчеты стерического уровня Черного моря за период 2003–2015 гг. Проведен сравнительный анализ полученных

данных стерического уровня, рассчитанных по спутниковым данным, с данными гидрометеостанций. Показана хорошая согласованность результатов вычислений по Черному морю, которое имеет свои региональные особенности.

Выявлен отрицательный тренд стерического уровня Черного моря, а также определено его количественное значение, составляющее $-0,75$ см/год за выбранный период.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЦИРКУЛЯЦИЙ ЛЕНГМЮРА В ПРИПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ МОРЯ

М. И. Павлов ✉, А. М. Чухарев, Д. А. Казаков, А. Г. Zubov,
О. И. Павленко

МГИ, Севастополь, Россия
✉ *mixail.pavlov.1993@mail.ru*


Ключевые слова: циркуляции Ленгмюра, вертикальный турбулентный обмен, приповерхностный слой, механизмы генерации турбулентности.

При исследовании турбулентного перемешивания важно учитывать все особенности механизмов генерации турбулентности. В последнее время достаточно много внимания уделяется циркуляциям Ленгмюра. Ученые отмечают, что когерентные структуры, возникающие под воздействием ветра и дрейфа Стокса, по масштабам и динамическим характеристикам должны ощутимо влиять на турбулентное перемешивание в приповерхностном слое. Достичь необходимую точность в параметризации циркуляций Ленгмюра достаточно трудно, так как на турбулентное перемешивание в приповерхностном слое влияет сразу несколько процессов. При исследовании динамики когерентных структур на океанографической платформе в Качивели были обнаружены интересные особенности: 1) осредненные вертикальные пульсации скорости течения имеют достаточно сильную связь с вертикальной скоростью течения, которая характеризует наличие зон

конвергенции и дивергенции в циркуляциях Ленгмюра; 2) на масштаб зон конвергенции и дивергенции влияет изменение направления ветра – при изменении направления на $1-5^\circ$ в течение 20 мин скорость смещения структур перпендикулярно ветру либо увеличивается незначительно, либо остается неизменной. При изменении направления ветра на $15-20^\circ$ скорость смещения значительно уменьшается. Учет этих особенностей поможет существенно улучшить параметризацию когерентных структур Ленгмюра, что позволит точнее рассчитывать распределение диссипации турбулентной энергии и определять коэффициент вертикального турбулентного обмена в приповерхностном слое моря.

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ АЛГОРИТМОВ АТМОСФЕРНОЙ КОРРЕКЦИИ ПРИ РАСЧЕТЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЯРКОСТИ МОРЯ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ АТМОСФЕРНЫХ УСЛОВИЙ

А. С. Папкина , Е. Б. Шибанов

МГИ, Севастополь, Россия
 *hanna.papkova@gmail.com*

Ключевые слова: атмосферная коррекция, Ocean Color, спектральная яркость моря, аэрозольная оптическая толщина, пылевой аэрозоль, AERONET, MODIS.

Одной из текущих проблем океанологии является задача валидации спутниковых и *in situ* данных о коэффициенте яркости моря, изучение влияния атмосферной составляющей на работу спутниковых алгоритмов OceanColor [Mueller et al., 2003]. В данной работе рассматривается совокупность влияния нескольких факторов: пылевого аэрозоля, дымки и границ облаков – на результаты расчета спектрального коэффициента яркости Черного моря по измерениям спутника MODIS/Aqua. Актуальность данной работы заключается в том, что некорректный учет атмосферных воздействий может исказить величины восстановленных значений $Rrs(\lambda)$ для вод Черного

моря и впоследствии привести к систематическим ошибкам в расчетах концентраций хлорофилла [Suetin et al., 2018]. Более чем 300 случаев переноса атмосферного аэрозоля сопровождались характерными изменениями оптических характеристик, таких как аэрозольная оптическая толщина (АОТ), распределение размеров частиц аэрозоля, параметр Ангстрема (АЕ), по данным черноморских станций AERONET. Стоит отметить, что для достоверного анализа данных была предложена модель дополнительной проверки достоверности натурных измерений AERONET [Zibordi et al., 2009].

В данной работе был предложен альтернативный математический анализ для оценки спектральных особенностей изменения R_{rs} при различных внешних условиях, а именно: метод главных компонент (РСА) для отобранных дат переносов с оценкой вклада первого и второго векторов. РСА учитывает не просто спектральный коэффициент яркости моря, а разницу натурального значения R_{rs} на длине волны λ (нм) и спутникового спектрального коэффициента яркости. По результатам РСА-анализа было найдено, что наибольшая разница между спутниковыми и натурными измерениями присутствует в случае пылевого аэрозоля, так как средняя разница коэффициента яркости максимальна. В меньшей степени влияет наличие дымки. Умеренная облачность не имеет существенного влияния на искажение спутниковых результатов. Для чистой атмосферы в среднем небольшие ошибки, но при аномальных условиях наблюдается явная систематика, а именно степенной закон более крутой для пыли и менее крутой для дымки. Поэтому спектральную зависимость ошибки атмосферной коррекции при изменении поглощающих свойств аэрозоля можно представить в виде

$$\delta(\lambda) \approx A(\lambda) \cdot [\rho_m(\lambda) - \rho_m(870)],$$

где $\rho_m(\lambda)$ – коэффициент яркости молекулярной атмосферы, спектральный закон которого близок к функции λ^{-4} ; $A(\lambda)$ – доля поглощенного света (зависит от АОТ). Спектральный ход первого вектора в случаях пыли или дымки демонстрирует тенденцию к увеличению в коротковолновой области с промежуточным локальным максимумом около 500 нм

и резким уменьшением значений в длинноволновой области спектра. Этот эффект объясняется тем, что методами дистанционного зондирования по алгоритмам Гордона и Ванга пылевой аэрозоль определяется по инфракрасному каналу, однако основное влияние аридный аэрозоль оказывает на соотношение аэрозольного и молекулярного компонента.

Работа проведена в рамках темы государственного задания Морского гидрофизического института РАН № 0827-2021-0002, № 0555-2021-0003.

ПРИМЕНЕНИЕ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ СТАМУХ В РАЙОНЕ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ (МОРЕ ЛАПТЕВЫХ)

Е. В. Платонова

ААНИИ, Санкт-Петербург, Россия
✉ *platonova@rshu.ru*

Ключевые слова: стамухи, дистанционное зондирование, спутниковый мониторинг, море Лаптевых, Арктика, Северный морской путь.

В условиях глобального потепления встает вопрос увеличения транспортной и техногенной нагрузок на территории арктических морей, в частности по маршруту СМП (Северный морской путь). Однако все виды хозяйственной деятельности, осуществляемые в Арктическом регионе, сопряжены с повышенными рисками. Своевременное обнаружение опасных ледяных образований (ОЛО) на арктическом шельфе позволяет избежать техногенных опасностей при проведении инженерных работ и судоходства. Освоение месторождений углеводородного сырья, прокладка подводных трубопроводов и кабелей связи требуют достоверных сведений о наличии и локализации стамух в регионе.

Шельф моря Лаптевых рассматривается в качестве первоочередного объекта для проведения работ по освоению углеводородных месторождений. Геологоразведочные исследования, проводимые ПАО «НК «Роснефть» в Хатангском заливе, подтвердили наличие высоких запасов углеводородов в этом районе [1]. Также море Лаптевых является зоной прохождения Северного морского транспортного коридора (СМТК). При этом льда здесь образуется больше, чем в трех других морях Северного Ледовитого океана – Восточно-Сибирском, Карском, Баренцевом [2], что требует более детального знания как ледового, так и гидрометеорологического режима моря.

Начиная с середины прошлого века основным источником информации о распределении стамух в арктических морях служили материалы ледовой авиационной разведки, когда фиксировалось их местоположение и в некоторых случаях геометрические параметры [1]. Существенный вклад в изучение стамух с помощью дистанционных методов внес Ю. А. Горбунов. Полученная информация составила основу для создания электронной базы данных о стамухах в шельфовой зоне Арктики.

Образование стамух напрямую связано с ледовым режимом морей. За последнее десятилетие количество образующегося льда в Арктике в зимний период существенно сократилось (площадь среднегодовых арктических льдов в Арктическом бассейне сократилась на 60%) [3], а в 2021 г. море Лаптевых впервые не замерзло, в результате чего изменились и параметры стамух. Поэтому в современных условиях меняющегося климата материалы ледовой авиационной разведки и спутниковой ледовой информации прошлого века могут использоваться лишь в качестве вспомогательной, опорной базы.

В настоящий момент для локального мониторинга ОЛО используют спутниковые наблюдения. Анализ некоммерческих данных ИСЗ различных спектральных диапазонов позволил существенно расширить имеющиеся представления о формировании стамух. Таким образом, на основе многолетних данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) возможно создание информационной базы по стамухам. Полученные сведения могут служить в качестве источника справочной

информации о локализации и межгодовых колебаниях стамух в исследуемом регионе и применяться для решения инженерных задач.

Список литературы

1. Ефимов Я. О., Корнишин К. А. Опыт использования временных полевых баз для проведения ледоисследовательских работ в Восточной Арктике // Материалы VIII Международного форума «Арктика: Настоящее и будущее», 05–07 декабря 2018, СПб.

2. Горбунов Ю. А., Лосев С. М., Дымент Л. Н. Стамухи арктических морей сибирского шельфа // Новости ЕСИМО. 2005. Вып. 22. URL: <http://esimo.ru/dataview> (дата обращения: 20.06.2022).

3. National Snow and Ice Data Center : [сайт]. URL: <https://nsidc.org/> (дата обращения: 20.07. 2022).

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛЯ ВЕТРА В ПРОЛИВЕ ФРАМА В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД 2007 ГОДА

А. Е. Погребной

МГИ, Севастополь, Россия

✉ pogrebok57@mail.ru

Ключевые слова: пролив Фрама, реанализ ERA-5, сезонная изменчивость, скорость ветра, температура поверхности моря, температура воздуха.

Циркуляция вод между Арктическим бассейном и Атлантическим океаном осуществляется в основном через пролив Фрама между Гренландией и о. Шпицберген шириной около 450 км. Это самый глубокий из всех арктических проливов. Его глубина более 2600 м, тогда как у остальных – 120÷160 м.

Интенсивность, географические особенности и временная изменчивость течений, характеристики вод и теплообмен океана с атмосферой в этом районе зависят от скорости ветра, температуры воздуха и атмосферного давления. Это влияние существенно возрастает, когда поверхность океана свободна ото льда. В этом случае в прикромочной зоне льда возможно формирование циклонических и антициклонических вихревых структур.

Спутниковые снимки высокого пространственного разрешения позволяют регистрировать характеристики этих вихрей, а также поверхностные проявления внутренних волн, а они, в свою очередь, зависят от гидрометеоусловий.

Целью анализа было исследование сезонной изменчивости полей ветра в проливе Фрама и прилегающих Гренландском и Норвежском морях между Гренландией, Исландией, Скандинавским полуостровом и островом Шпицберген ($75^{\circ} \text{ N} - 82^{\circ} \text{ N}$, $20^{\circ} \text{ W} - 30^{\circ} \text{ E}$) в теплый период 2007 г. (временной интервал май – октябрь).

Использовались глобальные массивы данных реанализа ERA5 с разрешением $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$. По этим данным были рассчитаны ежемесячные поля скорости ветра и его завихренности, атмосферного давления, температур воздуха и морской поверхности.

В мае арктические воздушные массы вдоль побережья Гренландии устремляются в Атлантику, способствуя усилению Восточно-Гренландского течения. К ним, обтекая с юга о. Шпицберген, присоединяется воздушный поток на севере Норвежского моря. Скорость северо-восточного ветра в проливе превышает 5 м/с.

В июне – июле со стороны Гренландии дует западный фоновый ветер. Область западнее пролива Фрама находится в зоне ветровой тени ледника Гренландии. Скорость ветра там не превышает 0,2 м/с. Взаимодействие этого ветра с северо-восточным ветром (около 4 м/с) из Норвежского моря приводит к формированию циклонического вихря у западной границы о. Шпицберген и антициклона к юго-востоку от Гренландии.

В августе – сентябре во всем районе преобладает северный ветер со скоростью около 4 м/с. В октябре этот ветер в проливе усиливается до 6–7 м/с. Навстречу ему вдоль Скандинавского полуострова дуют ветры из Атлантики, разгоняя теплое Северо-Атлантическое течение. Взаимодействие встречных ветров приводит к формированию в Норвежском море циклонического вихря.

Кроме прибрежных участков, завихренность поля ветра в теплый период 2007 г. не превышает $3 \cdot 10^{-6} \text{ Н/м}^3$. С мая по сентябрь в проливе и к западу от него знак завихренности антициклонический. К юго-западу от о. Шпицберген наблюдаются зоны с циклоническим характером завихренности, связанные с вихревыми

образованиями в исследуемом районе. В октябре наличие обширного циклонического вихря за счет взаимодействия западного ветра в Норвежском море и северо-восточного ветра из Арктики в Атлантический океан способствует циклонической завихренности практически во всем исследуемом регионе, кроме прибрежных областей к востоку от Гренландии и о. Шпицберген.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕЧЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ЗМПА «АКВАЛОГ» И ДОННОГО ADCP В ЧЕРНОМ МОРЕ

О. И. Подымов, А. Г. Островский

ИО РАН, Москва, Россия
✉ *huravela@yahoo.com*

Ключевые слова: Черное море, измерители течений, интеркалибрация, Аквалог, TRDI ADCP.

Измерения вертикального профиля течения в Черном море имеют большое значение для понимания динамики водных масс, в том числе адвекции холодной промежуточной водной массы, теплосодержание и кислородный запас которой являются важнейшими индикаторами многолетних изменений в Черном море. При анализе данных о черноморских течениях, полученных с помощью приборов, созданных разными компаниями и использующих разные принципы работы, неизбежно встает вопрос о сопоставимости данных измерений. Расхождения в измерениях могут приводить как к спорадическим, так и к систематическим ошибкам, особенно если данные, собранные разными приборами в разных районах моря, используются для получения некоторой общей картины.

Нами был проведен сравнительный анализ данных трех измерителей течения, установленных в 2015–2016 гг. на континентальном склоне Черного моря в районе Геленджика: двух заяко-

ренных мобильных профилирующих аппаратов «Аквалог» (далее – Аквалог): Аквалог-4 и Аквалог-6 – и донной станции с акустическим доплеровским профилографом течения TRDI Workhorse Sentinel ADCP (далее – ADCP). Аквалог-4 и ADCP были установлены на траверзе Геленджикской бухты в 1,34 км друг от друга, а Аквалог-6 был расположен примерно в 7,5 км к северо-западу от двух других приборов.

Аквалог-4 и ADCP проработали параллельно 262 дня – три установки в течение года с интервалами примерно в месяц – полтора. Аквалог-6 и ADCP проработали параллельно 122 дня – две установки, охватившие в основном позднесенний и зимний периоды. На протяжении почти месяца (начало января – начало февраля 2016 г.) все три прибора работали одновременно.

Диапазон измерений донного ADCP составлял 10–85 м, Аквалога-4 – 28–219 м, Аквалога-6 – 28–217 м. Частота измерений для этих приборов была соответственно 2–4 мин, 6 ч и 2 ч. При помощи разработанной программы вертикальные профили течений по данным Аквалогов были сопоставлены с данными ADCP по времени и глубине с отбрасыванием данных, выходящих за рамки измерения того или иного прибора. С учетом высокой частоты работы ADCP и того факта, что нужный участок профиля по данным Аквалога проходил за 3–5 мин, соответствие было довольно точным.

Как показал анализ, средняя разница в магнитуде скорости составила ~ 6,3 см/с. Если брать только верхние 50 м, чтобы избавиться от эффектов дна в области постановки ADCP (поскольку последний был установлен заметно ближе к поверхности, чем Аквалог), то разница в результатах измерений снижается до ~ 5,7 см/с, что вполне сопоставимо с погрешностью измерений (1–3 см/с) и в целом можно признать очень хорошим показателем.

Однако было обнаружено довольно заметное ($22\text{--}24^\circ$) расхождение в направлении течения у Аквалогов и ADCP. Данная величина снижалась в случае сильных течений до $12\text{--}14^\circ$ (т. е. когда оба сравниваемых прибора регистрировали течение со скоростью выше 30 см/с), но оставалась все равно значительной даже в тех случаях, когда рассматривался только верхний слой. Помимо воз-

возможного влияния морфологии дна и берега, одной из причин может являться металлическая пирамида, в которой был установлен на дно ADCP, и прикрепленные к ней грузы. Для показаний компаса в данных ADCP может требоваться дополнительная калибровка, учитывающая все нюансы установки.

Работа выполнена при поддержке гранта № 19-45-230012 р_а, предоставленного РФФИ и Министерством образования, науки и молодежной политики Краснодарского края.

ХАРАКТЕРИСТИКА УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ШТОРМОВЫХ СИТУАЦИЙ В РАЙОНЕ МОРСКОЙ СТАНЦИИ ПРИМОРСКО-АХТАРСК

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, Приморско-Ахтарск.

Изучение особенностей возникновения опасных штормовых ситуаций в районе морской гидрометеорологической станции Приморско-Ахтарск имеет актуальное значение. В среднем ежегодно в указанном районе наблюдается один экстремальный подъем или спад уровня моря.

Ярким примером опасных штормовых ситуаций в Приморско-Ахтарске является шторм от 24 сентября 2014 г. Ухудшение погодных условий привело к затоплению набережной, подтопленным оказался также хутор Садки.

21 марта 2018 г. нагонная волна затопила пляж в Приморско-Ахтарске. Возникновению штормовой ситуации способствовал сильный порывистый ветер, скорость которого достигала 25 м/с.

Оценка условий возникновения штормовых сгонов и нагонов в районе морской гидрометеорологической станции Приморско-

Ахтарск проведена на основе анализа срочных (четыре измерения в сутки) данных уровня моря за период 1991–2016 гг.

В рамках указанного временного интервала зафиксировано 12 опасных штормовых нагонов и 16 сгонов. Исследовались штормовые ситуации, когда наблюдалось наиболее существенное отклонение фактических значений уровня от установленных критических отметок.

Анализ условий возникновения штормовых ситуаций позволил сделать определенные выводы.

Штормовые нагоны возникают преимущественно при ветрах З, СЗ, ЗЮЗ, ЗСЗ направлений. Скорость ветра во время штормовых ситуаций может меняться с 7 до 25 м/с.

Штормовые сгоны провоцируют ветры В, ВЮВ, ВСВ, ЮВ направлений. Скорость ветра во время опасных ситуаций была от 6 до 15 м/с.

Штормовые нагоны наблюдались в феврале (3 ситуации), марте (1), мае (2), июне (1), сентябре (1), октябре (1), ноябре (1), декабре (2). Экстремальные сгоны происходили в январе (2), феврале (1), мае (1), октябре (2), ноябре (7), декабре (3).

В 60% случаев штормовым нагонам предшествуют ветры З и ЮЮЗ направлений. В 20% случаев дули ветры ЮЗ направления, в 15% – ЗЮЗ направления. ЗСЗ ветер наблюдался перед экстремальными подъемами уровня моря лишь в 5% случаев.

В 55% случаев перед штормовыми сгонами наблюдался ветер В направления. В 18% случаев дул ВСВ ветер. СВ, ВЮВ, ЮВ ветры отмечались в 17% случаев.

Выявленные в работе тенденции важны для эффективного краткосрочного прогнозирования штормовых нагонов и сгонов, своевременного проведения эвакуационных мероприятий, планирования берегозащитных мер, грамотного обоснования строительных работ.

СУТОЧНЫЙ ХОД ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ВОД И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПРОГРЕВ ГЛУБИННЫХ СЛОЕВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАСЧЕТА ОДНОМЕРНОЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РОМ

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

МГИ, Севастополь, Россия

✉ *valenru93@mail.ru*

Ключевые слова: Черное море, одномерная гидродинамическая модель РОМ, суточный ход температуры, прогрев, ВКС.

В настоящей работе для исследования влияния суточного хода температуры вод приповерхностного слоя Черного моря на прогрев глубинных слоев и глубину залегания ВКС использовались результаты расчета одномерной гидродинамической модели РОМ.

В работе с помощью модели РОМ был выполнен расчет временного хода температуры для горизонтов 0–410 м. Используется нерегулярная по вертикали сетка: $\Delta z = 0,5$ м от 0 до 50 м; $\Delta z = 2$ м от 50 до 150 м; $\Delta z = 20$ м от 150 до 410 м. Применяемая конечно-разностная схема обладает вторым порядком точности по времени и по пространству. Сезонная изменчивость атмосферных параметров задавалась по данным реанализа ERA-40 с временной дискретностью 6 ч. Поля атмосферных параметров были осреднены за 1971–2001 гг. по акватории центральной части бассейна. В качестве массива коротковолнового излучения был использован массив реанализа ERA5 с временной дискретностью 1 ч за 2009 г. в центральной точке бассейна Черного моря с координатами 34° в. д., 43° с. ш.

Получено, что результаты расчета хорошо воспроизводят как сезонные особенности хода температуры, прогрев вод, так и суточные колебания температуры (в верхних слоях). При этом максимальная амплитуда суточного хода на поверхности достигает $\sim 1,9$ °С, что сопоставимо с данными контактных

и спутниковых измерений, а также с результатами расчета модели NEMO.

Для того чтобы рассмотреть, как суточный ход температуры влияет на прогрев более глубоких слоев вод, было выполнено два расчета. В первом расчете в качестве массива данных коротковолновой радиации использовались данные реанализа ERA5 с временной дискретностью 1 ч, во втором расчете в качестве массива данных коротковолновой радиации использовались те же данные, сглаженные фильтром, – был оставлен только сезонный ход коротковолнового излучения. Далее была определена разность полученных температурных массивов.

Было определено, что в условиях, когда суточный ход не учитывается в расчетах, температура верхнего слоя вод плавно и равномерно увеличивается в течение всего периода прогрева, ВКС также плавно уменьшается. Более глубокие слои прогреваются медленнее. При учете влияния суточного хода в теплый период года более нагретые в ходе дневного прогрева воды в ночные и утренние часы в ходе ночной конвекции опускаются, что приводит к перераспределению тепла и прогреву более глубоких слоев вод. Ночная конвекция также способствует увеличению ВКС. Этот эффект наиболее важен в период весеннего прогрева, когда он вызывает значимые изменения термической стратификации. Определено также, что перемешивание, связанное с ночной конвекцией и способствующее увеличению ВКС и прогреву основного термоклина в теплый период года, способствует его более интенсивному остыванию в зимний период.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 19-35-90084 (расчет суточного хода температуры) и государственного задания № 0555-2021-0006 (исследование влияния суточных колебаний на глубину залегания ВКС).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ СКАНЕРА SEVIRI И ДАННЫХ КОНТАКТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ АПВЕЛЛИНГОВ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

В. А. Рубакина [✉], Ю. В. Симонова, С. В. Станичный

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

Ключевые слова: Черное море, апвеллинг, SEVIRI, температура поверхности моря, спутниковые данные, ЮБК.

Прибрежные зоны, к которым относится Южный берег Крыма (ЮБК), являются достаточно неустойчивой частью окружающей среды. Мониторинг состояния таких зон, в том числе термических процессов, различными методами важен для понимания и прогнозирования явлений, происходящих в данных районах. Известно, что акватория Южного берега Крыма в Черном море является одной из наиболее активных областей по частоте и продолжительности явления апвеллинга.

В настоящей работе впервые для исследования явления апвеллингов в прибрежной зоне ЮБК данные прибора на геостационарной орбите SEVIRI с временным разрешением 1 ч и пространственным разрешением 5 км сопоставлены с данными контактных береговых наблюдений, проводящихся на базе Черноморского гидрофизического подспутникового полигона Морского гидрофизического института РАН (ЧГПП МГИ) (пгт. Кацивели, Ялтинский район). Проведено сравнение массивов данных за 2013–2017 гг. Также исследована связь температуры поверхности моря (ТПМ) с полем ветра в изучаемом районе по данным контактных наблюдений и данных дистанционного зондирования Земли. Подробно рассмотрены данные термокосы, установленной на стационарной океанографической платформе в ЧГПП МГИ, за 2013 г.

В работе продемонстрирована потенциальная возможность использования данных SEVIRI для исследования ТПМ в при-

брежной зоне Черного моря. За рассматриваемый период по контактными данным выделено 26 случаев полного апвеллинга в теплое время года (май – октябрь): 2013 г. – 7 случаев, 2014 г. – 6 случаев, 2015 г. – 3 случая, 2016 г. – 5 случаев, 2017 г. – 5 случаев. Наибольшее количество апвеллингов наблюдалось в июне – 8 случаев за весь период; в августе не было ни одного случая. Данные SEVIRI также отображают видимые понижения ТПМ в эти периоды, хотя амплитуда температуры по спутниковым данным недостаточна для выделения событий понижения температуры как ситуации апвеллингов.

Сопоставление данных сканера с результатами береговых наблюдений показало преимущество контактных наблюдений перед методами дистанционных исследований: при общей достаточно неплохой согласованности сопоставляемых массивов, идентификация событий апвеллинга по спутниковым данным недостаточно точна и эффективна.

Установлено, что данные сканера не вполне точно идентифицируют явление апвеллинга в районе ЮБК, что связано с особенностями дистанционного зондирования прибрежных акваторий океанов и морей. Кроме того, многочисленные пропуски в данных SEVIRI, связанные, например, с наличием облачного покрова, не позволяют получать непрерывную информацию о ТПМ и, соответственно, в полном объеме идентифицировать апвеллинги в прибрежной зоне.

Оценка суточного хода ТПМ по данным сканера SEVIRI выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 19-35-90084 и государственного задания № 0555-2021-0006. Анализ данных контактных береговых наблюдений выполнен в рамках государственного задания по теме № 0555-2022-0005.

ГИДРОМЕТОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОНОМНОГО (БЕЗЭКИПАЖНОГО) СУДОВОЖДЕНИЯ В АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОМ РЕГИОНЕ

В. Г. Сенченко¹✉, **А. В. Григорьев**^{2,3}, **Вл. Вас. Фомин**²,
А. И. Кубряков⁵, **Н. А. Дианский**^{2,4,6}, **И. М. Кабатченко**^{2,3,7}

¹ ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова, Новороссийск, Россия

² ГОИИ, Москва, Россия

³ МФТИ, Долгопрудный, Россия

⁴ ИВМ РАН, Москва, Россия

⁵ МГИ, Севастополь, Россия

⁶ МГУ, Москва, Россия

⁷ РУТ (МИИТ), Москва, Россия

✉ victor.senchenko@mail.ru

Ключевые слова: Керченский пролив, Новороссийская бухта, численное моделирование, безэкипажное судовождение, гидрометобеспечение.

С быстрым развитием робототехники, современных коммуникационных технологий, компьютерных и навигационных технологий беспилотные морские подвижные объекты начинают постепенно использоваться для мониторинга морской среды, организации морского движения в узкой акватории и т. д.

В ГМУ им. адм. Ф. Ф. Ушакова разработана концепция беспилотной морской навигации, которая позволяет в высокой мере автоматизировать процесс управления движением судна в портовой акватории и на подходах к ней. Для обеспечения работы системы необходима высококачественная оперативная входная гидрометеорологическая информация. Важным требованием к предоставляемым данным является их малая дискретность по времени (не более 10 мин) и пространству (~ 100–200 м). Информация, удовлетворяющая указанным требованиям, может быть получена исключительно с использованием численных гидродинамических и волновых моделей высокого пространственного разрешения.

Для Черного и Азовского морей разработан целый ряд моделей циркуляции с высоким разрешением, позволяющих воспроизводить мезомасштабную и субмезомасштабную изменчивость

гидродинамических процессов в оперативном режиме, в том числе в прибрежных водах. Описание в рамках общекосмической модели изменчивости таких масштабов в какой-либо конкретной локальной области возможно, например, при использовании в моделях: а) сетки с переменным шагом и б) технологии так называемых вложенных сеток. В ФГБУ «ГОИН» функционируют две альтернативные системы оперативного анализа и краткосрочного прогноза морской циркуляции для Азово-Черноморского региона, реализующие оба подхода. Их описание и результаты применения приводятся в докладе.

Работа выполнена в рамках темы госзадания 0555-2021-0003 «Развитие методов оперативной океанологии на основе междисциплинарных исследований процессов формирования и эволюции морской среды и математического моделирования с привлечением данных дистанционных и контактных измерений», гранта РФФИ – проект № 18-05-80028 «Опасные явления», поддержке гранта РФФИ – проект № 18-45-920018 «р_а» и РНФ грант № 21-17-00191.

ГЛАВНЫЙ ТЕОРЕТИК КОСМОНАВТИКИ М. В. КЕЛДЫШ И ПЕРВЫЙ СПУТНИК – НАЧАЛО КОСМИЧЕСКОЙ ЭРЫ, ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА И ЦИФРОВОЙ ЦИВИЛИЗАЦИИ

Т. А. Сушкевич ✉

ИПМ РАН, Москва, Россия
✉ *tamaras@keldysh.ru*

Ключевые слова: Келдыш, 100 лет СССР, 65 лет ИСЗ, ДЗЗ из космоса, цифровая цивилизация.

Важнейшая юбилейная дата в 2022 г. – это 65-летие выведения в космос на околоземную эллиптическую орбиту первого в истории человечества искусственного спутника Земли 4 октября 1957 г. В сентябре 1967 г. Международная федерация астронавтики провозгласила 4 октября Днем начала космической эры человечества. На первом спутнике были

установлены два радиопередатчика – это была первая космическая радиолиния и первые сигналы из космоса с рукотворного космического аппарата (КА). А на втором спутнике, запущенном **3 ноября 1957 г.**, – первом научном и биологическом – размещалась научная и измерительная аппаратура и в отдельной герметичной кабине находилась собака Лайка. Впервые была реализована линия связи КА – Земля для передачи научной информации и дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и околоземного космоса, а также линия связи Земля – КА. Покорение космоса состоялось, и в год **100-летия** основания СССР важно напомнить, что это был ошеломляющий триумф, которому рукоплескал весь мир.

Важно помнить, что Главный Теоретик космонавтики М. В. Келдыш (10.02.1911–24.06.1978) и Главный Конструктор С. П. Королев (12.01.1907–14.01.1966) – **оба главные покорители космоса**. Постановление Совета Министров СССР от **13 мая 1946 г.** № 1017-419сс* «Вопросы реактивного вооружения» стало судьбоносным для формирования новой отрасли промышленности – ракетостроения, которое уже через десять лет сделало СССР родиной практической космонавтики. В Постановлении Совета Министров СССР от **30 января 1956 г.** № 149-88с* «О создании объекта "Д"» представлен «План разработки и изготовления объекта "Д", проведения научно-исследовательских работ и эскизной проработки по объекту "Д"», а также признана роль Академии наук СССР и лично М. В. Келдыша: «8. В целях наиболее полного использования возможностей объекта "Д" обязать Академию наук СССР (т.т. Несмеянова, Топчиева) организовать при Президиуме Академии наук СССР Комиссию по осуществлению научного руководства при создании объекта "Д" **во главе с академиком Келдышем** и с участием ведущих ученых». Заместителями были С. П. Королев и М. К. Тихонравов (16.07.1900–04.03.1974).

Из Постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О развитии исследований по космическому пространству» от **10 декабря 1959 г.** № 1388-618сс*: «Придавая важное значение делу дальнейшего освоения космического пространства

* Секретно особой важности – гриф снят.

и обеспечению ведущей роли нашей страны в этой области, Центральный Комитет КПСС и Совет Министров Союза ССР ПОСТАНОВЛЯЮТ: 4. Для научно-технического руководства работами по исследованию космического пространства организовать при Академии наук СССР постоянно действующий Межведомственный научно-технический совет по космическим исследованиям (МНТС по КИ). Утвердить Президиум Межведомственного научно-технического совета в составе тт. Келдыша М. В. (председатель), Королева С. П. (заместитель председателя), Благодирова А. А. (заместитель председателя), Бушуева К. Д. (заместитель председателя); членов совета тт. Седова Л. И., Глушко В. П., Рязанского М. С., Янгеля М. К., Тюлина Г. А., Соколова А. И., Федорова Е. К., Амбарцумяна В. А., Агальцова Ф. А., Лейпунского А. И., Пашкова Г. Н., Гришина Л. А., Шокина А. И». С 1959 по 1978 г. М.В. Келдыш – Председатель МНТС по КИ в статусе Министра СССР и принимал личное участие в подготовке и запусках космических кораблей, спутников и КА.

Еще в 1955 г., отвечая на вопрос «Зачем нужен космос?», М. В. Келдыш определил две главные задачи: разведка и наблюдение Земли. С 1946 г., после избрания академиком в возрасте 35 лет, М. В. Келдыш был главным математиком – лидером, отвечающим за прикладную математику, разработку ЭВМ и расчеты. Фактически в те годы были заложены фундаментальные основы современной цифровой цивилизации планетарного масштаба. Два математика – М. В. Келдыш из МГУ и Г. И. Марчук из ЛГУ (08.06.1925–24.03.2013) – и физик К. Я. Кондратьев из ЛГУ (14.06.1920–01.05.2006), получившие фундаментальное образование в лучших отечественных университетах, когда о космосе писали только мечтатели и К. Э. Циолковский (05.09.1857–19.09.1935), в кратчайшие сроки стали главными организаторами и руководителями научных и прикладных космических исследований и ДЗЗ из космоса.

В докладе речь идет о роли космических технологий и цифровизации в исследованиях океанов и морей, а также об отечественных достижениях ученых и Академии наук. Россия – морская держава, и не случайно среди первых членов Академии наук

с 1725 г. были специалисты «математик, астроном» или «географ, астроном», которые работали в интересах мореплавателей и морского флота.

ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ НА ПОЛИГОНЕ «ГЕЛЕНДЖИК» ИО РАН ПО АПРОБИРОВАНИЮ ТРЕХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПРИБРЕЖНОЙ ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОГРАФИИ

В. А. Телегин ✉, **А. Г. Зацепин**, **В. В. Коваленко**

ИО РАН, Москва, Россия

✉ *telvika@gmail.com*

Ключевые слова: Черное море, полигон «Геленджик» ИО РАН, гидрофизический эксперимент, прибрежная оперативная океанография.

В период с 15 по 25 июня 2022 г. ИО РАН при участии МГУ, ФГБУН ФИЦ МГИ, ГОИН и СПбГЭТУ «ЛЭТИ» организован и проведен гидрофизический эксперимент в Черном море на акватории полигона «Геленджик» ИО РАН. Цель эксперимента – апробирование трех составляющих системы прибрежной оперативной океанографии (ПОО), включающей в себя: а) натурные измерения (судовые гидрофизические съемки, автономные измерения с помощью заякоренных и дрейфующих станций); б) радиолокационные доплеровские измерения приповерхностной скорости течения и характеристик волнения; в) численное моделирование трехмерной структуры термохалинных полей, а также поля скорости течения на основе использования гидродинамических моделей. При проведении эксперимента активно использовалась спутниковая информация среднего и высокого разрешения.

В докладе представлены постановка и технология проведения эксперимента, его основные результаты и перспективы их дальнейшего использования, а также планы и задачи будущих работ по созданию опытного образца системы ПОО на Черном море.

Работа выполнена в рамках темы госзадания FMWE-2021-0002.

**ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ВОД
СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ
ЛЕТОМ И ОСЕНЬЮ 2019 ГОДА
ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ
НА НИС «ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ»**

А. В. Федирко ✉, **Ю. В. Артамонов**, **Е. А. Скрипалева**,
Р. О. Шаповалов, **С. А. Шутов**, **Д. В. Дерюшкин**

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

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

По данным гидрологических измерений, выполненных летом (11 июля – 05 августа) и осенью (04–23 октября) 2019 г. в ходе 108-го и 110-го рейсов НИС «Профессор Водяницкий» в северной части Черного моря, показано, что максимальные скорости Основного Черноморского течения (ОЧТ) достигали 55–60 см/с и наблюдались летом над свалом глубин у южных берегов Крыма и у берегов Кавказа в верхнем 10-метровом слое, осенью – юго-западнее Гераклеийского полуострова и южнее Керченского полуострова в подповерхностном слое 10–25 м.

Летом в западной, центральной и восточной частях полигона хорошо прослеживались три крупномасштабных циклонических меандра. Ближе к свалу глубин к юго-западу от Гераклеийского полуострова и над свалом глубин к югу от Феодосийского залива наблюдались антициклонические круговороты. Крупномасштабный антициклонический меандр ОЧТ прослеживался на траверзе участка Кавказского побережья между Геленджиком и Туапсе. Осенью у южной границы съемки четко прослеживались три циклонических меандра. Хорошо выраженные антициклонические меандры наблюдались юго-западнее Гераклеийского полуострова и южнее Керченского полуострова.

Температура на поверхности моря летом составляла 22–26 °С, осенью понижалась до 16–21 °С, что соответствует ее климатическому сезонному ходу. Распределение солёности на поверхности показало, что ее максимальные значения (выше 18,7‰ летом и 18,62‰ осенью) наблюдались в южной части полигонов в зонах крупномасштабных циклонических меандров ОЧТ. Пониженные значения солёности (ниже 18‰ летом и 18,37‰ осенью) прослеживались вдоль берегов Крыма и Кавказа.

Верхний квазиоднородный слой (ВКС) летом был развит относительно слабо, глубина залегания его нижней границы составляла 5–17 м, осенью толщина ВКС увеличивалась до 15–40 м, что соответствует климатической норме.

Глубина залегания ядра холодного промежуточного слоя (ХПС) изменялась от 30–45 м летом и 40–45 м осенью на юге полигона в области циклонических меандров до 75–85 м летом и 90–95 м осенью над материковым склоном у берегов Крыма и Кавказа в зонах антициклонических круговоротов. Значения температуры в ядре ХПС составляли 8,05–8,4 °С летом и повышались до 8,25–8,5 °С осенью.


Глубина залегания верхней границы сероводородной зоны по изопикне 16,2 усл. ед. по данным обеих съёмок изменялась от 90–95 м до 155–165 м. Максимальные значения этой характеристики прослеживались над свалом глубин в зонах антициклонических меандров и круговоротов, минимальные – у южной границы полигонов в зонах циклонических меандров.

В целом распределения гидрологических характеристик летом и осенью 2019 г. в период 108-го и 110-го рейса НИС «Профессор Водяницкий» не выходят за пределы климатических параметров, характерных для района исследований. Это свидетельствует о том, что динамические и гидрологические процессы находились в пределах естественной изменчивости.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ № 0555-2021-0004 «Океанологические процессы».

ОТОБРАЖЕНИЕ И ДИНАМИКА АПВЕЛЛИНГОВ В ЧЕРНОМ МОРЕ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Д. В. Хлебников , А. Ю. Иванов, С. К. Клименко,
М. И. Евдошенко

ИО РАН, Москва, Россия
 *dx@ocean.ru*

Ключевые слова: Черное море, апвеллинг, дистанционное зондирование, ИК-радиометрия, оптика, радиолокация, температура поверхности моря, хлорофилл.

С помощью данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) проведены исследования пяти случаев проявления апвеллинга в Черном море в 2018 и 2020 гг. в прибрежных зонах: Анапы – Новороссийска, Западного Крыма, Гендровской косы, Зонгулдак – Инеболу (Турция) и мыс Керемпепурну (Турция).

Для анализа использовались данные искусственного спутника Земли Sentinel-1 (радиолокация), Sentinel-2 (отраженное излучение) и Landsat-8 (температура поверхности моря ТПМ), а также карты ТПМ/хлорофилла спутников NOAA-15, NOAA-18, NOAA-19, Suomi NPP, MetOp-A/2 и MetOp-B/1, доступные на Морском портале МГИ РАН. Для верификации использовались данные о ТПМ и ветре (измерения и реанализ), находящиеся в открытом доступе.

Созданы и проанализированы временные ряды наблюдений, которые удобны для понимания динамики апвеллингов и уточнения механизмов их проявления в оптических и радиолокационных данных ДЗЗ. Среди механизмов отображения апвеллинга: «гидрологический», «атмосферный» и «биологический» [Гурова и Иванов, 2011], нами определены основными для Черного моря первые два. Решающим фактором модуляции (выглаживания) гравитационно-капиллярных волн является резкий контраст температур, что, во-первых, приводит к затруднению генерации ветровой ряби на холодной воде, а во-вторых, к трансформации атмосферного погранслоя над обширными холодными пятнами.

Биологический (пленочный) механизм, часто привлекаемый для интерпретации/объяснения сигнатур апвеллинга в данных ДЗЗ, не играет в Черном море столь существенной роли.

Работа выполнена в рамках госзадания, тема FMWE-2021-001.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВКЛАДА ПОВЕРХНОСТНОГО ВОЛНЕНИЯ В ТУРБУЛЕНТНЫЙ ОБМЕН

А. М. Чухарев ✉, **О. И. Ефремов**, **А. Г. Зубов**, **Д. А. Казаков**,
О. И. Павленко, **М. И. Павлов**

МГИ, Севастополь, Россия

✉ *alexchukh@mail.ru*

Ключевые слова: морская турбулентность, поверхностные волны, генерация турбулентности, натурные измерения, параметризация, диссипация.

Влияние поверхностного волнения на интенсивность взаимодействия атмосферы и океана является не до конца решенной проблемой, что препятствует построению точных моделей прогноза погоды и климата. Поверхностные волны являются важным механизмом генерации турбулентности и влияют на динамику приводного слоя атмосферы, тепло- и газообмен, формирование верхнего однородного слоя и проч. Использующиеся в настоящее время параметризации для расчета вклада волнения в вертикальный обмен недостаточно корректны и требуют уточнения. Взаимодействие волн и турбулентности является одним из малоизученных аспектов динамики приповерхностного слоя, и перенос волновой кинетической энергии турбулентными движениями может быть тем механизмом, учет которого улучшит модельные оценки влияния волн на вертикальный обмен.

В нашей работе проводится сопоставление различных моделей расчета влияния поверхностного волнения на турбулентность с экспериментальными оценками скорости диссипации турбулентной энергии в диапазоне глубин 0–10 м. Экспериментальные

данные собраны в натуральных условиях на океанографической платформе Черноморского гидрофизического подспутникового полигона Морского гидрофизического института РАН с помощью специализированной аппаратуры. Кроме измерения пульсационных величин скорости, температуры и электропроводности велись синхронные измерения основных гидрометеорологических параметров, что позволяет оценить влияние тех или иных физических процессов на интенсивность турбулентности на разных глубинах.

Сравнение экспериментальных данных с модельными расчетами показало, что интенсивность генерации турбулентности, обусловленной волнением, зависит от энергетических характеристик волнения, но при этом ее убывание с глубиной происходит быстрее, чем убывание энергии орбитального движения. Возможно, это связано с малоизученным влиянием вихревых волн на турбулентность, которые, являясь более медленными движениями по сравнению с орбитальными, могут вносить заметный вклад в турбулизацию приповерхностного слоя.

ОПИСАНИЕ ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ, ГЕНЕРИРУЕМЫХ ТРОПИЧЕСКИМИ ЦИКЛОНАМИ, С ПОМОЩЬЮ АВТОМОДЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ

М. В. Юровская^{1,2} ✉, **В. Н. Кудрявцев**^{1,2}

¹ МГИ, Севастополь, Россия

² РГГМУ, Санкт-Петербург, Россия

✉ mvkosnik@gmail.com

Ключевые слова: тропический циклон, автомоделное описание волн, поля волнения в ураганах, зыбь, альтиметрия.

Оценка полей волнения при экстремальных погодных явлениях представляет особую трудность для существующих моделей и систем наблюдения из-за небольших масштабов структур, таких как тропические (ТЦ) и полярные циклоны, и сложных полей ветра, изменяющихся в пространстве и времени.

В данной работе предлагается простой подход к оценке волновых полей, генерируемых ТЦ, основанный на наборе автомобильных функций, описывающих пространственное распределение длины, высоты и направления волн, а также характеристики излучаемой зыби, в произвольном циклоне с заданным радиусом, максимальной скоростью ветра, шириной профиля ветра и скоростью поступательного движения.

Процедура расчета включает в себя три основных этапа:

- 1) оценку характеристик ветрового волнения с использованием автомобильных матриц для получения пространственных распределений высоты, длины и направления ветровых волн относительно соответствующих значений в стационарном циклоне;
- 2) определение контура перехода ветрового волнения в режим зыби с использованием универсальной функции, полученной эмпирически на основе результатов численного моделирования;
- 3) оценку характеристик зыби с помощью аналитических функций с начальными параметрами, взятыми из полей ветрового волнения вдоль контура.

Суперпозиция ветровых волн и зыби дает описание параметров волн в условиях смешанного волнения. Для оценки референсных значений параметров волнения в стационарном циклоне (п. 1) также используются автомобильные функции, являющиеся аналогом классических законов развития волн от берега при постоянной скорости ветра.

Метод был протестирован на данных более 700 измерений альтиметров, пересекающих различные ТЦ в течение 2020–2022 гг. Для оценки профиля ветра, координат и поступательной скорости ТЦ использовались данные открытой базы Best Track Data. Результаты сравнения измеренных вдольтрековых высот волн со значениями, полученными с помощью автомобильных функций, продемонстрировали хорошее соответствие.

Предложенный метод обеспечивает достаточно надежную оценку пространственных распределений поверхностных волн в ТЦ при относительной простоте вычислений и может использоваться в качестве вспомогательного инструмента в различных научных и практических приложениях для улучшения понимания и прогнозирования генерации поверхностных волн ураганами.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 21-17-00236 и государственных заданий №0555-2021-0004 в МГИ РАН и № 0736-2020-0005 в РГГМУ.

ДОПЛЕРОВСКАЯ СКАТТЕРОМЕТРИЯ ПРИ СИЛЬНОМ ВЕТРЕ: НАТУРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ В КА-ДИАПАЗОНЕ

Ю. Ю. Юровский¹✉, В. Н. Кудрявцев^{1,2},
С. А. Гродский³, Б. Шапрон³

¹ МГИ, Севастополь, Россия

² РГГМУ, Санкт-Петербург, Россия

³ IFREMER, Plouzané, France

✉ yuyurovsky@gmail.com

Ключевые слова: ветровые волн, ураган, радиолокация, сечение обратного рассеяния, доплеровский сдвиг.

Оценка приводной скорости ветра по спутниковым скаттерометрическим наблюдениям возможна благодаря зависимости радиолокационного сечения рассеяния морской поверхности от ветровых напряжений, формирующих шероховатость моря. Данная зависимость имеет сложный нелинейный характер и уже при скорости ветра более 20–25 м/с входит в насыщение, что делает невозможным, например, детальное наблюдение областей тропических циклонов и ураганов. В отличие от «классических» скаттерометров, измеряющих сечение рассеяния в разных направлениях, разрабатываемые в последнее время доплеровские скаттерометры опираются главным образом на сбор и анализ доплеровского сдвига рассеянного сигнала, поведение которого при ураганных ветрах пока не задокументировано и в целом неизвестно.

В данной работе приводятся результаты натуральных доплеровских скаттерометрических наблюдений, которые удалось провести с океанографической платформы Черноморского гидрофизического подспутникового полигона Морского гидрофизического

института РАН во время сильного кататического ветра (черноморская бора), скорость которого достигала 33 м/с. Следует отметить, что измерения выполнены в Ка-диапазоне (длина волны 8 мм), использование которого для доплеровских измерений, с одной стороны, наиболее предпочтительно в силу возможности минимизации ошибок измерений, но, с другой стороны, наименее изучено. Наблюдения при углах падения 20 и 45 градусов велись в течение около 10 ч при различных азимутах визирования. Во время действия ветра визуально наблюдались регулярные срывы брызговых облаков с гребней обрушивающихся волн, которые так же регулярно попадали в зону обзора скаттерометра, действуя на сигнал как объемный рассеиватель.

Совместный анализ сечения рассеяния и доплеровских сдвигов показал, что в условиях существования приводного слоя брызг в доплеровском спектре наблюдаются соответствующие сигнатуры – высокочастотные «хвосты», уровень которых пропорционален скорости ветра. Вместе с тем интегральный вклад таких сигнатур довольно слаб, чтобы оказывать заметное влияние на средние характеристики сигнала. Этим объясняется близкое соответствие полученных данных опубликованным измерениям в более длинноволновых диапазонах (С-Х-Ку). Тем не менее характер поведения резонансной составляющей Ка-диапазона существенно отличается, указывая на более быстрое насыщение более коротких волн, формирующих шероховатость.

Доплеровские сдвиги находятся в соответствии с моделью центра тяжести спектра, разработанной ранее. Это свидетельствует о том, что наблюдаемые доплеровские скорости определяются главным образом скоростью течения и волновой составляющей, возникающей из-за корреляции между орбитальными скоростями волн и локальным сечением рассеяния. Таким образом, восстановление скорости течения по доплеровским скаттерометрическим измерениям возможно и при сильных ветрах (до 33 м/с) обычными методами, разработанными для умеренных ветров, при условии, что характеристики волнения определены из других измерений.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда 21-17-00236. Экспериментальные данные получены в рамках Госзадания ФГБУН ФИЦ МГИ 0555-2021-0004.

СЕКЦИЯ 3

ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОГО ОСВОЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ МОРСКОЙ СРЕДЫ

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ КАРБОНАТНОЙ СИСТЕМЫ В РОССИЙСКОМ СЕКТОРЕ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА В 2021 ГОДУ

Н. К. Алексеева^{1, 2}✉, И. А. Гангнус³, Н. А. Лис¹,
А. В. Весман¹, Е. Н. Литина⁴, А. Е. Новихин¹

¹ АНИИ, Санкт-Петербург, Россия

² СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

³ МГУ, Москва, Россия

⁴ ГОИН, Санкт-Петербург, Россия

✉ nkalekseeva@aari.ru

Ключевые слова: NABOS-2021, карбонатная система, Арктические моря, общая щелочность, рН.

Общая щелочность и рН являются базовыми компонентами для расчета морской карбонатной системы, которая регулирует скорости и биогеохимические процессы морской экосистемы: обмен углекислым газом между океаном и атмосферой; изменение кислотно-щелочного равновесия в морской среде, сопровождающееся изменением рН; перенос и накопление неорганического углерода в более глубоких слоях моря.

По данным экспедиционных исследований в российско-американской экспедиции NABOS-2021 проанализированы распределения общей щелочности и рН в восточной части Северного

Ледовитого океана в Евразийском суббассейне и котловине Макарова, в северных частях моря Лаптевых и Восточно-Сибирском море.

Для всей исследуемой акватории вертикальное распределение общей щелочности характеризуется незначительной изменчивостью с диапазоном изменений 1,86–2,44 ммоль/л. В среднем величина общей щелочности составляла 2,2 ммоль/л, что характерно для открытой морской акватории Мирового океана, где концентрации общей щелочности находятся в пределах 2,02–2,5 ммоль/л. Величины рН изменялись в диапазоне от 6,68 до 8,87, среднее значение рН составило 7,79.

Величина щелочного коэффициента находилась в узком диапазоне 0,056–0,075, в среднем равна 0,068, что соответствует довольно однообразному распределению общей щелочности во всей водной толще и объясняется несущественным влиянием материкового стока в исследуемом районе.

ОБРАЗОВАНИЕ ЛАГУННО-ТРАНСГРЕССИВНЫХ ТЕРРАС НА БЕРЕГАХ МИРОВОГО ОКЕАНА

Е. Н. Бадюкова

МГУ, Москва, Россия
✉ *badyukova@yandex.ru*

Ключевые слова: колебания уровня моря, береговая зона, литология, палеогеография.

Детальные исследования на побережье Дагестана в конце XX в., когда уровень Каспия поднялся более чем на 2 м, показали, что развитие берега при трансгрессии зависит от сочетаний уклонов прибрежной затапливаемой равнины и подводного берегового склона при выработанном профиле равновесия. На низменной суше (регрессивной аккумулятивной террасе или дельтовой равнине) за береговым валом образуется лагуна – результат затопления и подтопления грунтовыми и морскими во-

дами. Процесс «наползания» вала на лагуну вызывает субгоризонтальное фациальное замещение лагунных суглинков прибрежными пляжевыми песками.

При определенных морфологических и гидрологических условиях в рассматриваемой системе песчано-ракушечный материал бара «сваливается» в лагуну, перекрывая ее отложения. Таким образом, в трансгрессивной системе одновременно создаются два элемента берегового рельефа – береговой вал и лагуна, генетически неразрывно связанные между собой и образующие единую трансгрессивную систему. При этом, несмотря на отступление и активный размыв подводного берегового склона, берег сохраняет аккумулятивный облик. Так, во время подъема в конце XX в. уровня Каспия на 2,5 м урез на одном из лагунных участков побережья Дагестана отступил почти на 700 м, берег при этом сохранил аккумулятивный облик. Величина отступления зависела от скорости подъема Каспия. Движение бара часто приводит к выходу как отложений регрессивной террасы, так и лагунных отложений на подводном склоне. Такая ситуация наблюдалась нами на дагестанском побережье, где корни тростника, выросшего в лагуне, обнажились у уреза на подводном склоне. Через некоторое время при выработке прибрежного профиля равновесия они были уничтожены волнами.

Лагунные осадки залегают со стратиграфическим несогласием на отложениях разного возраста и генезиса. Чаще всего это могут быть морские отложения предыдущей регрессивной фазы бассейна, образующие низкую террасу, или более древние морские отложения, а также дельтовые или субаэральные осадки плейстоценового возраста. Перекрываются они также с резким контактом песчано-ракушечными пляжевыми наносами береговых баров, соответствующими тому же, что и лагунные суглинки, трансгрессивному этапу. Такой парагенез отложений необходимо учитывать при интерпретации геологических материалов и при палеогеографических построениях.

На побережьях, где уровень моря ранее превышал современный (например, на Каспии или на берегах, испытывающих изостатическое поднятие), осушились обширные лагуны. При унаследованном развитии береговых процессов многократные колебания уровня моря могут привести к такой ситуации, когда приморская

равнина будет представлять собой серию последовательно приращенных друг к другу террас, которые мы выделили в особый тип террас – лагунно-трансгрессивных. Такого рода террасы свойственны многим побережьям Мирового океана.

Таким образом, в береговой зоне нельзя коррелировать отложения, вскрытые в обнажениях и скважинах, расположенных вкрест простирания древних береговых линий, так как в этом случае есть большая вероятность ошибочно принять за единую толщу отложения разных серий лагунно-трансгрессивных террас, сформировавшихся во время самостоятельных трансгрессий на различных гипсометрических отметках.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 20-05-00608.

ФОРМИРОВАНИЕ БАРЬЕРНО-ЛАГУННЫХ СИСТЕМ НА ФОНЕ ПОДЪЕМА УРОВНЯ МОРЯ

Е. Н. Бадюкова

МГУ, Москва, Россия
✉ *badyukova@yandex.ru*

Ключевые слова: береговые бары, лагуны, трансгрессия.

Повышение уровня Мирового океана привело к возросшему вниманию к проблеме развития берегов в условиях трансгрессии. События на Каспии в конце XX в., когда уровень моря поднялся почти на 2,5 м за 18 лет, позволили непосредственно в природе наблюдать влияние быстрой трансгрессии (в ряде случаев катастрофическое) на развитие различных типов его берегов и проследить реакцию береговой зоны. Полученный большой фактический материал позволил принять выявленную реакцию береговой зоны и формирование барьерно-лагунных систем за модель трансгрессивной перестройки берегов и, более того, распространить ее на другие побережья Мирового океана.

На абразионных берегах подъем уровня моря привел к активизации абразии, на аккумулятивных же берегах произошла существенная перестройка, не укладывающаяся в привычную схему, согласно которой повышение уровня моря приводит к размыву пляжа и переотложению продуктов размыва в нижней части подводного склона. Все аккумулятивные берега, приуроченные к низменным прибрежным равнинам, преобразовались в лагунные с береговым баром. Последний по мере подъема уровня моря наращивался вверх и одновременно перемещался в глубь суши, наползая на лагуну. Такой механизм образования лагунных берегов благодаря формированию бара из серии надводных береговых валов ранее рассматривался как один из возможных вариантов. Однако данные, полученные нами по Каспию, Южной и Юго-Восточной Балтике, а также многими исследователями по берегам Мирового океана, позволяют утверждать, что это основной вариант формирования барьерно-лагунных систем. Исключения представляют лагуны, которые отгорожены косами. Последние, как правило, формируются на берегах, не подверженных активной гидродинамике.

Важно отметить, что образование барьерно-лагунных систем возможно лишь на тех участках, где первичные уклоны прибрежной затапливаемой равнины меньше, чем уклоны подводного берегового склона. При этом на подводном склоне может часто наблюдаться дефицит наносов, что не мешает образованию баров, так как при подъеме уровня моря происходит переработка собственно края прибрежной равнины, сложенной рыхлыми материалами. По мере подъема уровня моря лагуна углубляется, и в результате наступает такой момент, когда при перемещении в сторону суши бар буквально «сваливается» в лагуну и урез моря скачкообразно перемещается вглубь, на берег лагуны. Береговой бар оказывается захороненным на месте, фиксируя на подводном склоне бывшую береговую линию. В настоящее время многие протяженные бары, в частности вдоль восточного побережья Северной Америки, во время штормов были прорваны и в результате превратились в цепочку барьерных островов, часть из которых уже переместилась в лагуну.

Буровыми скважинами в лагунах многих побережий Мирового океана вскрываются лагунные фации, залегающие на аллювиальных, флювиогляциальных или субаэральных отложениях плейстоценового возраста. Согласно полученному обширному фактическому материалу по различным прибрежным районам, образование лагун происходит не на месте бывших морских заливов, а на участках прибрежной низменной равнины.

Такой механизм является единственным, бары не образуются на дне и не выходят на поверхность, отгораживая морские акватории. При своем продвижении они часто примыкают с двух сторон к высоким и выступающим участкам лагунного побережья, отчленяя таким образом акватории, в результате происходит образование отгороженных пересыпями заливов. С течением времени береговая линия приобретает вогнутую форму равновесной дуги.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 20-05-00608.

ИЗВЛЕЧЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ ИЗ МОРСКОЙ ВОДЫ

Н. А. Бежин^{1,2}✉, **О. Н. Козловская**¹, **Е. В. Слизченко**¹,
Ю. Г. Шибецкая^{1,2}, **И. И. Довгий**¹

¹ МГИ, Севастополь, Россия

² СевГУ, Севастополь, Россия

✉ nickbezhin@yandex.ru

Ключевые слова: сорбция, сорбенты, космогенные радионуклиды, природные радионуклиды, техногенные радионуклиды.

Радиоактивные изотопы находят широкое применение для изучения процессов в океане, в том числе вертикального массопереноса в поверхностном слое, определения потоков углерода, датировки осадков и т. д. Для их извлечения разработано множество методов, требующих отбора проб больших объемов. Это обусловлено сложностью морской воды как объекта и низкими

активностями радионуклидов в морской воде. Поэтому разработка эффективных методов извлечения радионуклидов из морской воды является актуальной задачей.

В работе проведены исследования различных сорбентов для концентрирования ряда радионуклидов (космогенных – ^7Be , ^{32}P , ^{33}P , природных – изотопы Ra и Th, техногенных – ^{137}Cs , ^{90}Sr) из морской воды, включая определение коэффициентов распределения, ДОО и ПДОО, построение выходных кривых и изотермы сорбции, проведение кинетических исследований, выбор наиболее эффективных сорбентов и параметров процесса извлечения, а также изучение распределения радионуклидов в поверхностном слое Черного моря.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 19-33-60007 (конкурс «Перспектива»), государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема «Океанологические процессы» № 0555-2022-0004), Севастопольского государственного университета в рамках проекта 42-01-09/169/2021-7.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОДНО-ГАЛЕЧНОЙ СМЕСИ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ ПОРТОВЫХ ОГРАДИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Э. К. Бирюкбаев ✉, **Е. Е. Юрченко**, **К. Н. Макаров**

СГУ, Сочи, Россия
✉ wsonormalno@yandex.ru

Ключевые слова: галечная бомбардировка, сваи мола, эрозия металла, глубина борозды.

Рассмотрено воздействие водно-галечниковой смеси на металлические свайные конструкции ограждений Юго-Западного мола грузового морского порта Сочи в устье р. Мзымта. Юго-Западный мол, подвергаясь ударным волновым воздействиям, защищает портовую акваторию от волнения.

Конструкция мола – это трехрядная эстакада с задней трубошпунтовой стенкой. Сквозность первого ряда свай диаметром 1020 мм составляет 0,39, второго ряда диаметром 1220 мм – 0,19. Верхнее строение представляет собой балочно-ригельную систему со сборными железобетонными плитами и волноотбойной стенкой. Со стороны внутренней акватории (за задней трубошпунтовой стенкой) устроена упорная призма из камня с защитным покрытием откоса гексабитами. Дно в пространстве между сваями и со стороны внешней акватории крепится габионами и крупным камнем (бетонными блоками).

Во время сильных штормов затапливается набережная, при этом ежегодные эксплуатационные отсыпки не производятся, материал из устьевого бара р. Мзымты для этих отсыпок не изымается. Заносимость оградительного мола продолжается вместе с галечной бомбардировкой его свайного основания во время штормов. К 2021 г. пляж продвинулся на юг примерно на 50–70 м в надводной части. При этом вдольбереговой поток наносов формировал подводную отмель в пространстве между сваями практически до конца I участка оградительного мола.

Емкость среднемноголетнего вдольберегового потока наносов на участке берегоукрепления к востоку от порта составляет 2,1–2,9 тыс. м³/год, на III участке мола (головная часть) емкость потока наносов составляет 5,1–5,7 тыс. м³/год, на II и I участках – 6,1–6,4 тыс. м³/год. На участке берегоукрепления вертикального типа емкость вдольберегового потока наносов оценивается величиной 17,1 тыс. м³/год. Наибольшее перемещение галечного материала происходит в штормах от ЗЮЗ и З направлений. В этих штормах повторяемостью один раз за 50 лет емкость вдольберегового потока наносов составляет соответственно 8,5 и 12,9 тыс. м³/сут, поток направлен на восток.

На основе математического моделирования разработана методика расчета глубины борозды эрозии и потерь металла при галечной бомбардировке свай различного диаметра при штормах различной интенсивности и продолжительности. Скорость движения гальки при ударе о сваю получена с использованием программы SolidWorks.

Получены следующие результаты:

– чем крупнее галька, тем глубже борозды, которые она пробивает на сваях. Глубина борозд при высоте волны 3,0 м и диаметре гальки 5–20 мм составляет 0,023–0,092 мм;

– чем крупнее галька, тем меньше масса металла, теряемого сваей за время шторма. Потери металла каждой сваей диаметром 1020 мм при диаметре гальки 5–20 мм составляют в среднем за шторм от 0,374 до 0,022 кг при высоте волны 3,0 м. Указанная зависимость объясняется снижением количества ударов гальки при увеличении ее диаметра;

– значения, полученные с использованием программы SolidWorks, систематически больше вычисленных аналитически. Расхождение не превышает 20%.

Наличие воздействия водно-галечной смеси на металлические конструкции оградительного мола порта Имеретинского приводит к ускоренному их износу. Необходимо принять меры для ликвидации такого воздействия.

ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ВОД В РАЙОНЕ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО СКЛОНА МОРЕЙ ЛАПТЕВЫХ И ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО В 2021 ГОДУ

Е. В. Блошкина ¹✉, И. А. Гангнус ², Н. А. Куссе-Тюз ¹,
И. В. Поляков ³, А. Д. Тарасенко ¹, Н. К. Алексеева ^{1,4}

¹ ААНИИ, Санкт-Петербург, Россия

² МГУ, Москва, Россия

³ IARC, University of Alaska Fairbanks, Fairbanks, USA

⁴ СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

✉ bloshkinaev@mail.ru

Ключевые слова: море Лаптевых, Восточно-Сибирское море, Арктический бассейн, атлантические воды, тихоокеанские воды.

В рамках российско-американской экспедиции NABOS-2021, состоявшейся в сентябре – октябре 2021 г., в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском и прилегающих частях глубоководной

части Арктического бассейна были проведены комплексные океанографические и гидрохимические исследования. В ходе океанографических работ было получено вертикальное распределение термохалинных характеристик на девяти разрезах (102 STD-станциях).

На станциях, расположенных к западу от хребта Ломоносова, верхняя граница атлантических вод располагалась на глубинах 100–140 м, что близко к показателям 2008 и 2018 гг. для этого района. Максимальные значения температуры в слое атлантических вод составили 1,4–1,9 °С. Нижняя граница была зафиксирована на глубинах 600–900 м. При этом на разрезе, выполненном вдоль 126° в. д., она заглублялась в направлении с юга на север. По наблюдениям, проведенным на этом разрезе в 2008, 2009, 2013, 2015 и 2018 гг., глубина залегания нижней границы увеличивалась в обратном направлении: с севера на юг.

Для станций, расположенных к востоку от хребта Ломоносова, было характерно заглубление верхней и нижней границ слоя атлантических вод до 150–220 и 1000–1200 м соответственно и уменьшение температуры в его ядре до 1,0–1,3 °С.

На основе полученных данных были рассчитаны значения средней температуры слоя от 30 м до верхней границы атлантических вод и проведено сравнение с историческими данными после 1990 г. В результате анализ показал, что средняя температура этого слоя для большинства станций в 2021 г. была самая высокая за период исследования.

Гидрохимический анализ вод включал определения содержания растворенного кислорода, рН, щелочности, минеральных соединений фосфора, кремния, нитритного, нитратного и аммонийного азота.

В восточной части района исследований в слое от 30 до 150 м по повышенным концентрациям биогенных элементов, и в первую очередь кремния, хорошо выделяются тихоокеанские водные массы. Они прослеживаются над хребтом Менделеева и к востоку от него, а наибольшего развития достигают в северо-восточной части, где их мощность достигает 100 м. Максимальные значения кремния в ядре этих вод достигали величин более 40 мкмоль при средней солености около 33 psu.

В районе континентального склона Восточно-Сибирского моря промежуточная прослойка обогащенных биогенными элементами вод практически исчезает, при этом отмечается увеличение содержания кремния на поверхности. Здесь же, в придонном слое, при солености 34,5 psu и более, т. е. нехарактерной для тихоокеанских вод, отмечается второй максимум содержания кремния.

Придонные воды шельфовой части Восточно-Сибирского моря также обогащены кремнием и фосфором и при этом обеднены кислородом и нитратным азотом, что свидетельствует о влиянии на них анаэробных процессов, протекающих в донных отложениях при окислении органического вещества.

На отдельных станциях в районе хребта Ломоносова в слое галоклина обнаружены линзы вод с повышенным содержанием кремния и относительно однородным распределением остальных характеристик, что, вероятно, свидетельствует о присутствии здесь водных масс шельфового происхождения.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛЯЖЕЙ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

А. С. Богуславский [✉], **В. Ф. Удовик**, **С. И. Казаков**,
И. Г. Берзова, **Н. В. Хамицевич**, **С. Нуриев**

МГИ, Севастополь, Россия
[✉] *al_bhs@mail.ru*

Ключевые слова: Южный берег Крыма, береговая зона, литодинамика, пляжи, морфометрия, георадарное профилирование, наносы, перенос, ветро-волновые режимы.

На примере Качивельского участка методами георадарного профилирования и мониторинга морфометрических параметров пляжей Лименской бухты и искусственных пляжей межбунных промежутков на участке береговой линии от п.г.т. Качивели до п.г.т. Понизовка исследованы особенности геологической структуры, природных источников поступления, литодинамики и

донного переноса основных пляжеформирующих материалов Южного берега Крыма (ЮБК).

Рассматриваемая территория ЮБК характеризуется абразионно-бухтовыми берегами с немногочисленными галечными пляжами в бухтах. Отсутствие песчаных пляжей определяется характером контакта горной страны с морем – приглубыми берегами с крутыми склонами, подверженными интенсивной абразии.

В 1980-е гг. велись берегоукрепительные работы с созданием искусственных пляжей. В настоящее время эти объекты покрывают примерно 50% береговой линии ЮБК. Около 20% бун находятся в разрушенном или полуразрушенном состоянии в результате штормов, а искусственные пляжи частично сохранились лишь на нескольких десятках межбунных проемжужтков.

Выполнена оценка поступления и выноса гальки на пляжи в течение годового цикла на примере участка береговой линии Кацивели, включающего Лименскую бухту, участок естественного побережья мыса Кикинеиз и участок береговых защитных сооружений между поселками Кацивели и Понизовка.

Проанализированы данные регулярных наблюдений за уровнем моря со стационарной станции измерения уровня моря МГИ в п.г.т. Кацивели, скоростью и направлением ветра, высотой и направлением волн.

Сформулированы геологические и гидродинамические факторы формирования и деградации природных и искусственных пляжей ЮБК. Наиболее влиятельным фактором формирования и деградации галечных пляжей, работающих во временной шкале «дни – месяцы», является режим смены ветро-волнового режима с восточного (нагонного) на западный (сгонный) и обратно. Наибольший вынос гальки из зоны пляжей в море происходит во время восточных, а поступление гальки – во время западных штормов. Ключевую роль играют направление и величина придонной составляющей течения у берега, которая меняется на противоположную при смене ветро-волнового режима.

Работа выполнена в рамках научной темы № 0555-2022-0005 госзадания МГИ РАН.

ЛЕДЯНЫЕ БЕРЕГА МОРЕЙ КАРСКОГО И ЛАПТЕВЫХ

Д. Ю. Большианов[✉], А. С. Макаров

ААНИИ, Санкт-Петербург, Россия

[✉] *bolshyanov@aari.ru*

Ключевые слова: ледниковые барьеры, берега, Карское море, море Лаптевых.

Ледяные берега Карского моря имеют протяженность 442 км, моря Лаптевых – 101 км. Длина ледяной береговой линии определена с помощью инструментов программы SASPlanet. Ледяные берега представлены краями выводных и шельфовых ледников, ледниковыми барьерами, присклоновыми ледниками.

11 выводных ледников восточного побережья архипелага Новая Земля обрываются во фиорды ледяными стенками протяженностью 59 км. Они повсеместно отступают во внутренние части заливов со средней скоростью 41 м/год на карской стороне Северного острова архипелага Новая Земля [1], указывая на общее сокращение питания ледниковых языков, а значит, на дефицит массы ледниковых куполов Северного острова архипелага.

Остров Ушакова полностью состоит из ледниковой шапки периметром 63,2 км. В условиях более открытого от льда моря в последние годы заметно увеличилась скорость отступления ледяных берегов. В 1954–2011 гг. она составила 10,9 м/год, в 2011–2019 гг. берега острова равномерно отступали со скоростью 27,8 м/год. Берега преобразились из ледниковых обрывов высотой до 3 м в ледяные стены высотой до 45 м [2].

Кроме того, обычно существовавшие ледники-снежники, примыкавшие пологими склонами к леднику в условиях сохранявшегося даже летом ледяного припая вокруг острова, в настоящее время перестали существовать вместе с ледяным припаем. Пассивный ледник о. Шмидта имеет такую же куполовидную форму, также обрывается в море ледяными стенками, но в северной части освободил к настоящему времени низкое побережье протяженностью 9 км, которое продолжает увеличиваться в ходе отступления края ледника.

Основным фактором, влияющим на сокращение ледниковых шапок островов Ушакова и Шмидта является практически ежегодное разрушение ледяного припая вокруг островов и непосредственный доступ морской воды к ледникам. Еще в XX в. на о. Визе, лежащем к югу, сохранялись остатки пассивного ледникового купола, который так же, как и на островах Ушакова и Шмидта, покрывал остров. После окончания малого ледникового периода в этой части Арктики 80–90 лет назад [3] ледниковый купол о. Визе перестал существовать.

Ледяные берега архипелага Северная Земля протяженностью 331 км более стабильны. Изменения ледяных берегов ледника Академии Наук на о. Комсомолец незначительны, так как откол айсбергов и приход льда из центральной части купола по выводным ледникам примерно одинаковы [4].

Ледник Вавилова быстро выдвинулся в море с о. Октябрьской Революции в 2012–2017 гг. со скоростью, достигшей в 2016 г. 9,6 км/год, полное его выдвигание в море с 1963 г. составило 11,7 км [5]. В настоящее время полуокружность выдвинувшейся лопасти составляет 28,6 км. Она сокращается путем откалывания мелких айсбергов в условиях прекращения движения льда и теперь ее выдвигание в море составляет 8,5 км. Сокращение ледниковой лопасти в ближайшее десятилетие произойдет до границ 1963 г., пока ледник снова не накопит массу и снова не сбросит излишек льда в море через несколько десятков лет. Такие события происходят периодически, не связаны с постулируемым современным потеплением климата и обусловлены динамическими причинами состояния ледника и преобладанием накопления массы ледника в последние десятилетия [6].

Шельфовый ледник Матусевича в одноименном фиорде резко сократился в 2011–2012 гг. [7] и теперь его существование поддерживает только сток льда в южном направлении с ледника Русанова. Выводной ледник с купола Карпинского в настоящее время не подпитывает шельфовый ледник. В этом сказывается асимметрия ледниковых процессов Северной Земли – южные и западные склоны получают заметно большее питание снегом и льдом по сравнению с северными и восточными склонами ледниковых куполов. В целом ледниковые берега архипелага Северная Земля значительно более стабильны по сравнению с западной


частью Российской Арктики. Здесь ледники сокращаются значительно медленнее.

Список литературы

1. Carr J. R., Stokes C., Vieli A. Recent retreat of major outlet glaciers on Novaya Zemlya, Russian Arctic, influenced by fjord geometry and sea-ice conditions // *Journal of Glaciology*. 2014. Vol. 60, issue 219. P. 155–170. DOI: 10.3189/2014jog13j122.
2. Динамика берегов островов северной части Карского моря (ст. 1. Остров Ушакова) / Ф. А. Романенко [и др.] // *Геоморфология*. 2021. № 3. С. 116–124. <https://doi.org/10.31857/S043542812103010X>.
3. Палеоклимат полярных областей Земли в голоцене. СПб. : ААНИИ, 2019. 204 с.
4. Intra- and inter-annual variability in dynamic discharge from the Academy of Sciences Ice Cap, Severnaya Zemlya, Russian Arctic, and its role in modulating mass balance / P. Sánchez-Gómez [et al.] // *Journal of Glaciology*. 2019. Vol. 65, issue 253. P. 780–797. <https://doi.org/10.1017/jog.2019.58>.
5. Бушуева И. С., Глазовский А. Ф., Носенко Г. А. Развитие подвижки в западной части ледникового купола Вавилова на Северной Земле в 1963–2017 гг. // *Лёд и снег*. 2018. Т. 58, № 3. С. 293–306. DOI: 10.15356/2076-6734-2018-3-293-306.
6. Большианов Д. Ю., Ёжиков И. С., Парамзин А. С. Гляциологические исследования // *Исследования природной среды высокоширотной Арктики на НИС «Ледовая база Мыс Баранова»*. СПб. : ААНИИ, 2021. Раздел 5.1. С. 196–216.
7. Interferometric control for mapping and quantifying the 2012 breakup of Matushevich Ice Shelf, Severnaya Zemlya / A. Sharov [et al.] // *Proc. 'Fringe 2015 Workshop'*, Esrin, Frascati, Italy, 23–27 March 2015. ESA SP-731. 9 p. DOI: 10.13140/RG.2.1.2444.9121.

ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИБРЕЖНЫХ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО

Н. Н. Бортин , **А. М. Горчаков**, **К. Н. Дьяченко**,
В. М. Милаев, **Е. Е. Спесивцева**

ДальНИИВХ, Владивосток, Россия
 nbortin@mail.ru

Ключевые слова: прибрежные акватории, антропогенное воздействие, нормативы допустимого воздействия, воднобалансовая модель, портовые сооружения.

Залив Петра Великого Японского моря является объектом комплексного водопользования и потому подвержен

значительному антропогенному воздействию. В настоящее время экологическая ситуация здесь приближается к критической и сопровождается снижением биопродуктивности морских акваторий, ухудшением потребительских качеств биоресурсов, ухудшением рекреационных и санитарных условий, что в конечном итоге ухудшает качество жизни проживающего здесь населения. Основными загрязнителями водных объектов являются предприятия ЖКХ, министерства обороны, различных ведомств, водный транспорт, ливневой сток с урбанизированных территорий и привнос загрязняющих веществ реками, впадающими в заливы (реки ` Раздольная, Партизанская, Туманная и др.).

На берегах залива расположены города Владивосток, Находка и Большой Камень, крупные поселки Врангель, Славянка и Зарубино, портовые сооружения и объекты промышленного производства. Залив относится к высшей категории рыбохозяйственного значения, здесь находится 87 бухт, из которых 63 полностью расположены в мелководной зоне.

Основной причиной сложившейся экологической ситуации является отсутствие научно-обоснованных рекомендаций, определяющих комплекс мер по регламентации антропогенных воздействий на водные объекты рассматриваемых прибрежных морских акваторий.

В докладе рассмотрены методические подходы, разработанные в Дальневосточном филиале ФГБУ РосНИИВХ (ДальНИИВХ), к оценке норм допустимых воздействий (НДВ) на прибрежные морские акватории залива по привносу химических веществ и строительству портовых сооружений.

Методологические подходы к оценке НДВ по гидрохимическим показателям основаны на балансе вод и загрязняющих веществ (ЗВ), поступающих на рассматриваемую прибрежную акваторию и выносимых из нее этих масс. Расчеты баланса вод и ЗВ производятся за промежутки между сроками взятия проб на химический анализ, что позволяет выявить характер загрязнения акватории в различные периоды года в зависимости от частоты сроков мониторинга (декады, месяцы, сезоны) и оценить интенсивность поступления отдельных ЗВ в эти периоды, а также рассчитать ее ассимиляционную емкость.

Для решения задачи оценки допустимой степени воздействий строительства портовых сооружений в прибрежных акваториях залива и выявления причин, ограничивающих их строительство, ДальНИИВХ предлагается методика оценки степени воздействия дноуглубительных работ на мелководные зоны морской акватории при строительстве портовых сооружений.

В методике по степеням воздействия (минимальная, малая, средняя, большая, максимальная) определяются характеристики условий (благоприятные, хорошие, удовлетворительные, допустимые, недопустимые) по размещению портов в мелководной зоне в зависимости от площади производства дноуглубительных работ в зонах маневрирования. Каждая степень воздействия дноуглубительных работ в акватории порта соответствует фактическому размеру вреда (ущерба) водным биоресурсам.

В существующих методиках по определению ущерба водным биоресурсам при строительстве портовых сооружений в мелководных зонах акватории бухт и заливов не рассматривается реальный вариант, когда бентосные кормовые организмы с момента прекращения негативного воздействия восстановить уже невозможно. В предлагаемой методике это учтено.

РЕКОНСТРУКЦИЯ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ IX–X ВЕКОВ В ПОРТОВОМ РАЙОНЕ ХЕРСОНЕСА ТАВРИЧЕСКОГО ПО АРХЕОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Андр. А. Букатов ¹✉, В. В. Глазунов ², В. В. Панченко ¹

¹ *Херсонес Таврический, Севастополь, Россия*

² *СПГУ, Санкт-Петербург, Россия*

✉ *abukатов@chersonesos-sev.ru*

Ключевые слова: Херсонес Таврический, Карантинная бухта, подводные археологические раскопки, гидроакустические исследования, донная электротомография, изменение уровня моря, аккумулятивные морские террасы.

Реконструкция береговой линии в конкретную историческую эпоху является достаточно сложной задачей, решать которую

приходится с помощью комплексных междисциплинарных исследований. Известную проблему представляет точная датировка морских террас, одним из возможных путей решения которой является использование археологических данных.

При археологических исследованиях затопленных строительных остатков у западного берега Карантинной бухты удалось выявить и датировать следы ремонтных работ по подъему уровня пола сооружения, видимо вызванных процессом наступления моря. Каменная конструкция возводилась в IX–X вв. в зоне пляжа, максимально близко к урезу воды. В процессе эксплуатации уровень пола был поднят с помощью забутовки на известковом растворе на высоту 0,73 м, что составляет около 1,17 м от основания конструкции, соответствовавшего уровню моря на начальный период. В слое забутовки присутствуют находки, относящиеся к периоду от второй половины XI до первой половины XIII в.

На основании полученных данных датируется одна из выявленных при гидроакустическом обследовании акватории морских террас, на которой располагаются строительные остатки. Геоморфологические элементы террасы позволяют реконструировать береговую линию IX–X вв. Поверхность этой террасы располагается на удалении до 35 м от современного уреза воды, на глубине около 2 м. Еще одна терраса, расположенная ближе к берегу, сформировалась уже после затопления морем исследуемого археологического объекта.

Наибольший интерес для изучения трансгрессионно-регрессионных циклов в Карантинной бухте вызывает терраса, располагающаяся в 10 м дальше в сторону моря. В пределах плоскости этой террасы выявлена вытянутая вдоль побережья геофизическая аномалия, обнаруженная по данным донной электротомографии. Линейная форма аномалии предположительно связана с ранней застройкой городского порта. Подводные археологические раскопки позволят установить возраст этой террасы и тем самым береговую линию и уровень моря, соответствовавшие раннему периоду существования Херсонеса.

О МЕЖДЕСЯТИЛЕТНЕЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ КОНЦЕНТРАЦИИ КИСЛОРОДА В ВЕСЕННИЙ СЕЗОН В ЧЕРНОМ МОРЕ

А. А. Валле

ИПТС, Севастополь, Россия
✉ *ogorodovaa.a@mail.ru*

Ключевые слова: кислородный режим, северо-западная часть Черного моря, глубоководная часть Черного моря, весенний сезон.

Кислородный режим Черного моря является важным индикатором общего состояния экосистемы моря. Представление о его временной и пространственной изменчивости необходимо для понимания процессов, управляющих его динамикой. Черное море представляет собой превосходную лабораторию для изучения фундаментальных процессов, связанных с долгосрочными изменениями биогеохимии на Земле.

За последние несколько десятилетий экологическое состояние Черного моря серьезно ухудшилось из-за климатических изменений и землепользования, включая перекрытие рек. Соответственно усиливались гипоксические и аноксические состояния, что еще больше ухудшило морскую экосистему Черного моря.

Чтобы точно расшифровать долгосрочные изменения гидрохимии, необходимо хорошо понимать краткосрочные колебания. Поэтому необходимо глубокое знание и особое внимание к временной и пространственной изменчивости кислородных и бескислородных условий. В работе представлены наблюдения, проведенные в Черном море с помощью судовых данных и профилирующих буев Argo, оснащенных кислородными датчиками. На основании полученных данных о концентрации кислорода с 1923 по 2022 г. проведен анализ и выявлены причины распределения растворенного кислорода в весенний период в слое 0–40 м на междесятилетнем масштабе в глубоководной и северо-западной частях Черного моря.

В междесятилетней изменчивости содержания растворенного кислорода в весенний сезон в глубоководной и северо-западной

частях Черного моря наблюдается квазипериодическая компонента с характерным временным масштабом в несколько десятков лет.

Существенную роль в обогащении воды кислородом играет фотосинтетическая деятельность водных растений. Весной с ростом температуры уменьшается интенсивность турбулентного перемешивания деятельного слоя, а фотосинтетическая аэрация становится главным источником поступления кислорода в толщу воды. Это хорошо прослеживается на междесятилетнем масштабе, с глубиной концентрация кислорода в глубоководной части в весенний период растет, вероятнее всего, благодаря фотосинтетическому обогащению вод кислородом, а в северо-западной части, кроме фотосинтетической аэрации, большое влияние на содержание кислорода имеет сток рек, который несет воды, насыщенные кислородом.

ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА СООТНОШЕНИЕ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВОДАХ СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ

А. В. Вареник ✉, **Д. В. Тарасевич**

МГИ, Севастополь, Россия
✉ alla.varenik@mhi-ras.ru

Ключевые слова: атмосферные осадки, биогенные элементы, азот, фосфор, соотношения Рэдфилда.

Приходящая часть химического баланса прибрежных районов моря складывается из нескольких источников поступления растворенных веществ: речного стока, атмосферных осадков, грунтовых вод, эолового переноса. Концентрация биогенных элементов в морской воде изменяется в течение года и зависит от активности водообмена, поступления их из глубинных слоев и интенсивности потребления фитопланктоном. При этом поступление биогенных элементов с атмосферными выпадениями может определять явления внезапного интенсивного цветения фитопланктона.

Для изучения особенностей изменения содержания биогенных элементов и их соотношения в поверхностном слое вод Севастопольской бухты отбирались пробы морской воды после выпадения атмосферных осадков.

Полученные результаты показали, что соотношение биогенных элементов в водах бухты в течение года значительно отличается от классического соотношения Рэдфилда. Фоновое соотношение N:P (характерное для поверхностного слоя вод бухты в точке отбора проб) составляет в летний период 59:1, в весенний – 129:1, осенний – 78:1 и в зимний – 188:1. Для силикатов и фосфатов такие соотношения более равномерны в течение года и составляют соответственно 62:1, 38:1, 48:1 и 51:1. При выпадении атмосферных осадков это соотношение сдвигается еще более значительно в сторону азота, а в случае прохождения пылевых воздушных масс – в сторону силикатов. Особенно это характерно для осадков в теплый период года.

Работа выполнена в рамках темы госзадания ФГБУН ФИЦ МГИ № FNNN-2021-0005.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАКРОВОДОРОСЛЕЙ И МОРСКИХ ТРАВ

Е. Ф. Васечкина ✉, И. П. Науменко

МГИ, Севастополь, Россия
✉ vasechkina.elena@gmail.com

Ключевые слова: морфофункциональные признаки, макрофитобентос, PI-кривые, удельная площадь поверхности.

В последние десятилетия новая концепция функциональных признаков приобретает широкое распространение в экологии, вытесняя традиционный таксонометрический подход. Под функциональными признаками растений понимаются признаки (мор-

фологические, физиологические и др.), определяющие, как растения реагируют на факторы окружающей среды, влияют на другие трофические уровни и свойства экосистемы.

Скорость фотосинтеза водных растений пропорциональна интенсивности света и хорошо описывается так называемой PI-кривой. По литературным данным нами был собран и систематизирован набор экспериментальных данных по основным параметрам PI-кривой: максимальной скорости фотосинтеза P_{\max} , затратам на темновое дыхание R_d , начальному наклону кривой α , – измеренным при различной температуре и интенсивности света (функциональным параметрам). Морфологические особенности растений оценивались по отношению площади поверхности талломов к объему $SA:V$, кроме того, использовалась классификация макроводорослей по морфофункциональным группам, предложенная Литтлером.

Выделены шесть групп водных растений: с тонким пластинчатым талломом (пластинчатые); с нитчатым талломом (нитчатые); с более грубым разветвленным талломом (ветвистые); с толстым талломом в виде ветвей или пластин (утолщенные); имеющие известковые образования в тканях (кальцинированные); морские травы.

Рассматриваемые фотосинтетические параметры являются функциями температуры воды. Для установления температурной зависимости интенсивности процесса фотосинтеза были построены графики зависимости интегральной дневной продукции кислорода от температуры. Выделены разные формы данной зависимости: растущая с ростом температуры (теплолюбивые водоросли), понижающаяся (холодолобивые), нейтральная.

Для осредненных в интервале температур 10–20 °С фотосинтетических параметров выполнена кластеризация по критерию минимальной дисперсии Уорда. Выделены три кластера, существенно различающиеся между собой по интенсивности фотосинтеза. Установлен состав каждого кластера в рамках классификации растений по морфофункциональным группам.

Изучена изменчивость рассматриваемых функциональных параметров путем расчета коэффициента вариации в пределах морфофункциональной группы, кластера и вида в узком интервале температур 13–17 °С. Показано, что изменчивость снижается при

переходе от группы к кластеру и отдельному виду, однако коэффициент вариации даже для одного и того же вида растений может превышать 40%.

Методом построения нейронной сети найдены регрессионные соотношения для фотосинтетических параметров в виде полиномиальных функций от морфологических характеристик водорослей: соотношения $SA:V$ и группы по Литтлеру. Найденные зависимости адекватны в интервале температуры воды 10–20 °С и удельной поверхности талломов $SA:V$ от 5 до 1600 см⁻¹. При ограниченной прогностической ценности они хорошо иллюстрируют качественные изменения функциональных параметров, описывающих процесс фотосинтеза растения при переходе от тонких пластинчатых и нитчатых структур талломов к более крупным и резистентным.

Установлено, что для водных растений, произрастающих в прибрежной зоне Черного моря, данных о фотосинтетических параметрах в доступной нам литературе нет.

Работа выполнена в рамках темы 0555-0021-0005 «Прибрежные исследования».

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЫ БАЗЫ ДАННЫХ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ БЕРЕГОВ КРЫМА

М. П. Вецало ✉, Е. А. Годин

МГИ, Севастополь, Россия
✉ mvetsalo@mhi-ras.ru

Ключевые слова: берега Крыма, база данных, фотографические изображения, классификация изображений.

В отделе гидрофизики шельфа МГИ собран большой массив фотографических изображений берегов Крыма начиная со второй половины XIX в. До настоящего времени большая часть этих изображений не систематизирована и не каталогизирована. Анализ существующего специализированного программного

обеспечения показал, что оно не удовлетворяет требованиям поставленной задачи, в частности не в полной мере обладает возможностями для определения параметров объекта съемки и использования их для формирования выборки.

Для исправления сложившейся ситуации в Банке океанографических данных МГИ (БОД) разработан прототип программной системы базы данных фотографических изображений берегов Крыма. Основу системы составляет модуль, реализующий фасетную классификацию фотографических изображений. На верхнем уровне классификации выделяются фасеты, соответствующие основным классам метаданных снимка описательного и специального характера. Внутри фасетов верхнего уровня, в свою очередь, формируется система субфасетов из понятий предметной области, позволяющая как гибко каталогизировать изображения, так и выполнять выборку изображений, соответствующих заданным критериям.

В текущей версии системы реализована следующая классификация фотографических изображений:

- описательные фасеты верхнего уровня «Дата_и_время», «Параметры съемки»;
- специальные фасеты верхнего уровня «Географический район», «Геоморфологические характеристики».

Фасет «Дата_и_время» составлен из пар календарных дат, определяющих время съемки (точное, если оно известно, или примерное, если точное время неизвестно).

Геопозиционирование снимка реализовано путем привязки изображения к ближайшему географическому объекту, определенному внутри фасета «Географический район».

В рамках фасета «Параметры съемки» определен субфасет «Вид съемки», включающий элементы:

- «Наземное фотографирование»,
- «Аэрофотоснимок (самолет)»,
- «Аэрофотоснимок (квадрокоптер)»,
- «Спутниковый снимок».

Фасет «Геоморфологические характеристики» включает субфасет «Генетический тип»:

- «Абразионно-оползневой»;
- «Аккумулятивный»;

- «Антропогенный»;
- «Абразионно-аккумулятивный»;
- «Абразионный».


Прототип программной системы разработан на языке программирования Python с использованием набора библиотек PySide2 и встраиваемой СУБД SQLite. Применение библиотеки обработки двумерных изображений pillow обеспечивает работу с широким спектром форматов графических форматов, а кроссплатформенность данного стека технологий обеспечивает возможность запуска ПО во всех современных операционных системах (MSWindows, Linux, BSD, MacOS актуальных версий) без значительной адаптации.

В настоящее время система продолжает совершенствоваться. Принимая во внимание то, что она является открытой, в последующих версиях количество как фасетов верхнего уровня, так и субфасетов может быть изменено.

Работа выполняется в рамках государственного задания по теме 0555-2021-0005 «Прибрежные исследования».

МЕТАН И СЕРОВОДОРОД В ВОДЕ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЛИМАНОВ, ВОДОХРАНИЛИЩ И ПРУДОВ АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО БАССЕЙНА

Д. Н. Гарькуша , Ю. А. Федоров

Институт наук о Земле ЮФУ, Ростов-на-Дону, Россия
 *gardim1@yandex.ru*

Ключевые слова: окислительно-восстановительные условия, кислотно-щелочная обстановка, метан, сероводород, концентрация, распределение.

В летне-осенний период проведены исследования лиманов бассейнов Азовского (Ейский, Бейсугский, Сладкий, Курчанский и Ахтанизовский) и Черного (Витязевский, Кизилташский

и Бугазский) морей, а также водохранилищ и других запруженных водоемов бассейна Азовского моря (Соколовское, Артемовское, Грушевское, Цимлянское, Веселовское, Пролетарское, пруд-отстойник шахты «Южная» и пруд-аэратор шахты «Аютинская», водоем-охладитель Ростовской АЭС, рисовый чек и Пруд лотосов). В ходе исследований лиманов, помимо метана (CH_4) и общего содержания сульфидной серы (суммарного сероводорода – $\Sigma\text{H}_2\text{S}$), в отдельных водных объектах в различных горизонтах (до 55 см) донных отложений определены значения Eh и pH, влажность и плотность, а также соленость воды. Пробы воды и отложений отбирали в основном на прибрежных участках с глубинами до 1 м. Впервые для характеристики сопряженного распределения CH_4 и $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ в донных отложениях предложен коэффициент «метанизации», представляющий собой процентное содержание CH_4 от суммы концентраций (в мг/г) восстановленных газов – $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ и CH_4 .

Донные отложения исследованных лиманов, водохранилищ и прудов представлены преимущественно темно-серыми до черного илисто-песчаными отложениями, для которых характерна нейтральная или слабощелочная среда (pH – от 6,47 до 8,17) и восстановительные условия (Eh – от –315,0 до –50,0 мВ), за исключением затопленных почв рисовых чеков, а также отложений пруда-аэратора шахты «Аютинская», в которых наблюдались окислительные условия (Eh – от +6,4 до +204,0 мВ).

В тонкозернистых отложениях (илах) идет активный процесс образования CH_4 и $\Sigma\text{H}_2\text{S}$. В целом концентрации CH_4 и $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ в отложениях водохранилищ и прудов изменяются в пределах от 0,02 до 61,3 мг/г и от < 0,01 до 8,36 мг/г соответственно. Концентрации CH_4 и $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ в отложениях опресненных лиманов варьируются в пределах от 0,01 до 114,34 мг/г и от < 0,001 до 3,07 мг/г соответственно. Концентрации CH_4 и $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ в отложениях осолоненных лиманов изменяются в пределах от 0,01 до 1,44 мг/г и от 0,01 до 1,44 мг/г соответственно. Одни из самых низких концентраций CH_4 и $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ зафиксированы в затопленных почвах рисовых чеков и отложениях пруда-аэратора шахты «Аютинская», характеризующихся окислительными условиями. Распределение CH_4 и $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ по вертикальному профилю изученных отложений характеризуется, как правило, увеличением концентраций от поверхностного слоя к подповерхностным горизонтам, в которых

фиксируется их максимальный пик, после чего концентрации данных газов снижаются, нередко до минимальных значений. Отличием распределения $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ от распределения CH_4 является более частая фиксация максимальных концентраций $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ в менее глубоких горизонтах отложений – в 2–5 см, а нередко и в 0–2 см слоях.

Процентное содержание CH_4 от суммы концентраций CH_4 и $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ (коэффициент метанизации K_{CH_4}) в отложениях исследованных лиманов, водохранилищ и прудов в большинстве отобранных проб не превышает 1%, что свидетельствует о существенном доминировании процесса сульфатредукции над процессом метаногенеза.

В донных отложениях лиманов, водохранилищ и прудов между концентрациями CH_4 и $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ проявляется не очень высокая, но достоверная прямая связь, что указывает на сопряженные процессы генерации этих газов в отдельных горизонтах донных отложений.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-27-00671, <https://rscf.ru/project/22-27-00671/> в Южном федеральном университете.

ПЕРСПЕКТИВЫ РОСТА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ В СЕВАСТОПОЛЬСКОМ РЕГИОНЕ В СВЯЗИ С ВОЗРАСТАЮЩЕЙ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКОЙ В ПРИБРЕЖНОЙ ЧАСТИ СЕВАСТОПОЛЯ

А. А. Георга-Копуло

МГИ, Севастополь, Россия
✉ apr@mhi-ras.ru

Ключевые слова: антропогенная нагрузка, экологические риски, ресурсы прибрежной зоны, социально-экономические последствия.

В связи с усилением в последние годы тенденции к увеличению антропогенной нагрузки на побережье Севастопольского региона, становятся все более актуальными оценка экологических

рисков такого процесса и прогнозирование социально-экономических последствий этой тенденции. Следует отметить, что для антропогенной нагрузки на побережье Севастополя характерно отсутствие какого-либо эффективного морского и прибрежного планирования, а также нерациональное использование ресурсов прибрежной полосы. Причем это касается как биологических и минеральных ресурсов, так и рекреационных ресурсов, а особенно критичной становится ситуация с нерациональным использованием пространственных ресурсов побережья Севастопольского региона.

Бессистемная и хаотичная эксплуатация всех указанных выше ресурсов приводит к возникновению локальных экологических катастроф, а также социально-экономических негативных последствий для муниципальных образований и агломерации Севастополя в целом. В Северной части Севастополя характерными примерами являются ситуации с Немецкой, Языковой балками и застройкой прибрежной зоны в опасно-оползневой зоне. В центральной части Севастополя критическими точками стали застройка мыса Хрустального, так называемое строительство «Нового Херсонеса», экологические проблемы, связанные с загрязнением Севастопольской бухты, Южной бухты, и стремительное развитие ситуации с загрязнением Стрелецкой бухты и застройкой ее побережья. Западная часть побережья Севастополя за последние 19 лет серьезно пострадала от разрыва трубы глубоководного выпуска КОС «Южные», при этом, несмотря на ликвидацию разрыва, вследствие отсутствия биохимической очистки сточных вод на данных очистных сооружениях негативное влияние продолжает оказываться на побережье в районе мысов Фиолент – Херсонес, а также на побережье от мыса Херсонес до входа в Севастопольскую бухту. Южная часть побережья Севастополя подвержена нерациональной и зачастую несанкционированной застройке береговой черты, отсутствуют нормальные очистные сооружения в районах Балаклавы и бухты Ласпи. Серьезным экологическим вызовом южной части Севастополя также является реализация в существующей версии проекта яхтенной марины в Балаклавской бухте. Данный перечень антропогенных угроз побережью Севастополя не является полным, а лишь содержит

особо резонансные случаи нерационального использования ресурсов побережья региона.

Наличие указанных критических точек существенно повышает экологические и социально-экономические риски для региона. В результате неэффективной политики бессистемного использования ресурсов прибрежной полосы уже к концу текущего десятилетия Севастополь столкнется с дефицитом пространственных ресурсов на побережье, что станет препятствием для экономического и социального развития региона. В текущей ситуации органам государственной власти следует реализовать меры по незамедлительному принятию основных регламентирующих пространственное развитие региона документов, которые будут предусматривать рациональное использование прибрежных пространств, а также обеспечивать максимальное сохранение биологических и рекреационных ресурсов побережья региона. Соответствующие нормы должны быть закреплены в Генеральном плане города Севастополя и Стратегии социально-экономического развития города до 2030 г.

КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕЛЬ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ БЕРЕГОВОЙ ЭКО-СОЦИО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Г. Г. Гогоберидзе ¹✉, Е. А. Румянцева ¹, Р. Д. Косьян ²

¹ МАГУ, Мурманск, Россия

² ИО РАН, Москва, Россия

✉ gogoberidze.gg@gmail.com

Ключевые слова: береговая эко-социо-экономическая система, устойчивость, пространственное планирование, Азово-Черноморское побережье.

Разработка планов освоения и социально-экономического развития приморских регионов невозможна без понимания природных условий и техногенных преобразований, происходящих на этих территориях, и степени их влияния на береговые эко-социо-

экономические системы. В этой связи для данных территориальных объектов существует необходимость разработки научно обоснованных рекомендаций по комплексному планированию сбалансированного развития и осуществления хозяйственной деятельности. Это особенно актуально в приложении к Азово-Черноморскому побережью Краснодарского края, роль которого для России возрастает. В то же время в текущих и долгосрочных проектах освоения и использования природных ресурсов побережья недостаточно учитываются природные особенности морских берегов и тенденции их техногенного преобразования.

Авторами ранее были разработаны количественные модели индикаторных оценок и интегральных показателей устойчивого развития береговой эко-социо-экономической системы для регионального и районного пространственных уровней, а также комплексная количественная и экспертно-критериальная система для локального пространственного уровня. На этой основе в работе предлагается концептуальная основа комплексной модели территориального планирования устойчивого развития береговой эко-социо-экономической системы, интегрирующая и функционирующая на всех трех пространственных уровнях.

Модель представляет комплексную интегрированную и взаимосвязанную критериально-статистическую систему индикаторов и показателей, предназначенную для оценки устойчивости береговых систем на трех пространственных уровнях: региональный, районный, локальный. Данная модель является основой геоинформационной системы пространственного планирования деятельности морехозяйственных объектов в парадигме сохранения береговых ландшафтов прибрежных и морских территориальных систем, на примере Азово-Черноморского побережья Краснодарского края как отдельно взятого приморского региона.

Инструментарий направлен на решение стратегической задачи создания национальной системы поддержки принятия управленческих решений по устойчивому развитию и сохранению уникальности ландшафтов береговых эко-социо-экономических систем на различных территориальных уровнях. При этом практическая реализация инструментария даст возможность осуществления мероприятий не только по сохранению береговых ландшафтов, но и содействия росту эффективности процессов

пространственного территориального планирования и прогноза устойчивости береговых эко-социо-экономических систем как единого комплекса с учетом средне- и долгосрочных экологических и социально-экономических изменений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 19-45-230001.

КОНЦЕПЦИЯ МНОГОУРОВНЕВОЙ МОДЕЛИ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ АРКТИЧЕСКОГО БЕРЕГОВОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Г. Г. Гогоберидзе ^{1✉}, Е. А. Румянцева ¹, М. Б. Шилин ²

¹ МАГУ, Мурманск, Россия

² РГГМУ, Санкт-Петербург, Россия

✉ gogoberidze.gg@yandex.ru

Ключевые слова: Арктика, природные и техногенные риски, береговая эко-социо-экономическая система, природопользование.

Арктическая зона Российской Федерации (АЗРФ) является регионом, в котором происходит значительная интенсификация природных и техногенных рисков природопользования. Наиболее подвержена этим процессам береговая зона АЗРФ, в которой благодаря развитию Северного морского пути (СМП) сконцентрирована основная экономическая деятельность региона. В целях учета и последующего снижения рисков природопользования была предложена классификационная система, которая позволяет определить и ранжировать виды, источники, сферы действия и пространственный масштаб рисков природопользования и их компонент. В предыдущих работах авторов была показана последовательность риск-источник – риск-фактор – риск-объект как схема составляющих риска и, исходя из приведенной структуры, рассмотрены их классификационные признаки, включая принципы и характер воздействий на элементы арктических берего-

вых эко-социо-экономических систем. При этом для оценок воздействия и взаимодействия составляющих риска используются экспертные критериальные оценки, полученные для элементов матриц составляющих риска арктического природопользования.

В работе предлагается концептуальное обоснование многоуровневой модели рисков арктического берегового природопользования с учетом риска каскадных катастроф и катастроф иерархических систем, приводятся основные принципы, заложенные в концепции, основанной на указанной методологии оценки рисков безопасности природопользования в береговой зоне АЗРФ. Необходимо отметить, что все рассматриваемые факторы воздействия, за исключением такого фактора, как количество риск-объектов природопользования одного вида в пределах рассматриваемой территории, зависят в первую очередь от непосредственно природы риск-источника, а для риск-факторов источников антропогенного либо технологического происхождения – непосредственно от уровня технологической эффективности и инновационности объекта, его технической безопасности, квалифицированности персонала объекта и т. д.

Разработанная концепция дает возможность ее использования в зависимости от задач проведения оценок рисков и получения результатов как в размерном (для конкретной территории и конкретных объектов или их совокупности), так и в безразмерном виде (при сравнительном анализе набора территориальных объектов). При этом в размерном виде возможно получать прогноз ущербов от проявлений различных видов и источников рисков в вероятностном или монетарном видах, а также исходя из получаемых величин рассчитывать величину страховых выплат для существующих и планируемых объектов береговой инфраструктуры.

Использование такого инструментария даст возможность разработки обоснованных управленческих рекомендаций в сфере территориального планирования и ресурсопользования в АЗРФ. Представляет интерес возможность ситуационных и сценарных оценок динамики показателей риска и его составляющих вследствие изменений инфраструктурных конфигураций в пределах рассматриваемой территории.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-05-00312.

**ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ
КАК ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ
ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОРОВЫХ ВОД
В ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНАХ КРЫМА**

Ю. С. Гурова [✉], К. И. Гуров, Н. А. Орехова

МГИ, Севастополь, Россия

[✉] *Kurinnaya-jul@yandex.ru*

Ключевые слова: донные отложения, поровые воды, кислород, полярография, гранулометрический состав, органический углерод, Черное море.

На прибрежные акватории оказывает влияние интенсивная антропогенная нагрузка, которая влечет за собой поступление дополнительного количества органического вещества и биогенных элементов. Это способствует интенсивному осадконакоплению и высокой скорости изменения характеристик среды [1], которые ведут к деградации прибрежных морских экосистем.

Содержание органического вещества является одним из ключевых факторов, определяющим характеристики донных отложений и состояние экосистемы в целом. Еще одним, не менее важным фактором, определяющим особенности протекания биогеохимических процессов и изменение окислительно-восстановительных условий в донных отложениях, является гранулометрический состав осадка.

Цель работы – оценка влияния геохимических факторов на характеристики донных отложений на крымском шельфе Черного моря.

Данные получены в ходе рейсов на НИС «Профессор Водяницкий» осенью 2018 г. и летом 2019 г. для прибрежных районов Крымского полуострова. Профили вертикального распределения растворенных кислорода, сероводорода, окисленных и восстановленных форм железа в поровых водах получены с помощью

полярнографического метода анализа с использованием стеклянного Au-Hg-микроэлектрода [2, 3]. Гранулометрический состав донных отложений определяли с использованием комбинированного метода декантации и рассеивания. Содержание углерода ($C_{орг}$) определялось кулонометрически на экспресс-анализаторе АН 7529 по методике, адаптированной для морских донных отложений [4].

Показано, что в прибрежной зоне крымского шельфа преобладают пелито-алевритовые илы с включениями песчаного материала и отдельными включениями ракушки и ракушечного детрита. Установлено, что повышенные концентрации $C_{орг}$ характерны для проб с высокой (> 70%) долей пелито-алевритовой фракции и илистого материала в целом. Отмечено преобладание субкислородных условий в донных отложениях, основные процессы контролируются преимущественно реакциями с участием железа в верхних слоях. На некоторых участках Южного берега Крыма и в Керченском предпроливье со стороны Азовского моря выявлено развитие анаэробных условий уже в поверхностном слое донных отложений. Установлена корреляционная зависимость между распределением в осадках $C_{орг}$ и концентрациями H_2S в поровых водах донных отложений для прибрежных районов шельфа Крымского полуострова.

Список литературы

1. Кременчуцкий Д. А., Гуров К. И. Распределение ^{137}Cs и ^{40}K в донных отложениях Балаклавской бухты (Черное море) // Морской гидрофизический журнал. 2021. Т. 37, № 2. С. 207–221. DOI: 10.22449/0233-7584-2021-2-207-221.
2. Орехова Н. А., Коновалов С. К. Полярнография донных осадков Севастопольской бухты // Морской гидрофизический журнал. 2009. № 2. С. 52–66.
3. Brendel P. J., Luther III G. W. Development of a gold amalgam voltammetric microelectrode for the determination of dissolved Fe, Mn, O₂, and S(-II) in pore waters of marine and fresh water sediments // Environmental Science & Technology. 1995. Vol. 29, issue 3. P. 751–761. DOI: 10.1021/es00003a024.
4. Люцарев С. В. Определение органического углерода в морских донных отложениях методом сухого сжигания // Океанология. 1986. Т. 26, вып. 4. С. 704–708.

ПРОБЛЕМЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СТОЙКИМИ ТОКСИЧЕСКИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ МОРЕЙ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА

А. С. Демешкин

*Северо-Западный филиал ФГБУ «НПО «Тайфун»,
Санкт-Петербург, Россия
✉ demeshkin-as@rpatyphoon.ru*

Ключевые слова: мониторинг, загрязнения, Арктика, стойкие органические загрязнители, тяжелые металлы, окружающая среда.

Исторически сложившееся понятие о нетронутой природе Арктики в настоящее время в значительной степени утратило свою актуальность.

Исследования, проводимые Северо-Западным филиалом ФГБУ «НПО «Тайфун» за последние 30 лет, говорят о том, что в этом регионе существуют факторы, которые оказывают негативное влияние на окружающую среду. Прежде всего это связано с антропогенной деятельностью и процессами, развивающимися вследствие климатических изменений. Наибольшую угрозу представляют стойкие органические загрязнители (СОЗ) и соединения тяжелых металлов (ТМ). Опасность таких соединений заключается в том, что, находясь в природной среде в незначительных концентрациях, они имеют свойство накапливаться в живых организмах и приносить существенный вред.

Визуально такие загрязнители не обнаруживаются, для идентификации применяются современные методы аналитической химии, в том числе с использованием газовой и высокоэффективной жидкостной хроматографии, атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии.

В работе использованы материалы, полученные в ходе проводимого Северо-Западным филиалом ФГБУ «НПО «Тайфун» постоянного мониторинга прибрежной части Гренландского моря (район Шпицбергена), а также эпизодических наблюдений на акваториях Баренцева и Карского морей.

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ ПОРТОВЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В УСЛОВИЯХ ПРОГНОЗНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

Т. В. Долгушев

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

Ключевые слова: портовые гидротехнические сооружения, транспортная инфраструктура Арктики, Северный морской путь, изменение уровня моря.

Освоение ресурсного потенциала Арктической зоны РФ (АЗРФ) связано непосредственно со строительством и реконструкцией портовых гидротехнических сооружений (ПГТС). В настоящее время в АЗРФ наблюдаются климатические изменения, имеющие устойчивую динамику во времени. Особенности географического расположения данного региона обуславливают более быстрые темпы изменения климата, например изменение средней температуры в АЗРФ происходит в 2,5 раза быстрее глобального уровня.

Изменение глобального среднего уровня моря составляет около 3,6 мм/год, в то время как для района Баренцева моря данный показатель составляет приблизительно 5,3 мм/год, по данным спутниковых наблюдений. Данные спутниковой альтиметрии позволяют сделать вывод о наличии устойчивого тренда к повышению уровня Баренцева моря со скоростью, превышающей среднепланетарный уровень примерно в 1,5 раза.

В Баренцевом море и сопредельных водах располагается несколько портов и портопунктов, в том числе один из существующих крупнейших портов АЗРФ – Мурманск, а также крупнейший проектируемый порт – Индига. В действующей строительной нормативно-технической документации, определяющей требования к используемым при проектировании ПГТС метеорологическим данным, отсутствует методика получения

климатических и океанологических характеристик района, учитывающая прогнозные изменения климата.

Разработка методики учета климатических изменений при проектировании ПГТС, базирующейся на результатах моделирования климата определенного региона с учетом класса капитальности проектируемых ПГТС, позволит снизить риски аварий на данных сооружениях, а также сократить эксплуатационные издержки. В связи с этим исследование прогнозных изменений уровня моря в АЗРФ и разработка методики проектирования данных сооружений, учитывающей прогнозные изменения климата, являются актуальными задачами, имеющими важное хозяйственное значение.

ИНТЕГРИРОВАННАЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОБЪ-ИРТЫШСКОГО РЕЧНОГО БАССЕЙНА

А. А. Донцов ✉, **И. А. Суторихин**, **В. В. Кириллов**,
О. В. Ловцкая

ИВЭП СО РАН, Барнаул, Россия

✉ *alexdontsov@yandex.ru*

Ключевые слова: ГИС, ДЗЗ, спутниковые данные, базы данных, экспедиционные данные, экологический мониторинг.

Проблемы сохранения и использования водных ресурсов интернациональны и становятся все более актуальными. Вместе с тем увеличивается число задач, связанных с достоверной и оперативной оценкой состояния параметров водных объектов, а также с предоставлением доступа к результатам измерений широкому кругу заинтересованных организаций и лиц, начиная с государственных структур и заканчивая общественными организациями.

В работе показаны первые результаты разработки геоинформационной веб-системы, предназначенной для формирования единой научно обоснованной системы высокотехнологического комплексного экологического

мониторинга (гидрологического, гидрохимического, гидробиологического) Обь-Иртышского речного бассейна, позволяющей прогнозировать экологическое состояние водных объектов с учетом изменяющегося климата и увеличения антропогенной нагрузки (на примере Обской Губы и Обь-Тазовской устьевой области).

В единую информационную систему были включены следующие данные:

- 1) данные дистанционного зондирования Земли из космоса;
- 2) результаты контактных измерений параметров экосистем и математического моделирования экологических процессов;
- 3) разномасштабные векторные и растровые топографические и тематические карты.

Такой подход обеспечивает возможность предоставления разноплановой информации о состоянии водных объектов конечным пользователям ГИС.

В ГИС можно выделить следующие основные компоненты:

- 1) блок обработки, который содержит программные модули для работы со спутниковыми данными и данными экспедиционных работ;
- 2) каталог данных – надстройка над СУБД ГИС, посредством которой можно осуществлять поиск данных, фильтрацию по произвольным запросам пользователей;
- 3) программные интерфейсы для интеграции с наземными измерительными комплексами, сторонними сервисами пространственной информации и настольными ГИС (такими как QGIS, GRASS, ENVI и т. д.);
- 4) веб-интерфейс, при помощи которого осуществляется управление компонентами ГИС (панель администратора) и предоставление результатов обработки (публичный и закрытый разделы).

При разработке используются свободно распространяемые базовые программные продукты с открытым исходным кодом, предназначенные для работы с пространственными данными. Разрабатываются вычислительные модули для обработки спутниковых данных зарубежных и российских космических аппаратов.

Разработанная ГИС позволяет предоставлять разноплановую информацию о состоянии водных объектов. Программные интерфейсы позволяют принимать данные с разных измерительных приборов и комплексов, а также загружать результаты экспедиционных работ при помощи веб-интерфейса. В настоящее время прототип ГИС доступен по адресу <http://arcticgis.iwep.ru>.

Исследования выполнены в рамках Государственного задания ИВЭП СО РАН при финансовой поддержке Российского центра освоения Арктики (г. Салехард, Россия).

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И БИОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА СОСТОЯНИЕ ЭКОСИСТЕМЫ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Т. Р. Еремина¹✉, О. М. Владимирова¹, О. П. Савчук²

¹ РГГМУ, Санкт-Петербург, Россия

² Baltic Nest Institute, Stockholm University Baltic Sea Centre, Стокгольм,
Швеция

✉ tanya.er@gmail.com

Ключевые слова: климат, модель SANBALTS, биогенная нагрузка.

Для оценки изменчивости компонентов морской экосистемы Балтийского моря в будущем климате использовалась боксовая стационарная модель SANBALTS (Simple Necessary Baltic Sea) [1]. Рассматривались два климатических сценария при двух видах биогенной нагрузки. В сценарии RCP 4.5 повышение температуры составляет не более 3 °С, концентрация углерода – на уровне 4,5 Вт/м² к концу столетия, в RCP 8.5 климатические тенденции не меняются, что приводит к потеплению 5 °С, в среднем концентрация углерода находится на уровне 8,5 Вт/м² к концу 100-летнего периода. Задание биогенной нагрузки основано на двух вариантах путей развития SSP2 «Середина пути» и SSP3 «Региональное соперничество».

В результате расчетов получено пять стационарных решений, показывающих конечное трофическое состояние семи районов Балтийского моря, которое будет достигнуто при изменении в поступлении биогенных веществ при различных сценариях развития климата и социально-экономических факторов. Опорным является расчет, основанный на биогенной нагрузке 2003–2007 гг.

Изменение климата влияет на концентрацию кислорода наиболее сильно, по сравнению с другими параметрами эвтрофикации. В работе [2] показано, что при потеплении климата площади гипоксических зон увеличиваются. Однако при учете не только изменения климата, но и социально-экономических факторов SSP2 и SSP3 площадь гипоксии уменьшается по сравнению с состоянием на 2003–2007 гг. Наиболее значительно площадь гипоксии уменьшается при реализации SSP3 сценария – на 40–50%, при данном сценарии снижается рост численности населения непосредственно в странах Балтики, что приводит к снижению биогенной нагрузки на Балтийское море в целом. Уменьшение площади гипоксических зон приводит к снижению потока фосфора ко дну, что приведет к снижению содержания бентосного фосфора к 2100 г. Отмечается увеличение концентраций неорганического азота для Ботнического и Рижского заливов при сценарии RCP 8.5 на 3,5–4 ммоль/л и уменьшение азот-фиксации в этих районах.

Список литературы

1. Savchuk O. P., Wulff F. Long-term modeling of large-scale nutrient cycles in the entire Baltic Sea // *Hydrobiologia*. 2009. Vol. 629, issue 1. P. 209–224. DOI: 10.1007/s10750-009-9775-z.
2. Модельные оценки эвтрофикации Балтийского моря в современном и будущем климате / В. А. Рябченко [и др.] // *Океанология*. 2016. Т. 56, № 1. С. 41–50. DOI: 10.7868/S0030157416010160.

УТИЛИЗАЦИЯ ПОТОКА БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ, ПОСТУПАЮЩИХ ЧЕРЕЗ БЕРИНГОВ ПРОЛИВ, В ЧУКОТСКОМ МОРЕ

Ю. И. Зуенко

ТИНРО, Владивосток, Россия

✉ *zuenko_yury@hotmail.com*

Ключевые слова: биогенные вещества, фосфор, первичная продукция, деструкция, водная масса, стратификация, Берингов пролив, Чукотское море, TS-анализ.


Пространственные изменения концентрации биогенных элементов в потоке вод тихоокеанского происхождения, направляющемся из Берингова пролива на север-северо-запад, рассмотрены на примере фосфора по данным двух съемок, выполненных в российской части Чукотского моря в начале сентября 2010 и 2020 гг. Эти воды изначально отличаются более высокими концентрациями фосфора (как и других биогенных элементов) по сравнению с водами шельфа Чукотского моря, но по мере удаления от пролива постепенно теряют это свойство, как из-за перемешивания между собой и с местными водными массами, так и из-за потребления фосфора в верхнем слое моря при фотосинтезе. В то же время снижению концентрации фосфора в подповерхностном слое препятствует его рециклинг при деструкции органического вещества. Потоки фосфора разной природы оценены отдельно с помощью простой балансовой модели на основе TS-анализа, ранее применявшейся в эстуарных исследованиях. Это позволило определить величины потребления и регенерации минерального фосфора в обоих слоях на различных участках потока беринговоморских вод и таким образом локализовать зоны высокой первичной продукции, что и было целью работы.


Как оказалось, процесс утилизации биогенных веществ сильно зависит от интенсивности течения, но принципиальные особенности локализации продуктивной зоны сохраняются. В условиях относительно слабого течения в 2010 г., когда поток беринговоморских вод наблюдался в виде струи с повышенной

температурой и соленостью, фосфор из поверхностного слоя потреблялся на всем исследованном его протяжении (около 600 км, до траверза о. Врангеля), наиболее интенсивно в конце этой дистанции, где скорость снижения его концентрации превысила 1,0 мкмоль/л на 100 км пути. При этом в подповерхностном слое вначале отмечен рост концентрации фосфора из-за рециклинга, но далее фосфор также потреблялся. В 2020 г., когда адвекция берингоморских вод была настолько мощной, что они заняли практически всю юго-западную часть Чукотского моря, их экстремальные показатели сохранялись на протяжении примерно 400 км, где фосфор почти не расходовался, а в поверхностном слое его концентрация даже немного возросла, что указывает на преобладание деструкции органического вещества, принесенного из Берингова моря. Однако зона активной утилизации биогенных веществ в районе о. Врангеля (примерно с 70° с. ш.) сохранилась и в этих условиях, хотя сместилась чуть ниже по течению. Изменения концентрации неорганического фосфора, обусловленные перемешиванием вод, в оба года были значительно слабее изменений, связанных с продуцированием либо с деструкцией органического вещества.

В районе локализованной зоны высокой продуктивности поток берингоморских вод сталкивается с очень холодной и устойчивой подповерхностной арктической водной массой и поворачивает на север, в направлении каньона Геральд, образуя меридиональный фронт примерно вдоль 175–177° з. д. На фронте усиливается стратификация вод (берингоморские воды слабо стратифицированы, но вблизи фронта вертикальный градиент в термоклине превышает 0,4 °С/м), что, по-видимому, способствует массовому развитию фитопланктона, потребляющего биогенные элементы. Причем если в 2020 г. первичная продукция в этой зоне обеспечивалась фосфором, сохранявшимся в верхнем слое в течение всего пути от Берингова пролива, то в 2010 г. активное продуцирование шло в условиях его дефицита – этот биогенный элемент потреблялся «с колес» за счет усиления перетока из подповерхностного слоя.

ОЦЕНКА ПОТОКОВ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ, ФОП И ХОП С СУБМАРИННОЙ РАЗГРУЗКОЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В РАЙОНЕ МЫСА АЙЯ

О. Н. Козловская , Ю. Г. Шибецкая, В. А. Разина,
Н. А. Бежин, И. И. Довгий

МГИ, Севастополь, Россия
 *o.n.kozlovska@gmail.com*

Ключевые слова: субмаринная разгрузка подземных вод, микроэлементы, ФОП, ХОП, мыс Айя, Черное море.

В связи с урбанизацией, развитием сельского хозяйства и последующими изменениями в землепользовании значительно расширился перенос наземных материалов в прибрежные морские акватории. Одним из значительных путей переноса биогенных элементов, микроэлементов и других загрязняющих веществ, в том числе и пестицидов, с суши в море является субмаринная разгрузка подземных вод.

В ходе экспедиционных работ в феврале 2020 г. в районе очага субмаринной разгрузки подземных вод у мыса Айя были выполнены гидрологические измерения, а также измерения концентрации ряда микроэлементов. Проведена оценка потоков микроэлементов с субмаринными подземными водами. Рассмотрено поведение микроэлементов в зоне смешения подземных и морских вод. Показано, что субмаринная разгрузка является важным механизмом переноса химических элементов на границе суша – океан.

Для определения степени загрязнения подземных вод вследствие хозяйственной деятельности в Байдарской долине впервые в октябре 2021 г. были измерены концентрации ХОП и ФОП. Показано, что содержание пестицидов в подземной воде меньше, чем в морской.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации (тема «Океанологические процессы» № 0555-2022-0004 и «Прибрежные исследования» № 0555-2022-0005).

ВЛИЯНИЕ МЕЖГОДОВЫХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ ВОДЫ НА КОЛОНИИ ВОДОПЛАВАЮЩИХ ПТИЦ В КИЗИЛТАШСКИХ ЛИМАНАХ

В. В. Крыленко [✉], М. В. Крыленко, С. В. Крыленко

ИО РАН, Москва, Россия
[✉] *krylenko.slava@gmail.com*

Ключевые слова: лагуна, аккумулятивная форма, колебания уровня, колонии водоплавающих птиц, динамика рельефа.

Кизилташская группа лиманов (лагун) относится к дельтовой области реки Кубань и отделена от Черного моря Анапской пересыпью. Кизилташская группа лиманов внесена в Перспективный список водно-болотных угодий международного значения Рамсарской конвенции и включена в границы природного парка «Анапская пересыпь». В состав Кизилташской группы входят лиманы Кизилташский, Бугазский, Цокур, Витязевский, разделенные выступами берега и аккумулятивными формами.

Коса Голенькая расположена на стыке акваторий Кизилташского и Бугазского лиманов. Аккумулятивное тело косы состоит из прикорневой части (до 1 км) и цепочки узких более или менее длинных островов (от нескольких сот метров до 5 км). В литературе данную аккумулятивную форму часто относят к типу свободных, поскольку одним краем она примыкает к коренному берегу. Однако строение, состав наносов и рельеф островов дают основания утверждать, что генезис аккумулятивной формы более сложный. Несмотря на постоянно изменяющийся гидрологический режим водоема, коса Голенькая существует как минимум сотни лет, проявляя устойчивость на фоне высокой короткопериодной изменчивости.

Рельеф островов косы Голенькая представлен сериями береговых валов, с двух сторон охватывающих узкие внутренние озера, не имеющие прямого водообмена с лиманом и обычно сосяхающие летом. Под воздействием колебаний уровня и изменений солености воды, а также благодаря удаленности от коренного бе-

рега, на островах формируются специфические биоценозы. Острова косы Голенькая имеют большое значение в воспроизводстве колониальных околоводных птиц. Здесь гнездится 21 вид птиц, в том числе редких или исчезающих.

В обычном годовом ритме в зимний период происходит некоторое повышение воды в лиманах, но к началу гнездования уровень постепенно снижается. Во второй половине 2021 г. в регионе было отмечено аномально высокое количество атмосферных осадков. Уровень воды к концу июля в лагунах повысился более чем на 0,5 м, эти отметки сохранились до начала следующего лета. Зимой 2021–2022 гг. большая часть островов затоплялась волнами во время штормов. Проведенные в июне 2022 г. полевые и дистанционные исследования показали, что площадь островов значительно уменьшилась по сравнению с 2021 г. Рельеф на островах, особенно вдоль берегов, полностью переформирован, береговые валы сместились к центру островов, надвинувшись на внутренние озера. Растительность на большей части островов практически полностью уничтожена волнами. В результате нарушились условия гнездования многих видов птиц. По сравнению с данными исследований 2021 г., когда было зафиксировано массовое гнездование не менее пяти видов птиц, в 2022 г. остался только один массовый вид – *Larus cachinnans*. Колонии *Phalacrocorax carbo*, состоящие из крупных, использовавшихся много лет гнезд, исчезли.

Вероятно, климатические аномалии 2021 г. вызовут существенное количественное снижение популяций водоплавающих птиц в пределах Кизилташской группы лиманов. Изменение видовой структуры гнездовых колоний должно сохраниться в течение нескольких лет, до восстановления растительного покрова. В случае сохранения высокого уровня воды в лиманах некоторые виды потеряют возможность гнездиться на островах косы Голенькая.

Работа выполнена при поддержке РНФ (проект 20-17-00060).

ОСОБЕННОСТИ ЗОНЫ ДЮН СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ВИТЯЗЕВСКОЙ ПЕРЕСЫПИ

Д. В. Крыленко, М. В. Крыленко

ИО РАН, Москва, Россия

✉ krylenko@mail.ru

Ключевые слова: пересыпь, аккумулятивная форма, дюна.

Аккумулятивное тело Анапской пересыпи состоит из нескольких пересыпей и аккумулятивных террас, осложненных эоловыми и гидрогенными формами. Дюны имеются на всем протяжении Анапской пересыпи. Средние высоты дюн 1–4 м, иногда они достигают 15–20 м. В данной работе рассмотрены особенности строения зоны дюн северо-западной части Витязевской пересыпи. Особенностью эолового рельефа этого участка Анапской пересыпи является формирование дюн перпендикулярными к береговой линии ветрами встречных направлений, при некотором преобладании береговых ветров.

Ширина северо-западного участка Витязевской пересыпи между береговой линией моря и лиманом составляет 550–700 м. Первая дюнная гряда протягивается параллельно современной береговой линии моря на расстоянии 150–200 м от уреза. Она состоит из отдельных дюн высотой до 5–6 м, фрагментарно заросших ксерофитной растительностью. В верхней части большинства дюн имеются *Tamarix ramosissima*. Дюны не образуют единой непрерывной гряды, их разделяют понижения с уровнями поверхности около 0,5–1,0 м, для которых отмечены обширные скопления плавника и мусора, поступающего сюда со стороны моря во время сильных штормов. На первой дюнной гряде имеются участки активной эоловой аккумуляции и дефляционные котловины, чаще всего связанные с антропогенным нарушением рельефа.

За первой дюнной грядой выделяется зона вытянутых в восточном направлении косорасположенных (под углом 20–30° к береговой линии моря дюнных гряд). Ширина данных дюнных

гряды 40–60 м, абсолютные отметки 4–6 м. Следов активных эоловых процессов не наблюдается. Характерной особенностью дюн является наличие на их вершинах вегетирующих экземпляров *Tamarix ramosissima* или *Elaeágnus angustifólia*, а также задернованность склонов. Учитывая ориентированность гряды, не параллельную современной береговой линии, и отсутствие активных эоловых процессов, эти дюнные гряды можно отнести к реликтовым. Косые дюнные гряды разделяют межгрядовые понижения – почти горизонтальные поверхности, покрытые гидрофильной растительностью, образующей сплошной покров. Для них характерны высотные отметки от –0,1 до 0,2 м. В пределах понижений есть возвышенные участки (высота до 2–3 м), приуроченные к куртинам древесно-кустарниковой растительности. Их происхождение, вероятно, связано с эоловым накоплением песков, снос с которых происходит с окружающих дюн.

Межгрядовые понижения отделены от прилиманного понижения слабо выраженной прилиманной дюнной грядой, которая протягивается параллельно урезу лимана. Она состоит из нескольких участков, разделенных ложбинами, абсолютные отметки составляют 1,5–2 м. Дюнная гряда местами подстилается или граничит с лиманными береговыми валами, сложенными пляжевыми песчано-ракушечными наносами. Вероятно, данная дюнная гряда могла быть сформирована под действием дующих со стороны лимана ветров. В настоящее время эоловые процессы практически не проявляются и прилиманная эоловая гряда полностью задернована.

Таким образом, на исследованном участке Анапской пересыпи не сформирована характерная для многих других береговых аккумулятивных форм непрерывная авандюна. Относительно небольшая высота дюн обусловлена дефицитом наносов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ № 19-45-230004.

ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИЕ АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ КОТЛОВИНЕ ЯПОНСКОГО МОРЯ

Ю. В. Кудряшова , Т. Л. Чижова

ТОИ ДВО РАН, Владивосток, Россия

 *koudryashova@poi.dvo.ru*

Ключевые слова: ПАУ, органический углерод, глубоководные исследования, Японское море.

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) являются стойкими органическими загрязнителями, многие из этих соединений токсичны и проявляют канцерогенную активность. На сегодняшний день главным источником образования ПАУ является антропогенная деятельность, а именно сжигание ископаемых топлив, кроме этого ПАУ входят в состав нефти и углей. Вследствие своей устойчивости ПАУ способны переноситься на дальние расстояния, и эти поллютанты были обнаружены в глубоководных регионах Мирового океана. Целью данной работы было изучение содержания, вертикального распределения, а также некоторых особенностей миграции и трансформации ПАУ в Центральной котловине Японского моря. Для проведения исследования в декабре 2016 г. образцы воды и взвеси были отобраны на 14 горизонтах двух глубоководных станций, глубина слоев пробоотбора была от 5 до 3500 м.

Результаты показали, что во всех образцах растворенные ПАУ (РПАУ) значительно преобладали над ПАУ во взвеси (ВПАУ). Суммарные концентрации ВПАУ изменялись от 0,87 до 1,64 нг/л, и среднее значение составляло 1,19 нг/л. Суммарное содержание РПАУ варьировалось от 7,97 до 15,11 нг/л со средней концентрацией 9,72 нг/л. Наибольшие концентрации ПАУ были найдены в слое 200–500 м. Возможной причиной роста содержания ПАУ в мезопелагиали является то, что, вероятно, при участии микроорганизмов здесь происходит дефрагментация и деградация взвешенных частиц – носителей ПАУ, что замедляет вертикальный поток ПАУ, в результате чего эти вещества накапливаются на

этих глубинах и, более того, здесь происходит частичный переход взвешенной формы ПАУ в растворенную, что подтверждается увеличением доли РПАУ в общей сумме ПАУ. Кроме того, ПАУ на эти глубины могут поступать в результате каскадинга загрязненных шельфовых вод, характерного для Японского моря в зимний период.

Полученные вертикальные профили взвешенного и растворенного органического углерода (ОУ) отличались от профилей ПАУ. В то время как концентрации ОУ с глубиной ожидаемо уменьшались вследствие реминерализации лабильного органического вещества, уровни ПАУ ко дну практически не изменялись. Также была найдена положительная корреляция РПАУ и растворенного ОУ для глубин ниже эпипелагиали. Эта взаимосвязь, вероятно, обусловлена сходством механизмов образования/поступления растворенного органического вещества и РПАУ в глубинных слоях Японского моря.

В результате расчетов нормированных на углерод коэффициентов распределения ПАУ между водной и взвешенной фазой (k_{oc}) для эпипелагиали было выявлено: значения k_{oc} ПАУ с тремя кольцами были намного выше значений их коэффициентов распределения между октанолом и водой (k_{ow}). Поскольку было установлено, что ПАУ в данной работе имеют пирогенное происхождение, то одной из причин таких высоких k_{oc} может быть поступление ПАУ в водную толщу адсорбированными на частицах сажи. Значения k_{oc} и k_{ow} более высокомолекулярных ПАУ (с четырьмя и пятью кольцами) были достаточно близки, что говорит о том, что гидрофобность для этих ПАУ является важным фактором, обуславливающим их распределение между водой и взвесью и, вследствие этого, влияющим на их дальнейшую миграцию.

Таким образом, результаты проведенной работы показали, что цикл ПАУ в водной толще Японского моря зависит от ряда факторов (химических, биогеохимических, океанологических), однако детальная оценка степени влияния каждого из них на транспорт и поведение ПАУ требует проведения дополнительных исследований.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВДОЛЬБЕРЕГОВОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОД У СЕВЕРНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ЧЕРНОГО МОРЯ

А. С. Кузнецов

МГИ, Севастополь, Россия

✉ *kaskasev@mail.ru*

Ключевые слова: Черное море, прибрежно-шельфовая зона, инструментальный мониторинг, вдольбереговое течение.

Как известно, в прибрежно-шельфовой зоне Черного моря изменчивость динамики вод Основного Черноморского течения (ОЧТ) зависит от структуры и характеристик материкового склона, рельефа дна шельфа и зоны стыка суши и моря. Изменчивость пространственных масштабов в сторону берега и характеристик основной струи ОЧТ, имеющей циклоническую направленность относительно глубокого моря, часто определяют как прибрежную периферию ОЧТ. Во всех публикациях по исследованиям динамики прибрежных вод отмечено, что акватория у побережья имеет очень изменчивый характер течений. В большинстве публикаций единственной статистически достоверной характеристикой режима циркуляции вод считается бимодальное распределение повторяемости направления прибрежных течений. При этом в Лоции Черного моря указано, что эта акватория является зоной прибрежных круговоротов, где у сравнительно прямолинейных берегов течения направлены так же, как и в основной струе ОЧТ, причем у выдающихся в море мысов скорости потока возрастают до скорости основной струи.

Черноморский гидрофизический подспутниковый полигон Морского гидрофизического института (МГИ) находится практически на прямолинейном участке Южного побережья Крыма, а стационарная океанографическая платформа полигона с кластером измерителей течений расположена мористее м. Кикинеиз на удалении 0,5 км при глубине 28 м. Мониторинг пространственно-временной изменчивости циркуляции прибрежных вод прово-

дится отечественными эйлеровыми векторно-осредняющими измерителями течений. При анализе натуральных данных достоверно установлен факт существования у м. Кикинеиз мономодального прибрежного течения циклонической, как и ОЧТ, направленности при средней за 20 лет скорости 8,1 см/с. По результатам спектрального анализа выделен диапазон интенсификации возмущений этого стационарного прибрежного течения. Последовательность достоверных спектральных максимумов включает колебания течения на локальном инерционном и суточном периоде, вблизи периодов 2,5–3,5 сут, в субинерционном и сезонном диапазоне колебаний. Детально исследованы причины возникновения и существования бимодального распределения повторяемости направления прибрежного течения. Бимодальная структура прибрежного течения возникает в случае, когда модуль орбитальной скорости интенсивного возмущения потока превышает модуль скорости самого вдольберегового течения. Анализ трансформации бимодальной структуры при последовательной фильтрации многолетних данных позволил разделить и оценить вклад отдельных составляющих в гистограммы распределения повторяемости направления вдольбереговой циркуляции. Установлено, что максимум вклада обратной моды колебания течения находится в приповерхностном слое и плавно спадает с глубиной. Согласно выполненным расчетам в приповерхностном слое вклад в обратную моду вносят осцилляции на периодах 10–60 мин – 11%, колебания на периодах 1 ч – 2 сут – 80%, на периодах 2–3 сут – 7% и на периодах 3–4 сут – 2%, далее вклад обратной моды отсутствует. Однако в 2020 г. при среднегодовой скорости течения, равной 5,8 см/с в приповерхностном слое, вклад обратной моды зафиксирован на периодах до 7 сут. В 2021 г. среднегодовая скорость течения в приповерхностном слое имела значение 8,3 см/с, близкое к среднемноголетнему.

Представленные результаты позволяют оптимизировать новые знания об особенностях вдольбереговой циркуляции вод прибрежного экотона у северного побережья Черного моря.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0555-2021-0005 «Прибрежные исследования».

ВЛИЯНИЕ КРУПНЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПРИРОДНО-ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ ОРНИТОФАУНЫ

**Ю. А. Леднова [✉], М. Б. Шилин, Е. А. Румянцева,
Р. И. Гайнанова, М. Ю. Меньшакова**

МАГУ, Мурманск, Россия
[✉] *lednovajulia@mail.ru*

Ключевые слова: Арктика, орнитофауна, арктическая экосистема, уязвимость, индикаторный подход.

Арктика обладает уникальной природно-экологической спецификой, связанной с природно-климатическими особенностями, повышенной уязвимостью местных экосистем и сложными сочетаниями природных и техногенных проблем. Это связано с существенными климатическими изменениями в глобальных масштабах, которые в приполярных регионах, включая непосредственно Мурманскую область, носят наиболее выраженный характер. Происходит мощная интенсификация процесса хозяйственного освоения Арктического региона, что для Мурманской области сопровождается созданием и эксплуатацией значительного количества крупных инфраструктурных объектов, включая портовые комплексы. Одним из приоритетов и ключевым принципом развития Арктики должно стать обеспечение баланса между присутствием человека и сохранением окружающей среды.

Актуальность проекта обусловлена ростом числа и разнообразия крупных техногенных объектов в береговой зоне арктических морей в условиях потепления климата, что делает необходимым создание системы классификационных признаков и оценку влияния инфраструктурных объектов в Арктическом регионе. Проект нацелен на изучение возможности использования показателей состояния элементов природной экосистемы при оценке природно-экологической устойчивости арктического территориального объекта, расположенного

в Мурманской области, вследствие влияния строящегося и/или эксплуатируемого крупного техногенного объекта. В качестве экологического показателя предлагается использовать орнитофауну как один из важнейших компонентов биологических сообществ приморской береговой экосистемы Мурманской области – транзитного региона миграции птиц.

Объекты орнитофауны как биоиндикаторы устойчивости экосистем характеризуются заметностью в открытых ландшафтах и доступностью для мониторинговых наблюдений. Традиционно считалось, что любые техногенные работы негативно влияют на птиц, действуя как «фактор беспокойства» и вынуждая менять привычные места гнездования, стоянок и маршруты миграции. Однако крупные инфраструктурные объекты в Арктике могут оказывать и положительное воздействие на орнитофауну путем формирования новых привлекательных местообитаний, особенно в «голой» тундре и других районах с редкой крупной растительностью и природными объектами. Орнитофауна как индикатор природно-экологической устойчивости может указывать как на последствия влияния крупных техногенных объектов на арктическую береговую экосистему, так и на эффективность проводимых природоохранных мероприятий при хозяйственном освоении арктического региона.

В рамках проекта будет разработана технология мониторинга и прогноза влияния строительства и эксплуатации крупных техногенных объектов на природно-экологическую устойчивость береговых зон Мурманской области на основе показателей состояния орнитофауны как оценки природно-экологической устойчивости арктического территориального объекта.

На данный момент проведен обзор российского и зарубежного опыта, выявлены пути и методы исследования, проведены полевые работы по учету орнитофауны на выбранных техногенных объектах Мурманской области, включающих в себя мост, порт, судоремонтный завод и приморские поселения.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-27-20109, <https://rscf.ru/project/22-27-20109/>, и при финансовой поддержке Министерства образования и науки Мурманской области в рамках Соглашения № 111.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ШЕЛЬФЕ ПОЛУОСТРОВА КРЫМ

А. В. Лесин [✉], А. А. Пронин, Н. А. Римский-Корсаков

ИО РАН, Москва, Россия

[✉] *Lesin.av@ocean.ru*

Ключевые слова: шельф, Крым, эхолот, сейсмоакустический профилограф, спаркер, подводная разгрузка, углеводороды, пресные воды.

В настоящее время существуют общие представления о происхождении шельфа Крыма. Однако многие фундаментальные геологические и океанологические процессы образования континентальной окраины и особенности отдельных явлений пока не ясны и представляют собой крупную научную проблему. Так, среди разрывных нарушений шельфа и его обрамления есть сейсмогенерирующие, к которым приурочены места подводной разгрузки углеводородов. В отдельных районах, в том числе на восточном шельфе, сформировались залежи песков, имеющие промышленное значение.

При решении этих проблем наряду с традиционными необходимо применять новые методы, а именно: высокочастотное акустическое профилирование, сейсмозондирование и гидролокационную съемку для детальных геоморфологических и геолого-геофизических исследований шельфа Крыма.

Экспедиционные работы были выполнены в 116-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» в период с 22 апреля по 17 мая 2021 г. (26 сут) с использованием широкого спектра приборов, использующих различные частотные диапазоны геоакустического зондирования.

На маршруте постоянно велась батиметрическая съемка мощностью судового эхолота. Общая протяженность эхолотного промера 434 морские мили. На выбранных участках маршрута движения судна велось акустическое и сейсмоакустическое профи-

лирование верхней осадочной толщи при помощи среднечастотной сейсмоакустической аппаратуры, разработки компании «ГеонтШельф», представляющей собой электроискровой излучатель (спаркер) с энергией 600 дж и короткую сейсмокосу с 20 пьезоприемниками. Профили геофизической съемки составили общей протяженностью 235 морских миль.

В результате экспедиционных океанографических и геофизических работ на участке материковой отмели Восточного Крыма и частично на Кавказском побережье получены современные данные о геологическом строении этого района, а именно сейсмоакустические разрезы осадочной толщи и эхолотные профили рельефа дна, участков преимущественно глубоководной части шельфа. Таким образом, получена новая детальная информация о морфологии рельефа дна и геологическом строении современного осадочного чехла шельфа полуострова Крым и побережья Кавказа методами комплексного дистанционного геоакустического площадного зондирования, профилирования и эхолотирования. При этом продолжено совершенствование средств геофизических исследований на морском шельфе и методики их комплексного использования. Усовершенствованы сетевые решения передачи и хранения геофизических и навигационных данных.

Полученные данные позволят повысить эффективность планирования инженерных изысканий на шельфе Крыма, достоверно оценить воздействие процессов строительства техногенных морских объектов (причалов, морских платформ, дамб, траншей, карьеров, подводных кабелей и трубопроводов, намытых пляжей) на экологию шельфа, а также эффективно ликвидировать негативные последствия таких процессов.

Работа выполнена в рамках государственного задания темы № FMWE-2021-0010 при поддержке РФФИ (проект № 20-05-00384 «А»).

ПРОБЛЕМЫ И ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОРСКИХ ГРАНИЦ УСТЬЕВ МАЛЫХ РЕК

О. А. Лукашова ¹✉, С. В. Наривончик ¹, Р. Я. Миньковская ¹,
Н. Н. Дьяков ², Ю. А. Мальченко ²

¹ МГИ, Севастополь, Россия

² ГОИН, Москва, Россия

✉ luk_ok@mail.ru

Ключевые слова: морская граница устья, река Черная, Бельбек, Кача, Альма, коэффициент вариации солености воды, TS-анализ.

Природные и антропогенные изменения стока малых рек оказывают влияние на абиотические и биотические компоненты устьевых экосистем, изменяя соленость воды устьевых взморьев. Для рек Юго-Западного Крыма характерен паводочный режим стока. Во время паводков распределяющее влияние стока рек может распространяться, в зависимости от типа устьевого взморья и стока, на 3–13 км, а в период межени – уменьшаться до нескольких метров. Существенная изменчивость зоны влияния стока на устьевые взморья рек Черная, Альма, Кача и Бельбек затрудняет определение морских границ указанных рек, особенно учитывая неоднозначность рекомендаций по их определению в литературных источниках.

Поэтому одной из проблем устьевой океанологии и смежных наук является вопрос установления морских границ недостаточно изученных устьев малых рек. Эта процедура необходима для выделения устья в таксономическую природно-географическую единицу и выполнения объективного физико-географического районирования. Неопределенность морских границ устьев рек при условии нестационарности устьевых процессов и неустойчивой антропогенной нагрузки не только не позволяет установить размеры устьев, но и затрудняет осуществление в них хозяйственной и административной деятельности.

Предлагаемые в литературе способы определения морских границ устьев рек (съёмки при максимальном стоке рек и TS-анализ) не дают удовлетворительного решения этой проблемы.

Целью работы являлась апробация методик определения морских границ разнотипных устьев малых рек Юго-Западного Крыма.

Для этого выполнен критический анализ существующих методик определения морских границ устьев рек, создана база данных на основе имеющихся банков натуральных наблюдений ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН» и Севастопольского отделения ГОИН за 1990–2021 гг., рассчитаны основные статистические характеристики.

Структура водных масс взморьев исследовалась с помощью TS-анализа, а также совместного анализа полей распределения средних многолетних значений коэффициента вариации (C_v) и солености воды за 1990–2021 гг. Морские границы устьев рек Черная, Бельбек, Кача и Альма определялись по минимальному значению C_v , равному 0,01–0,02, то есть в пределах погрешности его определения ($\leq 10\%$). Коэффициенты вариации изменялись по акватории устьевых взморьев открытого типа в пределах 0,28–0,02, уменьшаясь по мере удаления от реки к морю. В Севастопольской бухте C_v солености воды от ее вершины к устью уменьшался с 0,13 до 0,01 в поверхностном слое воды, а в придонном – с 0,04 до 0,01. Однако здесь отсутствовала четкая тенденция к снижению коэффициента вариации вдоль оси бухты, так как, помимо речного стока, сбросы сточных вод дают дополнительное распределение, влияя тем самым на соленость воды и коэффициент вариации в Севастопольской бухте.

Установленные таким образом морские границы разнотипных устьев рек были близки к изогалинам 17,8–17,9‰. В связи с отмеченными тенденциями осолонения устьевых взморьев в 1990–2021 гг. отмечалось смещение средних многолетних морских границ устьев в сторону береговой черты. При этом дальность влияния среднего многолетнего стока малых рек на устьевые взморья открытого типа не превышала 1 км (максимального – 3 км), а морской границей устьевого взморья р. Черной можно считать устье Севастопольской бухты.

Полученные результаты являются приближенными и требуют дальнейшего уточнения с помощью расчетных методов, математического моделирования и использования спутниковых данных.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КИСЛОРОДА В ВОДАХ
ПРОЛИВА БРАНСФИЛД (ЮЖНЫЙ ОКЕАН)
В ЯНВАРЕ 2022 ГОДА**

А. В. Масевич

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

Ключевые слова: кислород, насыщение кислородом, пролив Брансфилд, Антарктика.

В 2022 г. работы по изучению гидрохимической структуры в проливе Брансфилд проводились в рамках 87-й экспедиции НИС «Академик Мстислав Келдыш» и включали в себя три поперечных разреза – Восточный (7 гидрохимических станций), Центральный (7 станций) и Западный (4 станции).

В рамках исследования проводилось изучение изменения распределения кислорода как одного из маркеров выделения различных водных масс.

Гидрологическую структуру в проливе Брансфилд формируют струи трех течений. С северо-запада в пролив проникают воды южной ветви Антарктического циркумполярного течения (АЦТ), а на юго-востоке – воды из моря Уэдделла. Южная ветвь АЦТ совместно с водами шельфа Южных Шетландских островов формирует пограничное течение, теплые соленые воды которого направлены на северо-восток. Воды моря Уэдделла (холодные, высокосолёные) изначально распространяются в юго-западном направлении, а затем поворачивают на северо-восток вместе с пограничным течением. В северной части разреза на глубине 300–400 м наблюдается циркумполярная глубинная вода (ЦГВ), которая распространяется узкой струей над бровкой склона.

Выделенные струи течений хорошо просматриваются в распределении кислорода на разрезах через пролив. Содержание растворенного кислорода на разрезах изменялось от 4,64 до 8,00 мл/л, степень насыщения – от 59 до 102%. Минимальное содержание растворенного кислорода (4,64–5,15 мл/л) наблюдается в южной струе ЦГВ в северо-западной части пролива на глубинах

200–450 м, степень насыщения здесь составляет 59–64%. Максимальные значения растворенного кислорода (7,5–8,00 мл/л) приходятся на верхний 50-метровый слой в северо-западной части пролива и заглубляются до горизонтов 100–150 м в юго-восточной. В северо-западной части пролива, вблизи Южных Шетландских островов, наблюдается заток южной струи АЦТ из пролива Дрейка, а также пресноводный островной сток. Эти воды являются высоко-продуктивными, поэтому хорошо насыщены кислородом (98–102%). Юго-восточная часть пролива подвергается воздействию вод из моря Уэдделла. Поскольку вода из моря Уэдделла характеризуется более низкими температурами, концентрации кислорода в этой струе более высокие (7,8–8,0 мл/л) и практически не изменяются по всей вертикали.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме FNNN-2021-0009 «Экспериментальные исследования изменчивости гидрофизических, гидрохимических и биооптических полей на разных пространственно-временных масштабах для выявления особенностей климатических изменений океанографических условий в атлантической части Антарктики» (шифр «Антарктика»).

МЕТОД НЕИНВАЗИВНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ В РАННЕМ ОНТОГЕНЕЗЕ РЫБ

А. С. Мачихин¹, А. В. Гурылева^{1,2}✉, А. Б. Бурлаков^{1,3},
А. Г. Селюков⁴, В. И. Букова^{1,2}, Д. Д. Хохлов¹, Е. Е. Руденко⁵

¹ НТЦ УП РАН, Москва, Россия

² МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

³ МГУ, Москва, Россия

⁴ ТюмГУ, Тюмень, Россия

⁵ Сеченовский Университет, Москва, Россия

✉ guryleva.av@ntcup.ru

Ключевые слова: сердечно-сосудистая система, чир, ранний онтогенез, фенол, кадмий, видеокапилляроскопия.

Прижизненные морфофункциональные исследования организмов в экотоксикологии требуют использования

неинвазивных методов наблюдений для получения объективной картины состояния функциональных систем, в том числе сердечно-сосудистой системы (ССС). В настоящей работе для задачи оценки функционирования ССС использован метод видеокапилляроскопии, сочетающий оптическую микроскопию и пространственно-спектральный анализ изображений, позволяющий осуществлять экспресс-диагностику без специальной пробоподготовки и отличающийся легкостью технической реализации.

Для исследований патологических изменений ССС под воздействием токсикантов органического (фенол) и неорганического (кадмий) происхождения были использованы личинки представителя сиговых рыб чира *Coregonus nasus*, эмбриональное развитие которого продолжается 160–180 суток, часто вморозенные в лед. На фоне таких условий у вида отмечена высокая интенсивность кровообращения, что позволяет рассматривать его в качестве удобной модели для наблюдения изменений функционирования ССС в различных экстремальных условиях.

Предличинки чира в 1-суточном возрасте в двухкратной повторности рассадили в раствор фенола 0,02 мг/л (20 ПДК) и водный раствор сульфата кадмия 0,075 мг/л (15 ПДК). Ежедневно проводилась фиксация функционального состояния ССС пораженных особей методом видеокапилляроскопии. С помощью микроскопа и монохромного приемника излучения регистрировалась последовательность изображений исследуемой особи. После предварительной обработки изображений и их пространственно-временного анализа осуществлялось выявление областей, относящихся к кровотоку, и построение на их основе карт сосудов, позволяющих проводить морфологический анализ изменений ССС. Далее для области сердца рассчитывалась фотоплетизмограмма, т. е. сигнал, характеризующий перфузию в исследуемой ткани.

По прошествии 5 суток часть молоди была зафиксирована для иммуногистохимического анализа на выявление клеточного апоптоза и для гистологической оценки протекающих изменений.

Анализ изменений в фотоплетизмограмме и картах сосудов в ходе эксперимента позволил выявить значительные изменения

в сердечной ритмике пораженных фенолом особей. Так, в фотоплетизмограмме интоксцированных личинок чира на зубце QRS, в отличие от кардиограммы контрольных особей, выявлены двух- и трехвершинные спайки, что свидетельствует о проявлении аритмии в систолической фазе. Метод был верифицирован проведением гистологического и ИГХ-анализа. Последний отчетливо показал активизацию фактора клеточного апоптоза Bcl-2 в центральной зоне среднего мозга, тогда как в ходе гистологического анализа выявлены существенные деструктивные изменения в туловищных миомерах и миокарде.

Проведенное исследование продемонстрировало возможность использования видеокапилляроскопии для задач экспресс-оценки протекающих в организмах процессов в раннем онтогенезе в условиях острой интоксикации.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект 22-49-08012).

НЕИНВАЗИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ РЫБ В РАННЕМ ОНТОГЕНЕЗЕ

А. С. Мачихин¹, А. В. Гурылева^{1,2}✉, А. Б. Бурлаков^{1,3},
В. И. Букова^{1,2}, Д. Д. Хохлов¹

¹ НТЦ УП РАН, Москва, Россия

² МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

³ МГУ, Москва, Россия

✉ guryleva.av@ntcup.ru

Ключевые слова: мышечная ткань, поляризационные свойства, матрица Мюллера, визуализация, *in vivo*, оптическая диагностика, лучеперы, промысловые рыбы, осетровые.

Взаимодействие поляризованного света с рассеивающими средами широко используется в биологии и медицине, в том числе для исследования тканей рыб. Визуализация пространственного распределения параметров поляризации излучения после взаимодействия с организмом особенно эффективна для анализа мышечной ткани из-за специфики ее строения.

Существуют работы, посвященные детальным исследованиям мышечной ткани рыб методами кросс-поляризации, сканирующей поляризационной микроскопии, поляризационно-чувствительной оптической когерентной томографии и др. Для реализации указанных методов, как правило, требуется сканирование по пространству или спектру. Свободен от указанного недостатка ранее предложенный авторами метод однокадровой визуализации неанестезированной рыбы *in vivo* в режиме реального времени на основе регистрации изображений с помощью поляризационной матрицы и их цифровой обработки.

Данный метод апробирован лишь на *Danio rerio* – признанном модельном объекте для биомедицинских исследований. В настоящей работе показана возможность применения метода однокадровой визуализации структуры мышечной ткани в раннем онтогенезе для лучеперых рыб.

Метод реализуется с помощью микроскопа, работающего в проходящем свете, и поляризационного сенсора. Чувствительные элементы такого сенсора покрыты матрицей из поляризаторов, размещенных в блоках по четыре пикселя и ориентированных под четырьмя разными углами – 0, 45, 90 и 135. Каждый такой блок позволяет вычислять угол ориентации и степень линейной поляризации света для одной точки изображения, а весь сенсор – получать их пространственные распределения, обеспечивающие визуализацию структуры мышечной ткани и количественную информацию о развитии мышц.

Объектом эксперимента являлись зародыши осетра *Acipenser*. Фиксация карт структуры мышечной ткани производилась с 6-го до 22-го дня после оплодотворения. Впервые были получены карты мышечной ткани лучеперых рыб, а также впервые оптические поляризационные методы были применены к промышленным видам рыб.

Предложенный подход может стать основой для разработки бесконтактного и высокопроизводительного метода контроля состояния промысловых видов рыб в рыбных хозяйствах для своевременной выбраковки особей с нарушениями развития, а также для мониторинга популяции в зонах с неблагоприятной экологической обстановкой. Кроме того, проведенное исследование может быть полезно для изучения развития, патологий, поведения и других аспектов жизни лучеперых рыб,

а также для оценки экологических, токсикологических и других факторов, влияющих на жизнедеятельность животных.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 22-49-08012).

ПРОБЛЕМЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭКСПОЗИЦИЯХ ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫХ МУЗЕЕВ

В. Н. Медведева

ММО, Калининград, Россия

✉ *v.stepancova@yandex.ru*

Ключевые слова: музей, экспозиция, проектирование, природные процессы, проблемы представления научных данных.

Стратегия рационального морского природопользования формируется соответственно пониманию объекта пользования. Его невозможно достичь без масштабной, направленной на разные слои населения популяризации морской науки.

Морские музей, музеи естественно-научной направленности в этой ситуации приобретают особую роль. Их общая цель – повышение осведомленности посетителей об объектах показа: разъяснение законов природы, знакомство с техническими достижениями, объяснение последствий тех или иных событий в историческом масштабе.

В таких учреждениях требуются особые, нестандартные формы подачи материала. Наряду с традиционными экспонатами, появляются интерактивные и мультимедийные инсталляции, которые можно трогать, поднимать, даже нюхать, получая при этом богатый сенсорный опыт. Проектирование подобных экспонатов – сложная комплексная задача, поскольку наряду с игровым компонентом, стимуляцией двигательной активности, каждый из них должен побуждать в конечном итоге к получению новых знаний и постижению законов природы.

Основными критериями для разработки подобных экспонатов являются:

1) достоверность. Необходимо сохранить научную достоверности при упрощенном представлении материала;

2) междисциплинарность. Для правильной интерпретации условий формирования и/или протекания природного процесса обязательным становится использование междисциплинарного подхода и сравнительного метода при подаче материала;

3) аттрактивность. Использование визуально и тактильно привлекательных инсталляций и экспериментальных моделей, «дружелюбного» интерфейса программ;

4) сотрудничество. При разработке инсталляций, моделей, экспериментальных устройств рабочая группа должна состоять из сотрудника музея, курирующего заданную тематику, научного сотрудника, занимающегося изучением выбранного вопроса/явления/процесса, инженера-проектанта, художника и сотрудника методического отдела Музея.

Необходимо также учитывать особые факторы при эксплуатации интерактивных объектов и мультимедийных инсталляций:

1) коммуникация и сопровождение. Необходимость присутствия на площадке коммуникатора для пояснения работы представленных комплексов (заменить реально присутствующего на площадке человека практически невозможно, в особенности когда представляемый объект является действующим экспериментальным комплексом). Особое внимание должно быть уделено посетителям, чьи фрагментарные знания, «ложные знания» и вера в «научные» фэйки и мифы, неподготовленность к принятию информации о многофакторных, сложно протекающих процессах может мешать установлению причинно-следственных связей;

2) техническое обслуживание. Наличие на площадке Музея лаборанта-инженера для пусконаладки, калибровки, чистки представленных моделей.

При условии нахождения оптимального алгоритма для решения имеющихся проблем и выстраивания правильной модели при создании и использовании экспериментальных объектов в музейной экспозиции, можно получить новый эффективный инструмент для информирования населения о природных процессах, что даст потенциальную возможность вывести понимание принципов морского природопользования на новый уровень.

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КЛАСТЕР – НОВЫЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ, ОСВОЕНИЮ И ПРОИЗВОДСТВУ МОРСКИХ И БИОРЕСУРСОВ ЧЕРНОГО МОРЯ

Д. В. Назаров^{1,2}

¹ «Композиты России» (МИЦ) МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

² Марихолдинг «ЮМАК», Москва, Россия

✉ Dmitry.v.nazarov@gmail.com

Ключевые слова: научно-производственный кластер, биоресурсы, морепродукты.

Работа посвящена изучению и обоснованию создания научно-производственного кластера (НПК) по воспроизводству и пополнению биоресурсов Черного моря. Выполнен обзор отечественной и глобальной практики развития аналогичных предприятий и институтов. Сделано технико-экономическое обоснование строительства и введения в эксплуатацию НПК на побережье Черного моря. Выполнена оценка социально-экономического и экологического воздействия деятельности НПК на окружающую среду, морскую флору и фауну. Оценили возможность применения продукции и исследований для фармакологической индустрии и биотехнологии в сфере производства косметики. Для подготовки использовали современные результаты и научно-исследовательских, и опытно-промышленных работ в области рыбоводства и воспроизведения морепродуктов. При этом учтен накопленный опыт самостоятельных, российских, советских и зарубежных исследований в области применения морепродуктов в области биотехнологии и рыбоводства (включая получение гидролизата мидий и его широкого последующего применения). Разработан концепт НПК и определена роль предприятия в качестве элемента общей системы использования и развития морских и биоресурсов Черного моря с последующим масштабированием данного подхода к организации аналогичных предприятий.

УСТОЙЧИВОСТЬ БЕТОНА И СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ МОРСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА. НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЙ

Д. В. Назаров ¹✉, В. А. Селезнев ²

¹ НОЦ «КОМПОЗИТЫ РОССИИ» (МИЦ) МГТУ им. Н.Э. Баумана

² ООО «МОСБАЗАЛТ», Москва, Россия

✉ dnazarov@emtc.ru

Ключевые слова: устойчивость, бетоны, растворы, снижение высолообразования, кладочные смеси, пуццоланы, метод испытаний высолообразование.

Одной из основных проблем при планировании развития береговой зоны моря является отсутствие надлежащих отечественных технологий и строительных материалов, которые обладают высокой эксплуатационной жизнеспособностью, наряду с относительно невысокой себестоимостью производства.

Для народного хозяйства РФ обустройство береговой зоны, включая объекты морского портового хозяйства, является важной задачей, не всегда отечественная наука и промышленность могут предложить адекватные современным требованиям строительные материалы, методы их испытаний и контроля качества.

В нашей лаборатории были исследованы свойства и разработаны новые методы испытаний бетонов, строительных растворов на основе цемента.

Разработаны высокопрочные ремонтные составы (бетоны), наливные полы, кладочные растворы с пониженной степенью высолообразования и пониженным водопоглощением за счет применения функциональных полимерных добавок на основе поливинилхлорида и кремнийорганических соединений; добились высокой прочности, быстрого набора прочности и химической стойкости к агрессивной среде (морской воде) с помощью пуццолановых добавок отечественного производства.

Основой для вышеупомянутых материалов являются портландцемент, песок различных фракций, химические и минераль-

ные пуццолановые добавки. Данные материалы могут быть применены в любых регионах и прибрежных зонах с различной соленостью воды.

Определение наличия высолов проводилось на образцах-балочках размером $40 \times 40 \times 160$ мм. 1 серия образцов испытывалась в течение 7 дней, после выдерживания образцов в нормальном климате в течение 28 сут образование высолов фиксировали по средствам визуального наблюдения. Образцы были помещены в песок, пропитанный 15%-ным раствором морской соли.

Испытания данных кладочных растворов показали, что три модификатора снижают водопоглощение образцов 2–6, причем снижение водопоглощения не коррелируется со стойкостью к высолообразованию. Водопоглощение образцов в присутствии добавок «Метамикс Антивисол-2» и «ERA 100» практически одинаковое (10%), и эффект снижения высолообразования близок. Силиконовый модификатор Silres D показывает более высокую эффективность как по снижению водопоглощения, так и по защите от высолов.

Однако добавки «ERA 100» и «SILRES D» негативно влияют на адгезию раствора к основанию, которая является одним из наиболее важных показателей для любого строительного раствора. «Метамикс Антивисол-2» повышает как адгезионную прочность, так и его прочность на изгиб и сжатие. Максимальный результат для раствора по адгезионной прочности, прочности на изгиб и сжатие, снижение водопоглощения и высолообразования достигается комбинацией «Метамикс Антивисол-2» и «Silres D». Таким образом, данный состав рекомендуется к применению для отделки и строительства в прибрежной береговой зоне, а также дальнейшей разработки цементных растворов различного назначения на основе комбинации «Метамикс Антивисол-2» и «Silres D».

ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОЛЕННОСТИ ВОДЫ УСТЬЕВЫХ ВЗМОРЬЕВ МАЛЫХ РЕК ЮГО-ЗАПАДНОГО КРЫМА В СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД

С. В. Наривончик¹ ✉, О. А. Лукашова¹, Р. Я. Миньковская¹,
Н. Н. Дьяков², Ю. А. Мальченко²

¹ МГИ, Севастополь, Россия

² ГОИИ, Москва, Россия

✉ Narivonchik@mhi-rasl.ru

Ключевые слова: соленость воды, изменчивость, устья рек, река Черная, Бельбек, Кача, Альма.

Процессы взаимодействия речной воды с осолоненной водой устьевых взморья являются важным фактором формирования устьевых экосистем. В качестве основного индикатора этих процессов традиционно используется соленость воды. В литературных источниках основное внимание уделялось изменчивости солености воды устьевых взморьев крупных рек, поскольку большие реки оказывают влияние на режим моря.

Устья малых рек Севастопольского региона с открытыми устьевыми взморьями (Кача, Бельбек, Альма) практически не изучались, а исследования режима солености Севастопольской бухты ограничены 2012 г. В настоящее время значение указанных устьев в экономике Крыма возрастает. В акваториях рек Бельбек, Кача и Альма развивается рекреация и туризм, в Севастопольской бухте, кроме того, осуществляется судоходство, побережья застраиваются, сток малых рек зарегулирован и используется для водообеспечения региона.

Цель работы – исследование изменчивости солености воды устьевых взморьев разнотипных устьев малых рек Юго-Западного Крыма в современный период.

Для достижения этой цели систематизирована база данных природных наблюдений; построены средние многолетние поля распределения солености воды и выполнен их анализ; получены экстремальные характеристики зон распреснения в годы

с максимальным и минимальным стоком рек; выявлены тенденции солёности воды.

В качестве информационной базы использованы экспедиционные данные Морского гидрофизического института и Севастопольского отделения ГОИН за 1990–2021 гг. Солёность воды определялась аргентометрическим методом и по электропроводности. Точность определения солёности распреснённой воды не превышала $\pm 0,02\%$.

Средний многолетний сток воды в вершины устьев рассматриваемых рек составлял около $0,2 \text{ км}^3/\text{год}$. Однако, несмотря на его внутригодовое регулирование водохранилищами и незначительное влияние на солёность воды устьевых взморьев в меженный период, во время половодья и значительных паводков он увеличивался в 60–200 раз, а в засушливые годы уменьшался практически до нуля.

Поэтому изменчивость солёности воды в пространстве была существенной. По данным натурных наблюдений, ее вертикальный градиент на устьевых взморьях открытого типа (реки Бельбек, Кача, Альма) изменялся в пределах $0,01\text{--}0,10 \text{ ‰/м}$, в Севастопольской бухте – $0,01\text{--}0,23 \text{ ‰/м}$. В отдельные годы вертикальный градиент солёности воды в бухте достигал $1,3\text{--}3,8 \text{ ‰/м}$, на открытых устьевых взморьях – $0,8\text{--}1,5 \text{ ‰/м}$. Горизонтальный градиент солёности воды в среднем был равен $0,2 \text{ ‰/км}$ (Севастопольская бухта) и $0,1\text{--}0,6 \text{ ‰/км}$ (открытые устьевые взморья), максимальный достигал $2,2 \text{ ‰/км}$ (в бухте) и $4,8 \text{ ‰/км}$ (на взморьях рек Бельбек, Кача и Альма). Минимальная солёность поверхностного слоя воды, $4,04\%$, отмечалась в Инкерманском лимане (2015 г.), максимальная, $18,8\%$, в Севастопольской бухте (2016 г.). Открытые устьевые взморья опреснялись до $11,2\%$ (1992 г., р. Кача) и осолонялись до $18,2\%$ (2020 г., р. Кача) и $18,5\%$ (2020 г., р. Бельбек).

В период 1990–2021 гг. отмечалась общая тенденция осолонения устьевых взморьев разного типа. В среднем солёность воды на взморьях рек Бельбек, Кача и Альма увеличивалась на $0,03\text{--}0,05\%$ в год, а в Севастопольской бухте – на $0,02\text{--}0,03\%$ в год.

Выполненная оценка изменчивости солёности воды будет использована для анализа современного состояния устьев рек и оценки его возможных изменений под влиянием природных и антропогенных факторов.

ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ФОРМ АЗОТА В ГЛУБОКОВОДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Н. А. Орехова ✉, А. В. Вареник, С. И. Кондратьев

МГИ, Севастополь, Россия
✉ natalia.orekhova@mhi-ras.ru

Ключевые слова: биогенные элементы, азот, Черное море.

В работе приведено описание вертикального распределения неорганических форм азота – нитритов, нитратов и ионов аммония в центральной части Черного моря по данным, полученным на НИС «Профессор Водяницкий» в период 2016–2019 гг. Пробы воды отбирались в шельфовом и глубоководном районах, на материковом склоне в диапазоне глубин – от поверхности до 2000 м, охватывая зоны с аэробными, анаэробными и субкислородными условиями.


Было отмечено, что от поверхности до начала оксиклина вблизи изопикнической поверхности $\sigma_t = 14,5 \text{ кг/м}^3$ концентрации нитритов и нитратов находились на уровне 0,06 мкМ и 2–3 мкМ соответственно, содержание аммония не превышало 0,6 мкМ. Динамика концентрации минеральных форм азота определялась преимущественно аэробным окислением взвешенного органического вещества, а также окислением ионов аммония до нитратов – нитрификацией. Для вертикальных профилей нитритов было характерно наличие двух максимумов на изопикнах $\sigma_t = 14,0 \text{ кг/м}^3$ и $\sigma_t = 15,9 \text{ кг/м}^3$, что определяется процессами нитрификации в аэробном слое вод и денитрификации в субкислородной зоне. Вертикальное распределение нитратов показало увеличение концентрации с глубиной, максимальные значения (4–5 мкМ) наблюдались на изопикнах $\sigma_t = 15,2\text{--}15,5 \text{ кг/м}^3$. Снижение концентрации нитратов вблизи границы появления сероводорода ($\sigma_t = 16,1 \text{ кг/м}^3$) является результатом денитрификации, которая сопровождается образованием молекулярного азота. При этом также происходит накопление нитритов. Появление ионов


аммония с концентрацией 0,95 мкМ было зафиксировано на изопикне $\sigma_t = 16,0 \text{ кг/м}^3$, после чего содержание аммония монотонно возрастало с глубиной, достигая величины около 100 мкМ на глубине 2000 м.

При этом выраженных закономерностей в пространственно-временном распределении нитратов и ионов аммония по разрезам от северо-западного до восточного района не выявлено. Максимальные концентрации нитратов невозможно привязать ни к сезону, ни к географическому положению.

Работа выполнена в рамках государственного задания 0555-2021-0004 «Фундаментальные исследования океанологических процессов, определяющих состояние и эволюцию морской среды под влиянием естественных и антропогенных факторов, на основе методов наблюдения и моделирования» и 0555-2021-0005 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей».

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПРИМОРСКИХ ТЕРРИТОРИЙ (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ)

А. В. Остроухов , Е. М. Климина

ИВЭП ДВО РАН, Хабаровск, Россия
 *Ostran2004@bk.ru*

Ключевые слова: морское пространственное планирование, территориальное планирование, Дальний Восток, Хабаровский край, устойчивое природопользование.

Несмотря на то, что проблемы обеспечения экологической безопасности экономического развития территории широко декларируются и прописаны в программах развития различного уровня (федерального, регионального, муниципального), их реализация чаще всего сводится к компонентной схеме «вода – воздух – отходы – ООПТ». При этом во всех программах развития

различных территорий Дальнего Востока анализируется современное состояние охраны среды без комплексного анализа последствий осуществления многочисленных хозяйственных проектов. Фрагментарность, присущую отраслевому подходу к планированию и управлению, должны были преодолеть интегрированные схемы территориального развития (субъектов РФ и муниципальных районов) и схемы морского пространственного планирования акваторий РФ. Однако, несмотря на разработку Минэкономразвития России в 2017 г. «Методических рекомендаций по разработке и корректировке стратегии социально-экономического развития субъекта Российской Федерации и плана мероприятий по ее реализации», где вводятся понятия «приморский субъект Российской Федерации» и «приморские территории и прибрежные акватории» как отдельный единый объект государственного управления, в Схеме территориального планирования Хабаровского края от 17.01.2019 года вопросы комплексного использования, охраны и управления прибрежными акваториями не отражены (за исключением общей характеристики природно-ресурсного потенциала). При этом в ней предлагается реализация более 100 различных проектов в береговой зоне: в области рыболовства и рыборазведения, развития транспортной инфраструктуры и связанной с ней переработкой ресурсов.

Аналогичная картина наблюдается и в Программах территориального развития Ванинского и Советско-Гаванского районов Хабаровского края, принятых в 2020 г. Несмотря на то что данные районы относятся к территориям опережающего развития (режим свободного порта) и в пределах портовой зоны «Ванино – Советская Гавань» предусмотрена реализация 19 крупных экономических проектов, в данных программах экологические аспекты сведены к фиксации современного состояния охраны компонентов природной среды, площадям ООПТ и планам по снижению выбросов.

Наряду с отсутствием комплексной оценки и прогноза влияния реализуемых проектов на окружающую среду в Программах развития Хабаровского края и его прибрежных районов отсутствует рекомендованный Минэкономразвития отдельный прибрежно-морской раздел, который должен стать основой для пере-

хода от отраслевого (секторального) к комплексному (интегрированному) планированию развития и управлению морской деятельностью в границах их пространственных полномочий (1-мильная зона для административного района и 12-мильная для субъекта РФ). При этом в случае реализации крупных проектов развития портового хозяйства Ванино и Советской Гавани в зоне непосредственного неблагоприятного влияния (10 км) окажутся 25 из 83 прибрежных рыбопромысловых участков, используемых в настоящее время.

К сожалению, функции государственного планирования и управления развитием и освоением территории носят фрагментированный характер. Ни один из существующих федеральных и региональных органов исполнительной власти не может сегодня самостоятельно обеспечить проведение интегрированной и целесообразной экономической и экологической политики. Все это с учетом реализации схем интенсивного развития территории Дальнего Востока может привести к ухудшению состояния окружающей среды и нарастанию экологических проблем.

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ РОЛЬ КРУПНЫХ НАВОДНЕНИЙ В ЗАГРЯЗНЕНИИ ВОД АМУРСКОГО ЛИМАНА

А. В. Остроухов [✉], Г. В. Харитонова

ИВЭП ДВО РАН, Хабаровск, Россия
[✉] *Ostran2004@bk.ru*

Ключевые слова: загрязнение прибрежных вод, наводнения на крупных реках, река Амур, Амурский лиман.

Важным фактором обеспечения устойчивого природопользования акваторий морей России является сохранение экологического благополучия морской среды. Одним из значимых источников поступления загрязняющих веществ на акваторию морей являются речные воды, особенно крупных рек, аккумулирующих сток со значительных территорий. Так, воды реки Амур, имеющей площадь водосбора 2,129 млн км² (9-е место в мире), несут

в себе загрязняющие вещества со значительной части севера КНР и Дальнего Востока. В пределах Хабаровского края, несмотря на значительные усилия по обеспечению экологического благополучия территории, вода в реке относится к категории «загрязненные» (3-й класс, разряд «а») и «очень загрязненные» (3-й класс, разряд «б»).

В качестве конечного водоема, где аккумулируется значительное количество загрязняющих веществ в период низкой и средней водности, выступает Амурский лиман. Однако исследования последних лет показали, что из-за особенностей ветрового режима, специфики водного режима реки Амур (значительные колебания расходов и стока: среднемноголетний сток – 11300 м³/с или 360 км³/год, максимальный – 46400 м³/с или 1460 км³/год) в период прохождения крупных паводков и наводнений влияние водных масс реки Амур прослеживается и на прилегающих акваториях. Так, по данным Ж. Р. Цхай, опресняющее действие стока р. Амур в период летне-осеннего наводнения 2013 г. в летний период прослеживалось у охотоморского шельфа о-ва Сахалин, а также центральной части Охотского моря. Осенью воды этого наводнения вызвали значительное понижение солености в зал. Анива, расположенном более чем в 1000 км от устья реки. В результате наряду с экосистемами Амура и Амурского лимана в период высокой водности антропогенное загрязнение может наблюдаться на акватории Сахалинского залива, пролива Невельского и Татарского пролива.

Работы по изучению антропогенного влияния на экосистемы приустьевой части реки Амур в настоящее время носят несистемный характер. В 2005–2009 гг. они проводились в Институте водных и экологических проблем ДВО РАН совместно с Исследовательским институтом человека и природы (Япония) в рамках проекта «Амур – Охотск». В ходе реализации проекта проведена количественная оценка выноса р. Амур в морскую акваторию фосфатов, нитритного и нитратного азота (по данным многолетних наблюдений Дальневосточного УГМС). Так, годовой сток нитритного азота из Амура в море был оценен в 5,9 тыс. т, вынос нитратного азота составляет в среднем около 41,0 тыс. т, среднемноголетний сток фосфатов около 18,5 тыс. т. При этом, по более поздним данным В. П. Шестеркина, в период паводка 2013 г. сток

основных ионов достигал 19,6 млн т/сут, N нитратов и N аммония – 64,5 и 16,3 тыс. т N/сут.

В последние два десятилетия в связи с ростом населения и промышленного производства в северных провинциях Китая, а также при реализации ряда инфраструктурных и промышленных проектов развития Российского Дальнего Востока наблюдается резкое увеличение антропогенной нагрузки на территорию бассейна р. Амур. Учитывая переориентацию России на азиатский вектор развития, следует ожидать сохранения и увеличения антропогенного пресса на водные экосистемы. Все это поднимает вопрос о необходимости создания постоянно действующей сети государственного экологического мониторинга состояния прибрежных вод Российской Федерации, в том числе в местах впадения крупных рек.

Работа проводилась при поддержке научного проекта Российского фонда фундаментальных исследований № 19-55-80022 «Влияние урбанизации и наводнений на химическое загрязнение крупных речных бассейнов (на примере Амура)».

ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ГОРОДА СЕВАСТОПОЛЯ

А. В. Пархоменко ¹✉, Т. В. Панкеева ², Н. В. Миронова ²

¹ МГИ, Севастополь, Россия

² ИнБЮМ, Севастополь, Россия

✉ avparkhomenko52@gmail.com

Ключевые слова: ландшафт, береговая зона, особо охраняемые природные территории, Черное море.

Концепция развития сети особо охраняемых природных территорий (ООПТ) России предполагает организацию развитой экологической сети, которая рассматривается как наиболее эффективный путь сохранения генофонда растительного и животного мира, типичных и редких ландшафтов, поддержания

благоприятных экологических условий. Несовершенство пространственной организации объектов ООПТ ведет к нарушению функционирования заповедных объектов, что приводит к деградации ландшафтного и биологического разнообразия. Тем не менее вопросы сопряжения наземных и морских экологических сетей в контактной зоне суша – море слабо разработаны в научной литературе. В связи с этим разработка концепции экологических сетей, повышение природоохранного статуса охраняемых объектов с включением в их состав прибрежных территорий на современном этапе природопользования приобретает актуальность. Комплексный подход предполагает изучение береговой зоны на основе системы территориально-аквальных единиц, которые служат носителями информации и непосредственными объектами исследований. Методологическую основу при этом обеспечивает ландшафтный подход.

Своеобразие географического положения исследуемого района г. Севастополя заключается в том, что территория граничит как с зоной широколиственных лесов северного макросклона Главной гряды Крымских гор, так и с субсредиземноморской растительностью южного берега, что обусловило биологическое и ландшафтное разнообразие. С целью охраны уникальных ландшафтов в юго-западной части береговой зоны г. Севастополя созданы четыре объекта ООПТ: государственные природные заказники регионального значения «Мыс Фиолент» и «Караньский», памятники природы регионального значения «Прибрежный аквальный комплекс (ПАК) у мыса Фиолент» и «Мыс Фиолент».

На основе проведенных ландшафтных исследований (2019–2021 гг.) составлена ландшафтная карта береговой зоны юго-западной части г. Севастополя. Выявлено, что в наземной части доминирует местность крутых и обрывистых склонов, сложенных магматическими и осадочными известняковыми породами с фишашково-можжевельным редколесьем. Для ландшафтной структуры побережья характерна местность подводного склона, сложенного грубообломочными отложениями, где преобладают «цистозировые» и «филлофоровые» фитоценозы. Ландшафты

обладают высокой аттрактивностью, характеризуются сохранностью, многие виды флоры и фауны охраняются на региональном, государственном и международном уровне.

Особенность положения ООПТ юго-западной части г. Севастополя состоит в том, что они имеют сопряженное положение. Однако разный природоохранный статус ООПТ мало способствует сохранению и восстановлению природных комплексов. Для оптимального функционирования ООПТ предложено объединение заповедных объектов в единый наземно-морской резерват с установлением дифференцированного режима охраны и природопользования на основе научно-обоснованного функционального зонирования территории и приоритетным развитием экологического туризма.

ТЕКТНИКА И РЕЛЬЕФ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ МОРЯ КАК ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКТОР, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ СОСТАВ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДОННЫХ БИОЦЕНОЗОВ

К. М. Петров

СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия
✉ *k.petrov@spbu.ru*

Ключевые слова: тектоника, рельеф, глобальные морфоструктуры, региональные морфоструктуры, локальные морфоструктуры, подводные ландшафты, донные природные комплексы.

Обсуждается роль тектоники, обуславливающей глобальные формы рельефа морских окраин России, а также значение региональных и локальных структур в обособлении подводных ландшафтов и донных природных комплексов.

У морских окраин России выделяются области, различающиеся знаком и интенсивностью новейших тектонических движений. Например, шельфы эпиконтинентальных морей Евроазиатского сектора Северного Ледовитого океана формируются на испытывающих умеренное

дифференцированное движение подводного продолжения платформ Восточной Европы, Западной и Центральной Сибири. Материковые окраины тихоокеанского сектора Азии, формирующегося в зоне столкновения тихоокеанской плиты с материком, характеризуются активным горообразованием, вулканической деятельностью, абразионными берегами и узкими шельфами, окаймляющими котловинные моря.

Разнообразии рельефа берегов определяется новейшими складчатыми структурами. Складки, оси которых направлены вдоль берега (продольные берега), контролируют развитие узкой береговой зоны и шельфа. Дислокации, оси которых направлены по нормали к береговой линии (поперечные берега), определяют развитие широкой береговой зоны и шельфа.

Чередование положительных и отрицательных структур определяет места абразионных и аккумулятивных форм рельефа. С поднятиями связаны высокие абразионные берега, каменистые грунты и сессильная биота. Понижения определяют прогибы земной коры, заполненные рыхлыми четвертичными отложениями, в современном рельефе они представлены аккумулятивными равнинами, населенными биотой рыхлых грунтов.

Региональные морфоструктуры определяют разнообразие ландшафта на побережье и на дне морских мелководий. В качестве примера обсуждается чередование морфоструктур берегов Каспийского моря у Азербайджана. Апшеронский полуостров и ландшафт Апшеронского архипелага представляют берег поперечного типа, приуроченный восточному погружению оси главного Кавказского хребта. В ландшафте Апшеронского архипелага локальные морфоструктуры определяют разнообразие донных природных комплексов (подводных угодий). Приводится характеристика пяти подводных угодий, особенности их рельефа, грунтов и донных биоценозов.

ПОСТУПЛЕНИЕ ПЛАВАЮЩЕГО МОРСКОГО МУСОРА С ВОДАМИ РЕКИ СЕВЕРНАЯ ДВИНА И РЕКИ ОНЕГА (БАССЕЙН БЕЛОГО МОРЯ)

М. П. Погожева^{1,2}✉, Е. И. Котова², М. А. Микушева^{2,3},
А. Ю. Кожевников⁴, Е. В. Данилова⁴, Е. В. Якушев^{2,5}

¹ ГОИИ, Москва, Россия

² ИО РАН, Москва, Россия

³ МФТИ, Долгопрудный, Россия

⁴ ЦКП НО «Арктика», Архангельск, Россия

⁵ NIVA, Осло, Норвегия

✉ pogojeva_maria@mail.ru

Ключевые слова: загрязнение морских вод, морской мусор, речной мусор, Арктика.

Данное исследование было посвящено первичной оценке поступления плавающего мусора с водами р. Северная Двина и р. Онега в Белое море. Мониторинг плавающего мусора проводился в дельте р. Северная Двина и устье р. Онега бассейна Белого моря в 2021 г. в течение безледного периода (май – ноябрь). Для регистрации данных использовалась международная методика, включающая визуальные наблюдения и регистрацию мусора с помощью специализированного мобильного приложения. Методика содержит единый перечень и классификацию наблюдаемого плавающего мусора, что упрощает процесс обработки и анализа данных и позволяет их сравнивать с данными подобного мониторинга в других районах. Полученные с помощью приложения данные помогают получить представление о количестве плавающего мусора, поступающего с водами исследуемых рек в море, позволяют проанализировать его состав по категориям и приблизительный размер.

Всего в процессе мониторинга было идентифицировано 1713 частиц, 77% из которых было естественного происхождения (в основном листья, дерево, перья птиц). Среди частиц антропогенного происхождения 59,6% было представлено разного вида пластиками, 27,7% – обработанное дерево

(антропогенного происхождения), 8,5% – бумага/картон, 2,7% – металл, 1,1% – резина, < 1% – текстиль. Общая скорость поступления плавающих частиц варьировала от 13 частиц/час в ноябре до 85 частиц/час в июне.

ТРАНСГРЕССИВНО-РЕГРЕССИВНЫЕ ЦИКЛЫ ВОСТОЧНО-АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

О. А. Поморцев ¹✉, Д. Ю. Большинов ², С. А. Правкин ²

¹ СВФУ, Якутск, Россия

² ААНИИ, Санкт-Петербург, Россия

✉ pomortsev@mail.ru

Ключевые слова: трансгрессивно-регрессивные циклы, восточно-арктические моря, палеогеографические свидетельства, террасы, шкала Миланковича, Северная Азия.

Вопрос об обширных затоплениях суши и ледниковых экспансиях в плейстоцене не нов и остается ключевым для разгадки закономерностей временной изменчивости климата и ландшафтов. В отсутствие следов древнего покровного оледенения в Восточной Сибири мы обратились к исследованию геолого-геоморфологического положения и возраста толщ песчаных наносов приморских низменностей морей – Лаптевых и Восточно-Сибирского, а также террасовых комплексов речных долин низменных аккумулятивных равнин Северной и Центральной Якутии. Результаты исследований показали, что генезис этих отложений сопряжен с морским трансгрессивно-регрессивным циклом, проявившимся в рамках единого временного коридора активизации природных процессов в Северной Азии и Северной Америке.

Так, две наиболее древние датировки (IR-SL) террасовых отложений р. Лены (234 и 182 тыс. лет) и Вилюя (300 и 176 тыс. лет), как и три группировки более молодых позднеплейстоценовых и голоценовых радиоуглеродных и IR-SL-датировок (36–42,8; 27–29 и 8–10 тыс. лет) коррелируют

с кривой М. Миланковича, описывающей изменчивость соляного климата Земли с периодом около 41000 лет. Причем наиболее древние датировки 300 и 234 тыс. л. н. и группировки в хронологическом диапазоне 27–29 тыс. л. н. (пять датировок) совпадают с холодными экстремумами шкалы Миланковича. Остальные группировки датировок: 182 и 176 тыс. л. н., 36–42 тыс. л. н. (четыре датировки) и 8–11 тыс. л. н. (3 датировки) тяготеют к теплым экстремумам того же ритма.

Имеющиеся датировки позволяют говорить, что около 300–234 тыс. л. н. на волне холодных пиков инсоляции и роста общего увлажнения климата были намыты пески Алданской 50-метровой террасы и пески, перекрывшие бассейновые алевриты к северу от Кангаласского выступа у села Эдейцы в долине Средней Лены. Теплый пик кривой инсоляции, проявившийся около 182 тыс. л. н., также принес обводнение и нашел свое отражение во флювиальных песках, прислоненных к бровке 200-метровой террасы р. Лены в районе с. Эдейцы. Еще один теплый пик, проявившийся в позднем неоплейстоцене, сопоставляется с началом намыва отложений Кысыл-Сырского тукулана (36,8–42 тыс. л. н.) и накоплением торфа в буллейское время в Скалистых горах Северной Америки (> 42 тыс. л. н.).

Холодный пик инсоляции, последовавший за теплым, сопоставляется с намывом песков Бестяхской террасы р. Лены ($27,6 \pm 2,2$ тыс. л. н.), верхнеоплейстоценовой Николаевской террасы оз. Иссык-Куль, а также террасы Чуйской котловины и отложением террасовых галечников с раковинами моллюсков в Скалистых горах ($29,7 \pm 1$ тыс. л. н.). В это же время произошло накопление растительного детрита на поверхности Кысыл-Сырского тукулана ($28,4 \pm 0,6$ тыс. л. н.).

Самый последний – наиболее близкий к современности теплый пик кривой Миланковича – коррелирует с намывом двух крупных террас реки Лены и ее притоков – Сергеляхской (около 10000 л. н.) и Якутской (около 8200 л. н.). Он коррелирует также с периодом затухания эоловых проявлений на Кысыл-Сырском тукулане в связи с укреплением растительностью его поверхности (8140 л. н.) и накоплением моренных суглинков в устье ручья Карачан в долине реки Чон-Аксу на южном склоне хребта Кунгей-Ала-Тоо на Тянь-Шане (9130 л. н.).

Таким образом, история плейстоцена и голоцена восточно-арктических морей, как и внутриконтинентальных низменных равнин Якутии, тесно перекликается с историей крупнейших горно-ледниковых систем Евразии и Северной Америки – Тянь-Шаня, Алтая, Скалистых гор. В основе выявленных закономерностей лежит периодичность природных процессов, модулируемая 41000-летним ритмом М. Миланковича.

ТЕКТОГЕННЫЙ ПРИНЦИП РАЙОНИРОВАНИЯ БЕРЕГОВ ЯПОНСКОГО МОРЯ

Т. Д. Ракитин ✉, К. М. Петров

СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

✉ *tikhrakitin13@gmail.com*

Ключевые слова: берега Японского моря, тектогенный принцип районирования, морфоструктурные области, Горная страна Сихотэ-Алинь, Западно-Сахалинские горы, Татарский залив.

Ведущим фактором формирования берегов Японского моря служат новейшие и современные тектонические движения. На месте структур, испытывающих поднятие, формируются абразионные берега, на месте прогибов – аккумулятивные. Северная часть Японского моря обрамлена продольными складками хребтов Сихотэ-Алинь и Западно-Сахалинских гор. В Южном Приморье хребты простираются по нормали к берегу (берега поперечного типа). В северной мелководной части Татарского залива, где побережье испытывает тектоническое опускание, берега аккумулятивные. Особенности берегов северной части Японского моря дает основание выделить три морфоструктурные области:

I. Сихотэ-Алиньская область подразделяется на два района: южно-приморский и центрально-приморский. В первом хребты простираются по нормали к берегу. Здесь формируются разделенные мысами, глубоко врезаемые в сушу мелководные заливы

Амурский, Усурийский, Петра Великого и многочисленные острова. Шельф широкий. Во втором районе господствуют продольные берега, где оси складок направлены параллельно берегу. Берега слабоизрезанные, высокие, с активным клифом.

II. Островная Сахалинская область подразделяется на три района: северный район Западно-Сахалинских гор, перешеек Поясок и южный район Западно-Сахалинских гор. В первом и третьем районах рельеф берегов определяется хребтами Западно-Сахалинских гор, соответствующих одноименному антиклинорию. Берега продольные, высокие, преимущественно с активным клифом, окаймленным подводным поясом скал. Шельф узкий. В районе перешейка Поясок Западно-Сахалинские горы прерываются. Здесь интенсивность поднятия резко снижается, рельеф обусловлен системой коротких складок. На острове они обуславливают холмистый рельеф. Берега в основном аккумулятивные. Складки, продолжающиеся в море, формируют берег поперечного типа, шельф широкий.

III. Область берегов северной части Татарского залива объединяет долину р. Амур и северные берега о. Сахалин. Татарский залив имеет воронкообразную форму, узкой стороной обращенную к проливу Невельского, последний имеет выход в Сахалинский залив Охотского моря. Нижнее течение реки Амур занимает широкую аккумулятивную равнину на месте новейшего прогиба. Устье реки заканчивается обширным лиманом. Побережье о. Сахалин, окаймляющее север Татарского пролива, представлено денудационно-аккумулятивной равниной, испытывающей замедленное поднятие. Вдоль берега располагаются новейшие тектонические прогибы, берега аккумулятивные.

АНАЛИЗ ТОКСИЧНОСТИ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ С ПОМОЩЬЮ МОРСКИХ ГИДРОБИОНТОВ

И. И. Руднева ¹✉, М. В. Медянкина ², В. Г. Шайда ³,
О. В. Шайда ¹

¹ МГИ, Севастополь, Россия

² МГУТУ им. К.Г. Разумовского, Москва, Россия

³ ООО Экосервис-А, Москва, Россия

✉ svg-41@mail.ru

Ключевые слова: экотоксикология, биотестирование, нефтегазовый комплекс, гидробионты.

Функционирование прибрежного нефтегазового комплекса сопряжено с негативным, подчас экстремальным воздействием на морскую экосистему, приводящим к физическим, химическим и биологическим нарушениям природной среды. К наиболее опасным факторам риска относятся не только глобальные нефтяные разливы, постоянные утечки в прибрежной зоне, но и попадание буровых растворов в море. Проблема продолжает усугубляться в связи с интенсификацией нефтегазодобычи на шельфе, что требует оценки токсичности буровых растворов и их влияния на биоту.

Биотестирование этих токсикантов на разных представителях биоты Черного моря (зостера, гаммарусы, икра рыб) показало их неоднозначное действие, зависящее как от концентрации, так и от химического состава. В ряде случаев отмечен стимулирующий эффект буровых растворов, который выражался в ускорении роста зостеры в опытных группах по сравнению с контролем. Результаты исследований позволяют прогнозировать влияние загрязнений разной природы на флору и фауну моря.

ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОД СЕВАСТОПОЛЬСКИХ БУХТ

И. И. Руднева ¹✉, В. А. Терехова ², К. А. Кыдралиева ³,
А. А. Поромов ², А. И. Парамонова ⁴, В. Г. Шайда ⁵

¹ МГИ, Севастополь, Россия

² МГУ, Москва, Россия

³ МАИ, Москва, Россия

⁴ ИПЭЭ РАН, Москва, Россия

⁵ ООО Экосервис-А, Москва, Россия

✉ svg-41@mail.ru

Ключевые слова: экотоксикология, биотестирование, биоиндикация, севастопольские бухты, загрязнение.

Анализ качества вод разных акваторий Севастополя физико-химическими методами и методами биотестирования показал, что по содержанию тяжелых металлов вода из шести выбранных участков Севастопольской и Карантинной бухт различалась незначительно, а уровень этих компонентов по данным количественного химического анализа не достигал критических значений. Однако по данным биотестирования отмечено различие в качестве морской воды, которое выразилось в неодинаковой выживаемости личинок ракообразных и в различиях физиологических реакций микроводорослей.

Полученные результаты свидетельствуют об эффективности примененных методов биодиагностики качества морской среды и возможности их использования при оценке негативного воздействия различных видов загрязнителей.

СИСТЕМА ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В АРКТИЧЕСКОЙ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ

Е. А. Румянцева ¹✉, Г. Г. Гогоберидзе ¹, М. Б. Шилин ²

¹ МАГУ, Мурманск, Россия

² РГГМУ, Санкт-Петербург, Россия

✉ rumkate@rambler.ru

Ключевые слова: Арктика, геоинформационная система, природные и техногенные риски, береговое природопользование, управленческие решения.

В Арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ) в последние годы наблюдается четкая тенденция роста антропогенной нагрузки. С учетом уязвимости арктических систем, этому соответствует значительная интенсификация природных и техногенных рисков природопользования. В береговой зоне АЗРФ исторически осуществляется основная социо-экономическая деятельность. Это ведет к тому, что именно здесь проявляются процессы снижения безопасности берегового природопользования и повышения рисков уязвимости береговых эко-социо-экономических систем.

На основе концептуально разработанной многоуровневой модели рисков арктического берегового природопользования, с учетом риска каскадных катастроф и катастроф иерархических систем, рассмотрен прототип системы информационной поддержки управленческих решений, как механизма управления рисками природопользования в береговой зоне АЗРФ. Данная система реализована в виде ГИС-оболочки и позволяет для береговых эко-социо-экономических систем различного пространственного уровня (региональный, районный и локальный) получать оценку воздействия рисков природного и техногенного происхождения на объекты системы, причем как по отдельным видам рисков, так и по совокупности их взаимодействия. Благодаря картированию арктических береговых систем различного пространственного

уровня по степени риска природопользования на территориях в виде «карт рисков», появляется возможность выявления наиболее важных риск-факторов, проведения оценок возможных комбинаций отдельных показателей, например, воздействие совокупности природных риск-факторов, антропогенных риск-факторов, риск-факторов морской деятельности и т. п. Кроме того заложена модель рисков арктического берегового природопользования позволяет осуществлять размерные оценки рисков для конкретных территорий и конкретных объектов (либо их однородной совокупности), расположенных на ней, в виде монетарных и вероятностных оценок.

Практическая реализация системы информационной поддержки управленческих решений и механизмов управления рисками природопользования в береговой зоне АЗРФ дает возможность разрабатывать также прогнозы воздействия на составляющие арктических береговых эко-социо-экономических систем, с целью предотвращения каскадных катастрофических процессов в сложных иерархических структурах арктического природопользования.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-05-00312.

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ РЕКРЕАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ПРИБРЕЖНЫХ ЗОН МОРЕЙ РОССИИ

А. Ю. Санин

ГОИН, Росгидромет, Москва, Россия
✉ *eather86@mail.ru*

Ключевые слова: рекреационный потенциал, туристические потоки, виды туризма, пляжно-купальная рекреация, моря, прибрежные зоны, пляжи.

Важность приморских туристических районов для России сложно переоценить. Они играют ключевую роль для внутреннего туризма, который всегда был важен для экономики страны

и ее жителей, а в настоящее время его значение особенно возрастает в связи с начавшейся в России в 2020 г. пандемией COVID-19 и ее последствиями, существенно усложняющими и удорожающими зарубежные поездки, как и снижение уровня жизни многих россиян.

Следствием этого может стать либо резкое снижение количества любых туристических выездов за пределы своих населенных пунктов и регионов, либо резкая активизация межрегионального и внутрирегионального внутреннего туризма, причем меры государственной поддержки последнего и динамика туристических потоков в 2020–2021 гг. после начала пандемии указывает на значительную вероятность реализации именно второго сценария. В таком случае ожидается значительное увеличение количества туристов, прибывающих в наиболее популярные для отдыха регионы страны, в том числе и на отдельные приморские территории – Крым и Северокавказское побережье Черного моря, и в меньшей степени на побережье Азовского, Балтийского, Каспийского морей и Японского моря в окрестностях Владивостока.

Увеличение туристического потока на наиболее популярные среди туристов прибрежные территории ставит вопрос о необходимости сохранения их рекреационного потенциала, что позволит обеспечить возможность их использования в туристических целях не только в настоящем, а и в будущем. Для обеспечения сохранения рекреационного потенциала требуется оценка рекреационной емкости территории (ее способности «обслуживать» значительное количество туристов в один и тот же период времени без деградации ее природных ландшафтов), особенно там, где туристические потоки наиболее массовые.

Результаты такой оценки позволяют выявить факты превышения рекреационной емкости прибрежных туристических территорий, если они имеют место. Угроза чрезмерных рекреационных нагрузок на прибрежные зоны морей ставит вопрос о перераспределении туристических потоков как в пространстве, так и во времени. Последнее часто сдерживается как климатическими причинами, так и устоявшимися привычками и стереотипами, однако вполне может быть

достигнуто при развитии иных видов туризма, кроме популярной на прибрежных территориях пляжно-купальной рекреации.

Такие виды туризма, как экскурсионный, деловой, этнический, отчасти сельский и экологический, и ряд других зависят от климата намного меньше, чем купально-пляжная рекреация. Например, для Крымского полуострова виды туризма, которые возможно развивать в дополнение к популярной на полуострове экскурсионной и пляжно-купальной рекреации, определяются богатыми и разнообразными ресурсами полуострова, используемыми в настоящее время далеко не полностью и дающими возможность развития круглогодичных видов туризма (например, бальнеологической рекреации – использования ресурсов имеющих лечебных грязей для лечения и профилактики заболеваний).

Некоторые виды туризма могут развиваться, по сути, практически в любое время года и на любой территории, имеющей туристическую инфраструктуру, в частности средства размещения для туристов разного уровня комфортности, а также устойчивую репутацию туристического региона, дающего возможность отдыха от «рабочей повседневности». К ним относится деловой туризм (организация конференций, симпозиумов, конгрессов различной тематики и т. д.), событийный (организация различных мероприятий, главным образом для отдыха и развлечений, которые могут привлечь туристов и из соседних регионов), а также агротуризм (проведение отдыхающими времени в сельской местности, но с определенным уровнем комфорта), который хорошо сочетается с экскурсионным, особенно для жителей мегалополисов, желающих отдохнуть от темпа жизни в них.

Наконец, в Крыму существуют возможности для развития горнолыжного туризма (Ай-Петри, Ангарский перевал, Чатыр-Даг и другие горнолыжные курорты), наилучшее время для которого – зима и начало весны. На примере Большого Сочи, который намного активнее стал посещаться в зимний период после «скачка» в развитии инфраструктуры для горнолыжного туризма, связанного с проведением зимней Олимпиады в 2014 г., видно влияние этого вида туризма на выбор времени для посещения приморской территории. Многие рекреанты теперь посещают Большое Сочи в зимнее время, что позволяет

«не простаивать» объектам туристической инфраструктуры и «всему, что так или иначе связано с туризмом». Опыт Большого Сочи частично – насколько позволит финансовая ситуация – может быть перенят в Крыму, а в перспективе и в Дагестане и Приморском крае, для которых развитие горнолыжного туризма также обеспечит более равномерное распределение потока рекреантов во времени.

В целом стимулирование развития вышеперечисленных видов туризма позволит «рассредоточить» рекреационный поток во времени, увеличить посещаемость прибрежных территорий полуострова «не в сезон», во время, неблагоприятное для купально-пляжной рекреации. С одной стороны, это позволит снизить рекреационную нагрузку на природные ландшафты, что позволит сохранить рекреационный потенциал территории и уровень комфортности отдыха для туристов, с другой – в отличие от сокращения количества отдыхающих не приведет к негативным последствиям для экономики курортных регионов и их жителей, значительная часть которых получает прямые или косвенные доходы от туризма.

Что касается «туристического высокого сезона» – периода с июня по сентябрь включительно, здесь опять же на примере Крыма можно отметить, что далеко не все участки берега, обладающие удобными для пляжно-купальной рекреации пляжами, используются с одинаковой интенсивностью. В литературе показано (Долотов В. В., Иванов В. А. Повышение рекреационного потенциала Украины: кадастровая оценка пляжей Крыма. Севастополь, 2007. 150 с. и др.), что далеко не все пляжи Крымского побережья, обладающие высоким рекреационным потенциалом, используются с равномерной интенсивностью. Это объясняется как устоявшимися привычками и стереотипами, так и различным уровнем развития туристической, в частности транспортной, инфраструктуры.

Аналогичная ситуация наблюдается и для других приморских территорий, для которых характерна массовая купально-пляжная рекреация. Так, в пределах Большого Сочи сравнительно слабо используется северная часть относящегося к нему побережья, в частности береговая линия в пределах Лазаревского района,

причины этого – аналогичные, как для Крыма, и больше возможностей для разнообразия отдыха в южной части Большого Сочи. Для берегов Каспийского моря в пределах Дагестана и Японского моря в окрестностях Владивостока наибольшая интенсивность рекреации характерна для ближайших окрестностей Махачкалы и Владивостока, что объясняется более высоким уровнем развития инфраструктуры, в частности транспортной, и разнообразием средств размещения рекреантов.

Теоретически перераспределение туристического потока возможно как в пределах одного туристического региона (Крыма, Северокавказского побережья Черного моря, побережья Азовского моря, Калининградской области и т. д.), так и между ними. Для практической реализации последнего необходимо обеспечение удобного сообщения между туристическими регионами по железной дороге и(или) воздуху (а если возможно – то и по воде). Пример организации такого сообщения – запущенный в 2022 г. поезд Адлер – Симферополь между Сочи и Крымом.

Рекреационное использование прибрежных территорий в некоторых случаях позволяет сохранить природные ландшафты и избежать деградации их экосистемных (экологических) услуг (функций) и снижения стоимости их природного капитала, что доказывает его приоритетный характер по отношению к другим видам хозяйственной деятельности. Сохранение природных ландшафтов возможно лишь при условии ограничения количества рекреантов и их воздействия на природные ландшафты, что, в свою очередь, требует контроля за потоками туристов, в том числе самостоятельных. Однако запрещать неорганизованную (самостоятельную) рекреацию никакой необходимости нет, такой запрет нанесет заметный ущерб экономике приморских регионов и благополучию местных жителей, а также лишит многих туристов удобного и привычного им отдыха.

**КАРБОНАТНАЯ СИСТЕМА ЭСТУАРИЕВ
ШАНТАРСКОГО РЕГИОНА (ОХОТСКОЕ МОРЕ)
В ПЕРИОД ЛЕТНЕГО ПАВОДКА 2016 ГОДА**

П. Ю. Семкин ✉, **П. Я. Тищенко**, **Г. Ю. Павлова**,
П. П. Тищенко, **С. Г. Сагалаев**, **Е. М. Шкирникова**,
М. Г. Швецова

ТОИ ДВО РАН, Владивосток, Россия
✉ *pahno@list.ru*

Ключевые слова: речной сток, эстуарий, карбонатная система, биогенные вещества, продукционно-деструкционные процессы.

В период летнего паводка 2016 г. исследован комплекс химических характеристик, связанных с циклом углерода в эстуариях рек Уда, Сыран, Ульбан и Усалгин Шантарского региона. Поток минерального и органического фосфора со стоком рек Сыран и Ульбан сравним с потоком этих веществ со стоком р. Уда – крупнейшей реки данного района. При этом поток взвеси со стоком р. Уда в 7,5 раза превышает поток взвеси со стоком рек Сыран и Ульбан, а расход воды р. Уда в 41 раз превышает совместный расход воды рек Сыран и Ульбан. Соотношения потоков взвеси и объема водного стока исследованных рек определяют толщину фотического слоя и, соответственно, во многом границу перехода «источник/сток» для CO_2 . Эта граница для эстуария р. Уда, объединенного эстуария рек Сыран и Ульбан и эстуария р. Усалгин была приурочена к солености вод 10, 20 и 25‰ соответственно. Результаты модельных расчетов потоков CO_2 демонстрируют более чем 40-кратное увеличение потока CO_2 в атмосферу и почти 20-кратное увеличение стока CO_2 в воду при возрастании скорости ветра от 2 до 15 м/с на протяжении исследованных зон смешения река – море.

КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ ^{210}Pb ИЗ МОРСКОЙ ВОДЫ

Е. В. Слизченко ¹, Ю. Г. Шибецкая ^{1,2}, Н. А. Бежин ^{1,2}✉,
И. И. Довгий ¹

¹ МГИ, Севастополь, Россия

² СевГУ, Севастополь, Россия

✉ nickbezhin@yandex.ru

Ключевые слова: ^{210}Pb , ^{210}Po , потоки взвешенного вещества, концентрирование.

Природные радионуклиды ^{210}Pb и ^{210}Po являются членами ряда распада ^{238}U . Они используются для оценки биогеохимических процессов и потоков взвешенного вещества в океане. В отличие от другой классической пары $^{238}\text{U}/^{234}\text{Th}$, позволяющей получить информацию о потоках взвешенного органического вещества (РОС – particulate organic carbon) во временном масштабе 2–3 недели, данные, получаемые при изучении концентраций $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$, дают информацию о сезонных показателях потока (временной масштаб 2–3 месяца).

В Черном море концентрация ^{210}Pb в растворенной форме и во взвешенном веществе не определялась. Нет данных по потокам и распределению ^{210}Pb . Существующие в настоящее время исследования направлены на оценку осадконакопления в донных отложениях по ^{210}Pb .

В ходе 116-го (22 апреля – 17 мая 2021 г.) рейса НИС «Профессор Водяницкий» проведено изучение поверхностного и вертикального распределения ^{210}Pb в Черном море.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема «Океанологические процессы» № 0555-2022-0004), при финансовой поддержке Севастопольского государственного университета в рамках проекта 42-01-09/169/2021-7.

ВЛИЯНИЕ ТИПА ГРУНТА НА ВИДОВОЕ БОГАТСТВО, ЧИСЛЕННОСТЬ И БИОМАССУ ЗООБЕНТОСА КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА

А. С. Терентьев

Отдел «Керченский» АзНИИРХ, Керчь, Россия

✉ *iskander65@bk.ru*

Ключевые слова: Керченский пролив, бентос, видовое богатство, численность, биомасса.

Керченский пролив соединяет Азовское и Черное моря. В его видовом богатстве с 1896 по 2016 г. было обнаружено более полутора сотен видов донных животных. Из них 40 видов ракообразных, 43 – полихет, 31 – двустворчатых моллюсков, 15 – брюхоногих моллюсков и 1 вид панцирных, 3 вида немертин, 3 – иглокожих, 6 – асцидий. Встречались также губки, олигохеты, форониды, мшанки, а также морские клещи и личинки хирономид.

Дно пролива на глубине более 5 м на 36-45% покрыто илом. На отдельных участках имеются признаки сероводородного заражения. Заиленная ракуша занимает 21–29% площади пролива, в основном вблизи берегов и в бухтах. Значительную часть пролива (13–20%) занимают ракушечники. В основном это бывшие устричные банки. Вдоль берегов и вокруг кос тянутся полосы песчаного грунта. Большая его часть, 6–10% акватории пролива, приходится на песчаную ракушу. Песчанистый ил занимает 1–4% акватории пролива. Примерно такую же площадь занимает и илистый песок. Собственно, песок залегает на мелководье ближе всего к берегу. На его долю приходится 3–7% акватории пролива. Следует отметить, что в данном случае рассматриваются только глубоководные участки.

Площади, занимаемые различными грунтами, сильно отличаются друг от друга. В связи с чем сравнение видового богатства разных грунтов как простых списков видов становится некорректным из-за сильно различающегося количества собранного материала. Вместо этого была использована плотность видов как

количество видов на единицу площади, в данном случае – площади охвата дночерпателя ($0,1 \text{ м}^2$).

На песке плотность видов колебалась от 4 до 15 вид/м^2 . В среднем равнялась $9,8 \pm 1,9 \text{ вид/м}^2$. Численность зообентоса находилась в пределах от 90 до 960 экз./м^2 и в среднем равнялась $360 \pm 130 \text{ экз./м}^2$. Биомасса колебалась от 1,49 до $608,70 \text{ г/м}^2$, в среднем равнялась $147 \pm 95 \text{ г/м}^2$.

На илистом песке плотность видов колебалась от 3 до 13 вид/м^2 , в среднем равнялась $7,3 \pm 2,9 \text{ вид/м}^2$. Численность зообентоса находилась в пределах от 90 до 627 экз./м^2 и в среднем равнялась $320 \pm 160 \text{ экз./м}^2$. Биомасса колебалась от 1,34 до $95,20 \text{ г/м}^2$, в среднем равнялась $41 \pm 28 \text{ г/м}^2$.

На песчанистом иле плотность видов колебалась от 3 до 18 вид/м^2 , в среднем равнялась $9,7 \pm 4,4 \text{ вид/м}^2$. Численность зообентоса находилась в пределах от 120 до 410 экз./м^2 и в среднем равнялась $260 \pm 84 \text{ экз./м}^2$. Биомасса колебалась от 4,40 до $32,42 \text{ г/м}^2$, в среднем равнялась $17,2 \pm 8,2 \text{ г/м}^2$.

На песчанистой ракуше плотность видов колебалась от 3 до 24 вид/м^2 , в среднем равнялась $7,5 \pm 1,9 \text{ вид/м}^2$. Численность зообентоса находилась в пределах от 70 до 1160 экз./м^2 и в среднем равнялась $280 \pm 100 \text{ экз./м}^2$. Биомасса колебалась от 1,19 до $663,10 \text{ г/м}^2$, в среднем равнялась $112 \pm 66 \text{ г/м}^2$.

На ракуше плотность видов колебалась от 1 до 24 вид/м^2 , в среднем равнялась $7,5 \pm 1,3 \text{ вид/м}^2$. Численность зообентоса находилась в пределах от 10 до 5420 экз./м^2 и в среднем равнялась $1680 \pm 420 \text{ экз./м}^2$. Биомасса колебалась от 5,00 до $2549,80 \text{ г/м}^2$, в среднем равнялась $490 \pm 150 \text{ г/м}^2$.

На заиленной ракуше плотность видов колебалась от 1 до 21 вид/м^2 . В среднем равнялась $7,5 \pm 0,7 \text{ вид/м}^2$. Численность зообентоса находилась в пределах от 10 до 3820 экз./м^2 и в среднем равнялась $800 \pm 170 \text{ экз./м}^2$. Биомасса колебалась от 1,07 до $4814,14 \text{ г/м}^2$, в среднем равнялась $430 \pm 160 \text{ г/м}^2$.

На иле плотность видов колебалась от 1 до 13 вид/м^2 . В среднем равнялась $5,9 \pm 0,4 \text{ вид/м}^2$. Численность зообентоса находилась в пределах от 10 до 14600 экз./м^2 и в среднем равнялась $630 \pm 300 \text{ экз./м}^2$. Биомасса колебалась от 0,02 до 3073 г/м^2 , в среднем равнялась $331 \pm 89 \text{ г/м}^2$.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОРСКИХ ТРАВ СО СРЕДОЙ

Т. А. Филиппова , Е. Ф. Васечкина

МГИ, Севастополь, Россия

 filippovata@mhi-ras.ru

Ключевые слова: прибрежные фитоценозы, морская трава, зо-стера, Донузлав.

Морские травы, растущие на песчаном дне, играют ценозообразующую роль для прибрежных морских районов. Морская трава *Zostera marina* и эпифиты выступают источником кислорода и органического вещества, потребителем растворенных неорганических форм азота и фосфора, являются убежищем для мелких морских организмов. Понимание процессов взаимодействия морских трав со средой позволит лучше разобраться в принципах функционирования прибрежных экосистем. Целью настоящей работы является качественная и количественная оценка процессов взаимодействия морских трав с морской средой на примере *Z. marina* в заливе Донузлав.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи: разработка математической модели динамики роста морской травы *Z. marina*, проведение тестового расчета для центральной части залива Донузлав. Основными уравнениями модели являются дифференциальные уравнения динамики биомассы, концентрации азота и фосфора в тканях растения. Динамика биомассы определяется разностью между продукцией и потерями органического вещества, обусловленными процессами жизнедеятельности растения, а также механическими повреждениями. Скорость роста морской травы определяется главным образом процессом фотосинтеза, который описывается фотосинтетической кривой, являющейся функцией двух переменных: температуры воды и освещенности. Рост зостеры сопровождается процессами изъятия биогенных элементов из среды, которые в мо-

дели описываются согласно кинетике Михаэлиса – Ментен и зависят от внутренней концентрации азота и фосфора в тканях растения.

Управляющими переменными модели являются температура воды, освещенность поверхности моря, концентрация аммония в воде и поровых водах, концентрация нитратов и фосфатов в воде, прозрачность воды. Модельные расчеты позволяют определить функциональные характеристики зостеры, дать количественную оценку процессам взаимодействия *Z. marina* со средой: рассчитать объемы выделенного в процессе фотосинтеза кислорода, поглощенных из воды и поровых вод азота и фосфора, произведенного в процессе фотосинтеза органического вещества.

Для тестового расчета был выбран центральный район залива Донузлав. По среднемесячным данным за 2015–2021 гг. были построены ряды управляющих переменных. Для учета суточного хода освещенности был выбран шаг интегрирования три часа. Тестовые расчеты выполнялись для трех глубин произрастания зостеры: 0,5; 1 и 2 м. По результатам расчетов период активного роста зостеры приходится на летний сезон, на всех глубинах произрастания биомасса увеличивается примерно в два раза. Максимальное значение ($450 \text{ мг сух. вес/м}^2$) регистрируется на глубине 0,5 м в сентябре, когда концентрация аммония в воде максимальна. Процесс фотосинтеза протекает в течение всего календарного года на глубине 0,5 и 1 м, а на глубине 2 м прекращается в зимние месяцы из-за недостаточной освещенности. Объем выделяемого в процессе фотосинтеза кислорода максимален в летние месяцы, что соответствует периоду активного роста. В это же время наблюдаются максимальные объемы поглощенных биогенных веществ и увеличение потоков взвешенного и растворенного органического вещества в окружающую среду. Модель позволяет оценить годовые объемы выделенного, поглощенного и продуцированного вещества с площадки в 1 м^2 , занятой зарослями зостеры. На глубине 0,5 м в центральной части залива Донузлав за год в процессе фотосинтеза зостерой выделяется 1,1 кг кислорода, продуцируется 660 г углерода, поглощается 67 г азота и 4,9 г фосфора.

Работа выполнена в рамках темы 0555-0021-0005 «Прибрежные исследования».

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ
НАЗЕМНЫХ, МОРСКИХ И СПУТНИКОВЫХ
НАБЛЮДЕНИЙ ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ
МЕТАНА И УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА
НА ОСТРОВЕ САХАЛИН И ЕГО ШЕЛЬФЕ**

А. О. Холмогоров ✉, **Н. С. Сырбу**, **И. Е. Степочкин**,
Е. С. Хазанова

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

Ключевые слова: метан, углекислый газ, о. Сахалин, газогеохимические поля, термальные источники, грязевые вулканы, газовые гидраты, спутниковые наблюдения.

Сахалинский регион представляет огромный интерес с позиций генезиса и экологической значимости природных газов осадочных бассейнов, скоплений подводных газогидратов, геотермальных и грязевулканических систем, газонасыщенных подземных вод и морских осадков.

В работе дана интерпретация основных газогеохимических и геолого-тектонических закономерностей возникновения и распространения полей метана и углекислого газа разных генезисных типов на о. Сахалин. Представлены данные спутникового наблюдения района о. Сахалин и его шельфа для выявления связи сейсмических событий и изменения уровня концентрации метана в атмосферном воздухе.

На основе анализа литературных и фондовых данных по углегазоносным и нефтегазоносным районам, а также авторских данных по грязевым вулканам и Дагинской газогидротермальной системе были установлены особенности распределения метана и углекислого газа на о. Сахалин, которые показали, что в северо-восточной и восточной частях острова системы газовой разгрузки представлены главным образом метаном, при этом углекислый газ наблюдается в минимальных концентрациях. И напротив, в западной и юго-западной частях острова расположены объекты,

в которых углекислый газ является основным компонентом (грязевые вулканы, водоминеральные источники) или составляет значительную часть (угольные залежи). Особенности проявления полей метана и углекислого газа на о. Сахалин отражают различие в геологическом строении северо-восточной и юго-западной частей острова.

Современная активная миграция вдоль разломов подтверждается многочисленными нефтегазопроявлениями, термальными и минеральными источниками, газовыми аномалиями. Во время сейсмотектонической активности увеличивается миграции флюидов и потоков газа.

Результаты проведенной многолетней газогеохимической съемки подтверждаются данными спутникового наблюдения. Для выявления связи сейсмических событий и изменения уровня концентрации метана в атмосферном воздухе на примере самого крупного и активного грязевого вулкана о. Сахалин было выполнено сопоставление данных дистанционного наблюдения с результатами экспедиционных исследований. Наблюдения посредством трех сканеров спутниковой системы слежения (AIRS, TAROMI, IASI) за районом Южно-Сахалинского грязевого вулкана показали сходные результаты: дистанционные методы зондирования атмосферы зафиксировали рост концентрации метана после землетрясения, а также сохранение относительно стабильного показателя концентрации в течение семи дней после землетрясения.

Наиболее важным следствием проведенных многолетних исследований является выявление тесной связи современной динамики геологической среды и флюидодинамики в виде вертикальной миграции флюидов из фундамента, внутри осадочного чехла и до поверхности, которая происходит в зонах проводящих разломов и отражается в вариациях геохимических полей и потоков парниковых газов: метана и углекислого газа. Впервые рассмотрены закономерности распределения газогеохимических полей метана и углекислого газа в сравнении с результатами дистанционного зондирования, что имеет существенное научное и практическое значение.

ФОРМИРОВАНИЕ ШТОРМОВЫХ УСЛОВИЙ В РАЙОНЕ БУХТЫ СЕВЕР ЕНИСЕЙСКОГО ЗАЛИВА

В. Ю. Чанцев^{1,2}

¹ РГГМУ, Санкт-Петербург, Россия

² ААНИИ, Санкт-Петербург, Россия

✉ val@rshu.ru

Ключевые слова: Енисейский залив, ветровые условия, численное моделирование, штормовые условия, ветровое волнение.

Бухта Север, расположенная на западной окраине полуострова Таймыр в 40 км от морского порта поселка Диксон, является одним из пунктов Северного морского пути.

Сегодня бухта Север является площадкой строительства крупнейшего нефтяного терминала «Порт «Бухта Север» на базе расширяемого морского порта Диксон на Таймыре. Проект дает старт развитию нового, экономически перспективного кластера месторождений Таймырской нефтегазовой провинции. Строящийся терминал будет предназначен для морской транспортировки нефти с Пайяхских месторождений по Северному морскому пути в порты России, Европы и стран Азиатско-Тихоокеанского региона.

Важное положение бухты Север в структуре Северного морского пути требует тщательного изучения гидрометеорологических условий мореплавания в этой части Карского моря и особенно формирования, мощности и частоты повторяемости штормовых условий. Достаточная мелководность северной окраины Енисейского залива сильно затрудняет подход к будущему нефтяному терминалу «Бухта Север» в периоды значительного развития ветрового волнения. Для получения наиболее достоверной информации об особенностях возникновения штормовых условий в современных условиях необходимо использовать методы численного моделирования.

Представленное исследование основано на результатах численных экспериментов с использованием математической модели SWAN, которая показала хорошие результаты при расчете


пространственно-временной изменчивости ветрового волнения на акватории Обской губы Карского моря.

Анализ эволюции ветрового волнения в районе бухты Север проводился после сравнения отдельных результатов моделирования с проведенными натурными измерениями. Использованная расчетная сетка позволила детально исследовать пространственное распределение волнения непосредственно у входа в бухту и на ее акватории.

Для расчета ветрового волнения с помощью численной модели SWAN использовались данные 30-летнего реанализа динамики атмосферы ERA5. Результаты численных расчетов показали, что бухта Север и подходы к ней наиболее защищены от развитого волнения с ветрами северо-восточных направлений. С запада развитие ветрового волнения ограничено островом Сибирякова. Наиболее опасные условия для развития штормов создаются при южных направлениях ветра и в меньшей степени при северо-западных ветрах.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ АЗОВСКОГО МОРЯ В ИЮЛЕ 2019 ГОДА

Е. А. Шевцова , Е. И. Бурдина

АзНИИРХ, Ростов-на-Дону, Россия
 *shevtsova_e_a@azniirkh.ru*

Ключевые слова: органический углерод, донные отложения, Азовское море, алевритовые илы.

Донные отложения являются природной биогеохимической барьерной зоной, играющей главную роль в процессах передачи вещества и энергии в водных экосистемах. Изучение органического вещества донных отложений является важным аспектом гидрохимических, гидробиологических и геологических исследований. Наиболее репрезентативным показателем

органического вещества в донных осадках является органический углерод.

Органический углерод в морские бассейны поступает в результате берегового стока, а также вследствие фотосинтетической деятельности фитопланктона, активно наблюдающейся в Азовском море. Большое влияние на поступление органического углерода в море оказывают реки Дон и Кубань.

В работе представлена оценка содержания органического углерода в донных осадках Азовского моря в июле 2019 г. Установлено, что содержание органического углерода в донных отложениях в различных районах Азовского моря неодинаково.

Согласно результатам исследований, доля органического углерода в донных отложениях варьировала в широком диапазоне: от 0,11 до 3,44% при среднем значении 1,94%. Наиболее высокие значения наблюдались в центральной и юго-восточной частях собственно моря и центральной части Таганрогского залива, что соответствовало площади распространения мелкоалевритовых илов, обладающих высокой сорбционной способностью.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЛГОЖИВУЩИХ ИЗОТОПОВ РАДИЯ В ГЛУБОКОВОДНЫХ РАЙОНАХ ЧЕРНОГО МОРЯ

Ю. Г. Шибецкая^{1,2}✉, О. Н. Козловская¹, Е. В. Слизченко¹,
В. А. Разина¹, И. И. Довгий¹, Н. А. Бежин^{1,2}

¹ МГИ, Севастополь, Россия

² СевГУ, Севастополь, Россия

✉ iuliia.shibetskaia@gmail.com

Ключевые слова: ²²⁶Ra, ²²⁸Ra, Черное море.

Долгоживущие изотопы радия используются в качестве трассеров океанических процессов перемешивания. Они особенно подходят для этой задачи, поскольку их периоды полураспада ($T_{1/2}$ (²²⁸Ra) = 5,72 года; $T_{1/2}$ (²²⁶Ra) = 1600 лет) применимы к процессам перемешивания, которые действуют во временных масштабах годы – десятилетия (²²⁸Ra), например

обмен поверхностных вод с основным пикноклином, и века (^{226}Ra), например вентиляция глубокого океана.

Кроме того, поскольку источником ^{228}Ra в поверхностных водах океанов являются берега континентов и шельф, это дает возможность оценить по распределению его в поверхностных водах параметры горизонтальной турбулентной диффузии, а вертикальные профили ^{228}Ra в верхних слоях океана есть удобное средство исследования обмена в слое термоклина.

В ходе 116-го рейса НИС «Профессор Водяницкий» (22 апреля – 17 мая 2021 г.) было отобрано 60 проб для определения концентрации изотопов радия в поверхностном слое вод Черного моря. Было показано, что повышенные концентрации ^{228}Ra наблюдаются в центральной части Черного моря, пониженные – у побережья Кавказа, что, по нашему мнению, связано с пониженными значениями солености и поступлением пресной воды с более высоким содержанием ^{226}Ra . Средняя концентрация ^{228}Ra составляет 73 dpm/m^3 . Распределение ^{226}Ra в целом однородное и хорошо соотносится с литературными данными, средняя концентрация составляет $77,2 \text{ dpm/m}^3$. Наиболее высокие концентрации были определены на четырех станциях в Феодосийском заливе и составляют $128\text{--}150 \text{ dpm/m}^3$ для ^{226}Ra и $100,2\text{--}110,5 \text{ dpm/m}^3$ для ^{228}Ra . При этом распреснения и повышенных концентраций биогенных элементов не наблюдалось. Это может быть связано как с наличием неизвестного источника пресной воды, так и с поступлением радия с природными источниками метана на дне Феодосийского залива.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема «Океанологические процессы» № 0555-2022-0004), при финансовой поддержке Севастопольского государственного университета в рамках проекта 42-01-09/169/2021-7.

**ВОДНО-БОЛОТНАЯ ОРНИТОФАУНА
БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ КОЛЬСКОГО ЗАЛИВА
БАРЕНЦЕВА МОРЯ
В РАЙОНЕ КРУПНОГО ТЕХНОГЕННОГО ОБЪЕКТА –
МОСТА ЧЕРЕЗ КОЛЬСКИЙ ЗАЛИВ**

М. Б. Шилин ✉, **М. Ю. Меньшакова,**
Р. И. Гайнанова, Ю. А. Леднова, Е. А. Румянцева

МАГУ, Мурманск, Россия
✉ *shilin@rshu.ru*

Ключевые слова: водно-болотная орнитофауна, Кольский залив, береговая зона, техногенный объект, кормовой биотоп.

В мае 2022 г. начаты исследования закономерностей распределения и динамики водно-болотной орнитофауны в береговой зоне Баренцева моря в районах расположения крупных техногенных объектов. Наблюдения выполнены на побережье Кольского залива с целью определения состава орнитофауны в зоне влияния моста через Кольский залив. Данный объект представляет собой 4-полосный автомобильный мостовой переход через Кольский залив в пределах г. Мурманска. Общая длина мостового перехода – 2500 м, а собственно моста – 1611 м. Мост является автотранспортным узлом, обеспечивающим автомобильную связь Мурманска с западными районами Мурманской области, и является частью федеральной трассы Р-21 «Кола». Мост – один из длиннейших в России и самый длинный за Полярным кругом. Строительство Моста осуществлено в 1992–1994 гг.; открытие состоялось 11 октября 2005 г. Ремонты покрытия моста производились в 2015 и 2019 гг. в рамках национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги».

Наблюдения проведены 21–25 мая на маршрутах по обоим берегам залива в пределах приливно-отливной зоны в период максимального отлива на удалении до 2 км от моста. Использовались бинокль БПЦ2 12 × 45 м и труба Manfrotto 290 Xtra 60 x с объективом Zeiss.

На левом от кута берегу залива литораль ярко выражена, плоско-пологая, протяженностью несколько сотен метров. В период отлива представляет собой чередование участков глинисто-песчаного грунта с куртинами фукуса. Супралитораль занята зарослями ивняка, экранирующего литораль от проходящей по берегу залива автотрассы. На литорали отмечены кормящиеся утки, чайки и кулики. Всего зарегистрировано 10 видов водно-болотных птиц, из них Гусеобразных – 5 (кряква *Anas platyrhynchos*, чирок-свистунок *A. crecca*, чернеть хохлатая *A. fuligula*, свиязь *A. penelope*, пеганка *Tadorna tadorna*), Ржанкообразных – 5 (чайка серебристая *Larus argentatus*, клуша *L. fuscus*, бургомистр *L. hyperboreus*, кулик-сорока *Haematopus ostralegus*, веретенник малый *Limosa lapponica*).

На правом от кута берегу залива литораль – песчаная насыпная, искусственно сформированная, по сравнению с левобережной относительно узкая. Непосредственно к верхнему уровню литорали примыкают нефтебаза (с автомобильной стоянкой) и причал катеров. Во время отлива на озерах и в литоральных ваннах кормятся речные утки, чайки и кулики. Всего зарегистрировано 5 видов водно-болотных птиц (что вдвое меньше, чем на левобережной литорали), из них Гусеобразных – 2 (кряква *Anas platyrhynchos*), Ржанкообразных – 16 (клуша *L. fuscus*, бургомистр *L. hyperboreus*, веретенник малый *Limosa lapponica*, травник *Tringa tetanus*).

По результатам наблюдений основным фактором, влияющим на характеристики водно-болотной орнитофауны, является доступность и обилие кормовых запасов. Объекты водно-болотной орнитофауны – удобные для использования в целях мониторинга индикаторы состояния береговых экосистем, так как являются важным компонентом трофических сетей, характеризуются заметностью в открытых ландшафтах и доступностью для наблюдений.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-27-20109, <https://rscf.ru/project/22-27-20109/>, и при финансовой поддержке Министерства образования и науки Мурманской области в рамках Соглашения № 111.

ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ВЕЛИЧИНЫ РАЗВИТИЯ ФИТОПЛАНКТОНА НОВОРОССИЙСКОЙ БУХТЫ В 2019 ГОДУ

О. Н. Ясакова¹✉, В. С. Бердников²

¹ ЮНЦ РАН, Ростов-на-Дону, Россия

² АМП Черного моря, Новороссийск, Россия

✉ yasak71@mail.ru

Ключевые слова: фитопланктон, таксономический состав, численность, биомасса, Новороссийская бухта, Черное море.

Исследования фитопланктона проводили ежемесячно с февраля по октябрь 2019 г. на трех станциях, расположенных в разных районах Новороссийской бухты: порт, средняя и открытая (район ОАО «Шесхарис») части. Пробы планктонных водорослей (объемом 1–1,5 л) отбирали в светлое время суток с помощью батометра с борта судна т/х «Василенко» (ФГБУ «АМП Черного моря»). Для камеральной обработки проб применяли седиментационный метод, обработку проб проводили согласно общепринятым руководствам [1]. Таксономическую принадлежность водорослей устанавливали по определителям [2–5].

В период исследований в составе фитопланктона Новороссийской бухты обнаружено 72 вида водорослей, относящихся к 5 отделам *Bacillariophyta* (диатомовые), *Dinophyta* (динофитовые), *Chrysophyta* (золотистые), *Euglenophyta* (эвгленовые), *Chlorophyta* (зеленые). Наибольшим видовым разнообразием отличались динофитовые (45 видов) и диатомовые водоросли (20 видов). Надо отметить, что в период с января по июль 2017 г. в районе исследования было обнаружено всего 58 видов фитопланктона из 6 отделов [6].

Средние за период исследования в 2019 г. величины количественного развития фитопланктона в акватории Новороссийской бухты составили 108 тыс. кл./л и 374 мг/м³; что в 3 и 12 раз уступало средним величинам (1293 тыс. кл./л и 1188 мг/м³), обнаруженным здесь в 2017 г. [6].

Максимальные величины численности и биомассы (185 тыс. кл./л и 1340 мг/м³), отмеченные в июне 2019 г., были обусловлены интенсивным развитием золотистых водорослей (*Emiliana huxleyi*), формировавших в этот период 75% общей численности; основу биомассы (92%) составил крупный тропический вид диатомовых водорослей (*Pseudosolenia calcar-avis*). Интенсивное развитие обоих видов в пелагиали Черного моря обычно приходится на теплый период года [3, 7, 8].

В открытой части бухты значения численности и биомассы планктонных водорослей в среднем за период исследования (137 тыс. кл./л и 658 мг/м³) были в 1,2–4 раза выше, чем в среднем районе бухты и в акватории порта. Высокие величины численности также были связаны с обилием (56% общей численности планктона) *Emiliana huxleyi*, развитие которой обычно отмечено на открытом шельфе. Известно, что *E. huxleyi* избегает сильно загрязненные районы моря, ранее была отмечена обратная корреляция между развитием этого вида и концентрацией мочевины в воде [9].

В тоже время в акватории порта интенсивное развитие (31% общей численности планктона) получили эвгленовые водоросли (*Eutreptia lanowii*, *Eutreptia globulifera*), предпочитающие высокоэвтрофные и опресненные районы моря [10]. Численность эвгленовых водорослей в условиях порта Новороссийск и ранее достигала высоких величин (в 2011 г. достигала 100 тыс. кл./л) и находилась в прямой зависимости от поступления в морскую среду минеральных и органических форм азота и фосфора [11].

Публикация подготовлена в рамках государственного задания ЮНЦ РАН № 122011900153-9. Глубокую признательность за возможность проведения гидробиологических работ в акватории Новороссийской бухты выражаем руководителю ФГБУ «АМП Черного моря» Е. В. Тузинкевич и капитану морского порта Новороссийск С. А. Урюпину.

Список литературы

1. Методические рекомендации по анализу количественных и функциональных характеристик морских биоценозов северных морей. Ч. 1. Фитопланктон. Зоопланктон. Взвешенное органическое вещество / [Сост. П. Р. Макаревич, Н. В. Дружков]. Апатиты, 1989. 30 с.

2. Киселев И. А. Панцирные жгутиконосцы (Dinoflagellata) морей и пресных вод СССР. М. ; Л. : Изд-во Акад. наук СССР, 1950. 280 с.
3. Прошкина-Лавренко А. И. Диатомовые водоросли планктона Черного моря. М. ; Л. : Изд-во Акад. Наук СССР, 1955. 216 с.
4. Dodge J. D. Marine Dinoflagellates of the British Isles. London : H.M.S.O., 1982. 303 p.
5. Identifying marine phytoplankton / C. Tomas (ed.). Academic Press, 1997. 874 p. DOI: 10.1016/B978-0-12-693018-4.X5000-9.
6. Ясакова О. Н. Таксономический состав и количественные величины развития фитопланктона в Новороссийской бухте в 2017 г. // Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и индустриальных вызовов. Материалы II Международной научной конференции памяти члена-корреспондента РАН Д.Г. Матишова (г. Ростов-на-Дону, 6–10 июля 2020 г.). Ростов-на-Дону : Изд-во ЮНЦ РАН, 2020. С. 409–413.
7. Ясакова О. Н., Станичный С. В. Аномальное цветение *Emiliania huxleyi* (Prymnesiophyceae) в Черном море в 2012 г. // Морской экологический журнал. 2012. Т. 11, № 4. С. 54.
8. Mikaelyan A. S., Silkin V. A., Pautova L. A. Coccolithophorids in the Black Sea: their interannual and long-term changes // Oceanology. 2011. Vol. 51, issue 1. P. 39–48. DOI: 10.1134/S0001437011010127.
9. Yasakova O. N., Okolodkov Yu. B., Chasovnikov V. K. Increasing contribution of coccolithophorids to the phytoplankton in the northeastern Black Sea // Marine Pollution Bulletin. 2017. Vol. 124, issue 1. P. 526–534. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.07.037>.
10. Коновалова Г. В., Орлова Т. Ю., Паутова Л. А. Атлас фитопланктона Японского моря. Л. : Наука, 1989. 160 с.
11. Yasakova O. N., Makarevich P. R., Okolodkov Yu. B. Long-term Changes in Community of Planktonic Algae of the Northeastern Black Sea (2005-2011) // KnE Life Sciences. 2020. Vol. 5, No. 1. P. 569–580. DOI: 10.18502/cls.v5i1.6129.

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.

АМП Черного моря – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Администрация морских портов Черного моря», г. Новороссийск.

ВНИИГМИ-МЦД – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных», г. Обнинск.

ВНИРО – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», 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.

ДальНИИВХ – Дальневосточный филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», г. Владивосток.

Дальрыбвтуз – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет», г. Владивосток.

ИВМ РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт вычислительной математики Российской академии наук», г. Москва.

ИВЭП ДВО РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных и экологических проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Хабаровск.

ИВЭП СО РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук, г. Барнаул.

ИКИ РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт космических исследований Российской академии наук», г. Москва.

ИМГиГ ДВО РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Южно-Сахалинск.

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 наук о Земле – Институт наук о Земле Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет», г. Ростов-на-Дону.

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.

ИПЭЭ РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академии наук, г. Москва.

ИФА РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук», г. Москва.

КамчатНИРО – Камчатский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», г. Петропавловск-Камчатский.

ЛЭТИ – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Санкт-Петербургского государственного технического университета.

бургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), г. Санкт-Петербург.

МАГУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Мурманский арктический государственный университет», г. Мурманск.

МАИ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», г. Москва.

Марихолдинг «ЮМАК», г. Москва.

МГИ – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН», г. Севастополь.

МГТУ им. Н.Э. Баумана – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва.

МГУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», г. Москва.

МГУТУ им. К.Г. Разумовского – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)», г. Москва.

ММБИ – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Мурманский морской биологический институт Российской академии наук», г. Мурманск.

ММО – Федеральное государственное бюджетное учреждение культуры «Музей Мирового океана», г. Калининград.

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.

НГТУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород.

НИВЦ МГУ – Научно-исследовательский вычислительный центр Московского государственного университета, г. Москва.

НИИ «АЭРОКОСМОС» – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт аэрокосмического мониторинга "АЭРОКОСМОС" Министерства науки и высшего образования и Российской Федерации под научно-методическим руководством Российской академии наук», г. Москва.

НИУ МГСУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва.

НОЦ «Композиты России» МГТУ им. Н.Э. Баумана (МИЦ), г. Москва.

НТЦ УП РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научно-технологический центр уникального приборостроения Российской академии наук, г. Москва.

ООО «МОСБАЗАЛЬТ», г. Москва.

ООО Экосервис А, г. Москва.

РГГМУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург.

РУТ (МИИТ) – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта», г. Москва.

СВФУ – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», г. Якутск.

СГУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сочинский государственный университет», г. Сочи.

СевГУ – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь.

Северо-Западный филиал ФГБУ «НПО «Тайфун», г. Санкт-Петербург.

Сеченовский Университет – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва.

СКБ САМИ ДВО РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Специальное конструкторское бюро

средств автоматизации морских исследований Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Южно-Сахалинск.

СПбГУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург.

СПГУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», г. Санкт-Петербург.

ТИПРО – 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.

ТюмГУ – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский государственный университет», г. Тюмень.

ФИЦ ИУ РАН – Федеральное государственное учреждение Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, г. Москва.

Фонд «Нансен-центр» – Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена», г. Санкт-Петербург.

Херсонес Таврический – Федеральное государственное бюджетное учреждение культуры «Государственный историко-археологический музей-заповедник «Херсонес Таврический», г. Севастополь.

ЦКП НО «Арктика» – Центр коллективного пользования научным оборудованием «Арктика» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск.

ЦМИ МГУ – ООО «Центр морских исследований МГУ им. М.В. Ломоносова», г. Москва.

ЮНЦ 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.

IARC – International Arctic Research Center, University of Alaska Fairbanks, Fairbanks, USA.

IFREMER (Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer) – Институт изучения и освоения моря, г. Брест, Франция.

NIVA – Норвежский институт водных исследований, г. Осло, Норвегия.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Алексеев Д. В.	155
Алексеева Н. К.	265, 273
Алексеева Т. А.	170
Алескерова А. А.	183, 225
Андросович А. И.	172
Анисимов И. М.	231
Анкудинов Н. А.	142
Антипов Н. Н.	174
Артамонов А. Ю.	55
Артамонов Ю.В.	121, 124, 257
Артамонова К. В.	174
Аругюнян Д. А.	47
Архипкин В. С.	94, 95
Атаджанова О. А.	176, 209, 210
Ахтямова А. Ф.	57
Багаев А. В.	177
Бадюкова Е. Н.	266, 268
Багатинская В. В.	59
Багатинский В. А.	59, 60
Бакуева Я. И.	178, 180
Баранов В. И.	184, 196
Башарин Д. В.	61
Башмачников И. Л.	63, 88, 105, 110
Баянкина Т. М.	140
Бежин Н. А.	270, 307, 357, 366
Белевитнев Я. И.	214
Белокопытов В. Н.	181
Белоконь А. Ю.	155
Белоненко Т. В.	47, 126, 153, 154
Бердников В. С.	370
Берзова И. Г.	275
Бирюкбаев Э. К.	271
Блошкина Е. В.	273
Бобылев Л. П.	110
Богуславский А. С.	275

Большиянов Д. Ю.	277, 344
Бондур В. Г.	41
Бортин Н. Н.	279
Букатов Ант. А.	65, 67
Букатов Андр. А.	281
Букова В. И.	323, 325
Булатов В. В.	68
Бурдина Е. И.	365
Бурлаков А. Б.	323, 325
Валле А. А.	283
Вареник А. В.	284, 334
Васечкина Е. Ф.	285, 360
Василенко Н. В.	183, 225
Веремьев В. И.	184
Вержевская Л. В.	225
Весман А. В.	265
Вецало М. П.	181, 287
Владимирова О. М.	303
Воронцов А. А.	181
Вышкваркова Е. В.	192
Гайко Л. А.	70
Гайнанова Р. И.	316, 368
Гайский П. В.	185, 186, 216
Гангнус И. А.	265, 273
Гармашов А. В.	187
Гарькуша Д. Н.	289
Георга-Копулос А. А.	291
Герасимов В. В.	49
Глазунов В. В.	281
Глухов Л. А.	189
Гогоберидзе Г. Г.	293, 295, 350
Годецкий С. В.	72
Годин Е. А.	181, 287
Голубкин П. А.	63
Горбунов И. Г.	184
Гордеева С. М.	132
Горин С. Л.	211
Горчаков А. М.	279

Горячкин Ю. Н.	177
Грамузов Е. М.	106
Гребнева Е. А.	190
Греков А. Н.	192
Григоренко К. С.	194
Григорьев А. В.	196, 252
Григорьев М. Н.	42
Гришин Е. А.	170
Гродский С. А.	263
Гуров К. И.	297
Гурова Ю. С.	297
Гурылева А. В.	323, 325
Гусаров Р. Н.	73
Гусев А. В.	44, 59
Давидович А. Р.	186
Данилова Е. В.	343
Даньшина А. В.	74, 202
Двойченко Ю. А.	137
Демешкин А. С.	299
Демьшев С. Г.	76, 81
Дерюшкин Д. В.	257
Дианский Н. А.	44, 59, 60, 156, 252
Довгая С. В.	114
Довгий И. И.	270, 307, 357, 366
Долгих Г. И.	45
Долгушев Т. В.	300
Долотов А. В.	177
Долотов В. В.	177
Донцов А. А.	301
Дорофеев В. Л.	78
Дрозд И. Д.	79
Дулов В. А.	41
Дымова О. А.	76, 116
Дымент Л. Н.	85, 170
Дьяков Н. Н.	320, 332
Дьяченко К. Н.	279
Евдошенко М. И.	259
Евстигнеева Н. А.	81

Егорова Е. С.	83
Еремина Т. Р.	303
Ершова А. А.	85, 170
Ефимов В. В.	168
Ефремов О. И.	260
Ефремова Т. В.	177
Жмур В. В.	44, 47, 126, 154
Жук В. Р.	197
Жук Е. В.	181, 199
Зайцев А. И.	201
Зацепин А. Г.	49, 196, 233, 256
Зимин А. В.	87, 92, 135, 210
Зубов А. Г.	237, 260
Зуенко Ю. И.	305
Иванов А. Ю.	259
Иванов В. В.	145, 202, 204
Ингеров А. В.	181
Кабатченко И. М.	252
Казаков Д. А.	206, 237, 260
Казаков С. И.	275
Кайстренко В. М.	207
Каледина А. С.	88
Калинина Н. В.	106
Кальпа В. А.	177
Кантаржи И. Г.	73
Кашин С. В.	174
Кириллов В. В.	301
Клименко С. К.	259
Климина Е. М.	335
Коваленко В. В.	256
Кожевников А. Ю.	343
Козлов И. Е.	63, 176, 178, 197, 209, 210, 216, 220, 226, 229, 234
Козловская О. Н.	270, 307, 366
Козуб В. А.	41
Кокин О. В.	72
Кокоулина М. В.	90
Коломейцев В. В.	211
Колочкина Г. А.	214

Кондратьев С. И.....	334
Коник А. А.	92, 176
Копышов И. О.....	216
Корженовская А. И.....	94, 95, 216
Коровушкин А. И.	187
Королев П. Ю.....	99
Королёв Ю. П.....	97, 99
Корчёмкина Е. Н.....	217, 218
Косьян Р. Д.....	293
Котова Е.И.....	343
Кочергин В. С.	100
Кочергин С. В.	100
Краевская Н. Ю.....	166
Крыленко В. В.....	308
Крыленко Д. В.	310
Крыленко М. В.....	308, 310
Крыленко С. В.....	308
Кубряков А. А.....	103, 180, 183, 197, 219, 225, 234, 248
Кубряков А. И.....	196, 252
Кубрякова Е. А.....	180, 219
Кудрявцев В. Н.	128, 261, 263
Кудряшова Ю. В.	312
Куклев С. Б.....	196
Кузнецов А. С.	314
Кузнецов П. Д.	108
Кузнецова Д. А.....	105
Кузнецова О. А.	72
Кузьмин А. В.....	220
Куранов Д. Ю.....	120
Куркин А. А.	90, 106, 108, 137
Куркина О. Е.	90, 108
Куссе-Тюз Н. А.	273
Кыдралиева К. А.....	349
Лавинен Н. А.....	174
Лазоренко Д. И.....	112
Латонин М. М.	110
Леднова Ю. А.....	316, 368
Лемешко Е. Е.	222

Лемешко Е. М.	119, 159, 236
Лесин А. В.	318
Лис Н. А.	111, 265
Литина Е. Н.	265
Лишаев П. Н.	219
Ловцкая О. В.	301
Ломакин И. Р.	147
Лукашова О. А.	320, 332
Май Р. И.	151, 170
Майборода С. А.	119
Макаров А. С.	277
Макаров К. Н.	223, 271
Малиновский С. Ю.	160
Мальченко Ю. А.	320, 332
Манилюк Ю. В.	112
Маньковская Е. В.	217, 230
Маркова Н. В.	114, 116, 199
Марюшкин Ю. А.	187
Масевич А. В.	322
Матишов Г. Г.	51
Мачихин А. С.	323, 325
Медведев И. П.	94, 95, 118, 158, 216
Медведева А. В.	183, 225
Медведева В. Н.	327
Медянкина М. В.	348
Меньшакова М. Ю.	316, 368
Метик-Диунова В. В.	119
Мизюк А. И.	103, 130, 219
Миклашевская Н. А.	76
Микушева М. А.	343
Милаев В. М.	279
Миньковская Р. Я.	320, 332
Миронов Е. У.	83
Миронова Н. В.	339
Михайличенко С. Ю.	120
Михайличенко Т. В.	225, 226
Михальцева С. В.	228
Морозов А. Н.	230

Морозов Е. А.	229
Морозов Е. Г.	59, 79
Муравья В. О.	231
Мурынин А. Б.	41
Мысленков С. А.	184, 196
Назаров Д. В.	329, 330
Наривончик С. В.	320, 332
Науменко И. П.	285
Нижниковская О. Ю.	233
Никишин В. В.	177
Никольский Н. В.	121, 124
Новиков Б. А.	225, 234
Новихин А. Е.	265
Новицкая В. П.	236
Новоселова Е. В.	126
Новоселова Н. В.	47
Нуриев С.	275
Олейников Е. П.	194
Орехова Н. А.	297, 334
Осадчиев А. А.	127, 197, 216
Островский А. Г.	49, 244
Остроухов А. В.	335, 337
Очередник В. В.	184, 196
Павленко Е. А.	67
Павленко О. И.	237, 260
Павлов М. И.	206, 237, 260
Павлова Г. Ю.	356
Панкеева Т. В.	339
Панченко В. В.	281
Папкина А. С.	238
Парамонова А. И.	349
Пархоменко А. В.	339
Петренко Л. А.	226
Петров К. М.	341, 346
Пиваев П. Д.	128
Пластун Т. В.	181
Платонова Е. В.	240
Погожева М. П.	343

Погребной А. Е.	242
Подымов О. И.	244
Полозок А. А.	246
Поляков И. В.	273
Поморцев О. А.	344
Поромов А. А.	349
Порубаев В. С.	85
Посошков В. Л.	140
Правкин С. А.	344
Пронин А. А.	318
Пузина О. С.	130
Разина В. А.	307, 366
Райкина А. О.	218
Ракитин Т. Д.	346
Репина И. А.	53, 55, 79
Реул Н.	128
Римский-Корсаков Н. А.	231, 318
Романенков Д. А.	87
Рубакина В. А.	225, 248, 250
Рувинская Е. А.	108
Руденко Е. Е.	323
Руднева И. И.	185, 348, 349
Румянцева Е. А.	293, 295, 316, 350, 368
Рычкова П. М.	132
Савчук О. П.	303
Сагалаев С. Г.	356
Салюк П. А.	79
Самодуров А. С.	206
Санин А. Ю.	351
Санников В. Ф.	134
Свергун Е. И.	87, 135
Свищев С. В.	219
Свищева И. А.	225
Себин А. С.	137
Селезнев В. А.	330
Селюков А. Г.	323
Семин В. Л.	214
Семкин П. Ю.	356

Сенченко В. Г.	252
Серебренников А. Н.	139
Сизов А. А.	140
Сильвестрова К. П.	184, 196, 216
Симаков М. И.	214
Симакова У. В.	214
Симонова Ю. В.	250
Скрипалева Е. А.	121, 124, 257
Слепышев А. А.	142
Слизченко Е. В.	270, 357, 366
Смирнов А. В.	202
Соколихина Н. Н.	143, 147
Соколов А. А.	145
Соловей Н. М.	67
Софьина Е. В.	135
Спесивцева Е. Е.	279
Станичный С. В.	103, 183, 225, 248, 250
Степанова Н. Б.	216
Степочкин И. Е.	362
Суетин Б. С.	47
Суркова Г. В.	143, 147
Суторихин И. А.	301
Сухих Л. И.	78
Сухонос П. А.	149
Сушкевич Т. А.	253
Сырбу Н. С.	362
Тарасевич Д. В.	284
Тарасенко А. Д.	273
Телегин В. А.	256
Терентьев А. С.	358
Терехова В. А.	349
Тимофеев В. А.	214
Тимофеева А. Б.	151
Тимохов Л. А.	111, 160
Тищенко П. П.	356
Тищенко П. Я.	356
Толокнов Ю. Н.	187
Травкин В. С.	57, 153, 154

Трофимов В. Д.	163
Трусевич В. В.	192
Удовик В. Ф.	177, 275
Федирко А. В.	257
Федоров Ю. А.	289
Филиппова Т. А.	360
Фомин Вл. Вас.	156, 252
Фомин Вл. Вл.	112, 155
Фомина И. Н.	246
Фрей Д. И.	216
Фролова А. Д.	194
Хазанова Е. С.	362
Хамицевич Н. В.	275
Харитонов Г. В.	337
Харитонов Л. В.	155
Хлебников Д. В.	259
Холмогоров А. О.	362
Хохлов Д. Д.	323, 325
Цвезинский А. С.	72
Цуканова Е. С.	158
Цыганова М. В.	159, 177
Чанцев В. Ю.	364
Чернявская Е. А.	160
Чечин Д. Г.	55
Чижова Т. Л.	312
Чикин А. Л.	161
Чикина Л. Г.	161
Чухарев А. М.	206, 237, 260
Шайда О. В.	185, 186, 348
Шайда В. Г.	185, 348, 349
Шаповалов Р. О.	257
Шапрон Б.	128, 263
Шаратунова М. В.	163, 204
Швецова М. Г.	356
Шевелева Т. В.	164
Шевцова Е. А.	365
Шестак В. Д.	184
Шибанов Е. Б.	238

Шибецкая Ю. Г.	270, 307, 357, 366
Шилин М. Б.	295, 316, 350, 368
Шкирникова Е. М.	356
Шокуров М. В.	166
Шокурова И. Г.	61
Шульга Т. Я.	225
Шутов С. А.	257
Щербаченко С. В.	177
Юлин А. В.	163
Юровская М. В.	41, 261
Юровский Ю. Ю.	41, 189, 263
Юрченко Е. Е.	271
Якушев Е. В.	343
Яровая Д. А.	168
Ясакова О. Н.	370

Научное издание

Моря России: вызовы отечественной науки

Тезисы докладов

Всероссийской научной конференции
(Севастополь, 26–30 сентября 2022 г.)

Перевод *Н. А. Конопляниковой*

Дизайн обложки *П. В. Поликарпова*

Верстка *Н. Б. Мороз*

Подписано в печать 26.08.2022. Формат 60×84 1/6. Тираж 160 экз. Заказ 16.

Отпечатано в типографии СРОО «Дом солнца»
299020, Севастополь, ул. Хрусталева, 143, тел. +(8692) 65-60-11.