

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК



ТЕЗИСЫ

IX ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

МОРЯ РОССИИ: ПРИОРИТЕТЫ, ПРАКТИКА, ПРОГНОЗ



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



МУЗЕЙ МИРОВОГО ОКЕАНА



СЕВАСТОПОЛЬСКОЕ ГОРОДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ



г. Севастополь
22–26 сентября 2025 года

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ
IX ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ**

**МОРЯ РОССИИ:
ПРИОРИТЕТЫ, ПРАКТИКА,
ПРОГНОЗ**

г. Севастополь

22–26 сентября 2025 года

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

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

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

**IX ALL-RUSSIAN SCIENTIFIC
CONFERENCE**

**THE SEAS OF RUSSIA:
PRIORITIES, PRACTICE,
FORECAST**

PROCEEDINGS

Sevastopol

Sevastopol, 22–26 September 2025

**Моря России: приоритеты, практика, прогноз =
The Seas of Russia: Priorities, Practice, Forecast:** тезисы докладов IX Всероссийской научной конференции, г. Севастополь, 22–26 сентября 2025 г. – Севастополь : ФГБУН ФИЦ МГИ, 2025. – 350 с. ; 21 см. – 171 экз. – ISBN 978-5-6043409-8-1. – Текст : непосредственный.
ISBN 978-5-6043409-8-1

В сборнике представлены тезисы докладов IX Всероссийской научной конференции «Моря России: приоритеты, практика, прогноз». Тематика докладов охватывает следующие вопросы: экспериментальные и теоретические исследования океанологических процессов; математическое моделирование состояния морской среды; проблемы береговой зоны моря; взаимосвязь физических и биогеохимических процессов в морской среде; современные методы и средства контактных и дистанционных измерений; влияние изменения климата и антропогенного воздействия на состояние морской среды; информационно-ресурсное обеспечение морехозяйственной деятельности.

Редколлегия:

чл.-корр. РАН, д. г. н. *С. К. Коновалов*,
д. г. н. *Е. Ф. Васечкина*, д. г. н. *Ю. Н. Горячкин*,
д. ф.-м. н. *А. А. Кубряков*, д. ф.-м. н. *А. М. Чухарев*,
к. ф.-м. н. *Д. В. Алексеев*, к. ф.-м. н. *А. В. Багаев*,
к. ф.-м. н. *О. А. Дымова*, к. ф.-м. н. *И. Е. Козлов*,
к. ф.-м. н. *Ю. Ю. Юровский*,
к. г. н. *Д. В. Башарин*, к. г. н. *Н. А. Орехова*,
к. т. н. *С. В. Федоров*, к. т. н. *А. Л. Холод*,
Л. В. Вержевская

Конференция проводится при финансовой поддержке Банка ВТБ (ПАО). Информационными партнерами конференции являются Севастопольское городское отделение Русского географического общества и Музей Мирового океана.

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

<i>Вязилов Е.Д., Воронцов А.А., Мельников Д.А., Пузова Н.В.</i> Перспективы развития гидрометеорологического обеспечения средствами ФГИС ЕСИМО	24
<i>Кубряков А.А., Георга-Копулос А.А., Станичный С.В., Холод А.Л., Пузина О.С.</i> Моделирование и анализ распространения мазута после аварии на танкерах «Волгонефть» в Черном море в 2024 г.	26
<i>Куркин А.А., Куркина О.Е., Рувинская Е.А.</i> Бароклинная волновая динамика шельфово-склоновых зон дальневосточных морей РФ	27
<i>Матишов Г.Г.</i> Глобальный климат и океанический перигляциал	29
<i>Чупин В.А., Швец В.А., Яковенко С.В., Латушкин А.А., Гармашов А.В.</i> Лазерный деформометр на Черноморском гидрофизическом подспутниковом полигоне.....	32

СЕКЦИЯ 1

«ИССЛЕДОВАНИЯ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ КОНТАКТНЫХ И ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ»

<i>Авакин И.О., Кизяков А.И., Юлин А.В., Шаратунова М.В.</i> Анализ сезонной и межгодовой изменчивости площади морского льда в Северном Ледовитом океане и возможность ее прогнозирования.....	34
<i>Алексеев В.В., Коробов П.В., Дымов В.И., Яковлева Н.П.</i> Автоматизированная технология прогнозирования параметров ветрового волнения для прибрежных акваторий морей российской Арктики	36

<i>Алескерова А.А., Харитонова Л.В., Станичный С.В., Кубряков А.А., Василенко Н.В.</i> Распределение взвешенного вещества в Каркинитском заливе Черного моря по спутниковым снимкам	37
<i>Артамонова К.В., Кашин С.В., Казакова У.А., Антипов Н.Н.</i> Структура вод морей Содружества, Дейвиса и Моусона по данным 70-й российской антарктической экспедиции (январь–февраль 2025)	38
<i>Атаджанова О.А., Козлов И.Е., Артамонова А.В., Коник А.А., Петренко Л.А.</i> Вихревые структуры в Арктическом бассейне по данным различных спутниковых радиолокационных миссий за разные годы	40
<i>Бакуева Я.И., Козлов И.Е.</i> Анализ пространственно-временных характеристик поля короткопериодных внутренних волн в Южном океане по данным спутниковой радиолокации Sentinel-1.....	42
<i>Бакуева Я.И., Кубряков А.А., Кубрякова Е.А.</i> Межгодовая изменчивость хлорофилла «А» в Южном океане по спутниковым данным.....	43
<i>Василенко Н.В., Алескерова А.А., Станичный С.В., Кубряков А.А.</i> Апвеллинги в Азовском море по спутниковым данным.....	44
<i>Гаврилов Ю.Г., Морозова О.А., Май Р.И., Фадеев В.А.</i> Верификация данных автоматизированных алгоритмов измерений параметров дрейфа льда на примере данных РЛС порта Сабетта и системы «Соломка»	45
<i>Гайский П.В.</i> Разработка универсальных бортовых модулей памяти и ретрансляции данных для измерительных систем на базе термопрофилемеров	47
<i>Гайский П.В., Шайда О.В., Давидович А.Р.</i> Разработка арктической системы измерения профиля температуры на границах сред воздух-лед-вода на базе термопрофилемеров	48

<i>Гармашов А.В., Толокнов Ю.Н., Коровушкин А.И.</i> Штормовое волнение в районе Южного берега Крыма в 2011–2024 гг. по измерениям на стационарной океанографической платформе	49
<i>Гвоздева А.В., Торхова М.Д., Ильин В.И., Мухаметов С.С., Самборский Т.В.</i> Гидрометеорологические особенности Геленджикской и Голубой бухт в летний и зимний периоды 2025 года.....	51
<i>Даньшина А.В., Чанцев В.Ю.</i> Термохалинная структура и циркуляция вод в период и в районе дрейфа станции «Северный полюс-41».....	53
<i>Добродий В.А., Козлов И.Е.</i> Динамика и эволюция вихря прикромочной ледовой зоны Карского моря в августе 2024 г. по спутниковым данным	55
<i>Долгих Г.И., Дулов В.А., Чупин В.А., Гармашов А.В., Швец В.А., Юровский Ю.Ю., Яковенко С.В., Латушкин А.А., Каменев О.Т.</i> Высокоточный лазерный интерферометрический измеритель подводного давления на океанографической платформе в Черном море и связь подводного давления с поверхностными волнами.....	56
<i>Жихарь Я.М., Жук В.Р., Кубряков А.А.</i> Поверхностный опресненный слой в Карском море: сопоставление спутниковых данных и реанализов.....	58
<i>Жук В.Р., Кубряков А.А.</i> Интенсивный взлом льда и вынос арктических вод через Берингов пролив под действием северных ветров в зимний период	59
<i>Зацепин А.Г., Герасимов В.В.</i> О расслоении линейно-стратифицированной жидкости под влиянием однородного по вертикали перемешивания (лабораторный эксперимент)	61
<i>Зацепин А.Г., Подымов О.И., Сильвестрова К.П., Мурзакова Ю.В.</i> Динамика верхнего квазиоднородного слоя Черного моря по декадно-осредненным данным измерений на полигоне «Геленджик» в теплый период года....	63

<i>Зимин А.В., Атаджанова О.А., Свєргун Е.И., Коник А.А., Романенков Д.А., Софьина Е.В., Варкентин А.И., Тепнин О.Б., Мельник Д.Я.</i> Субмезомасштабные процессы, обусловленные приливом на тихоокеанской акватории Камчатки и их влияние на ранние стадии развития минтая....	65
<i>Кобылянский В.В., Лушников Д.Л.</i> Возможная причина возникновения объемного рассеяния звука в океане	67
<i>Коник А.А., Зимин А.В., Атаджанова О.А., Исаев А.В.</i> Формирование термобара Ладожского озера в весенний период 2016–2022 гг.....	69
<i>Кориненко А.Е., Малиновский В.В., Пампей К.А.</i> Восстановление полей скорости ветра и поверхностных течений по данным радиолокаторов X- и Ka- диапазонов.....	70
<i>Корчѣмкина Е.Н., Ли Р.И.</i> Дистанционная оценка основных характеристик фитопланктона в условиях цветения кокколитофорид в Черном море	72
<i>Кузьмичѣва Т.Ф.</i> Реакция поверхности Аральского моря на северо-восточные ветры по результатам анализа изображений, полученных со спутников MODIS AQUA/TERRA	74
<i>Лихачева М.В., Стерлядкин В.В., Куликовский К.В.</i> Лазерный метод измерения капиллярных волн на морской поверхности	75
<i>Лукашова О.А., Белокопытов В.Н.</i> Проявление паводков на малых реках Западного Крыма в прибрежной зоне моря по спутниковым и контактными данным	76
<i>Львова Е.В., Заболотских Е.В.</i> Исследование площади морского льда Печорского моря и её корреляция со скоростью ветра по данным спутниковых наблюдений и реанализа	78
<i>Манько А.А., Жук В.Р., Кубряков А.А., Мизюк А.И.</i> Сравнительный анализ данных о сплоченности морского льда в Карском море на основе численного моделирования и спутниковых наблюдений.....	80

<i>Маньковская Е.В., Морозов А.Н.</i> Тренды температуры и солености вод северного и северо-восточного районов Черного моря с 2016 по 2021 год.....	81
<i>Матишов Г.Г., Григоренко К.С.</i> Циркуляция Азовского моря по данным натурных измерений.....	82
<i>Молчанов М.С., Антипов Н.Н., Кашин С.В., Чистяков И.А., Бугук Г.М., Федотова А.А.</i> Изменение факторов образования антарктической донной воды в заливе Прюдс в 2022–2025 гг.	83
<i>Морозов А.Н., Маньковская Е.В.</i> Плотностная стратификация в глубинном слое Черного моря.....	85
<i>Новиков Б.А., Федоров С.В., Алескерова А.А., Харитонова Л.В., Станичный С.В.</i> Картирование Малого филофорного поля по спутниковым снимкам: алгоритм и программная реализация	86
<i>Новицкая В.П., Кобылянский В.В.</i> Выбор района работ вблизи Черноморского полигона для исследований тонкой термохалинной структуры водных масс	87
<i>Павлушин В.А.</i> Исследование фронтальной зоны Бенгельского апвеллинга с использованием данных спутникового альтиметра SWOT	88
<i>Папкова А.С., Салюк П.А., Шукало Д.М.</i> Ошибка вычисления концентрации хлорофилла-А по спутниковым данным сканера OLCI над Японским морем в апреле 2023 года.....	89
<i>Петренко Л.А., Козлов И.Е.</i> Развитие ледовых условий в южной части Карского моря по данным дистанционного зондирования	91
<i>Петренко Л.А., Плотников Е.В., Козлов И.Е., Ситак Н.П.</i> Особенности динамики вод и льда в Обской губе по данным дистанционного зондирования	93
<i>Плотников Е.В., Козлов И.Е.</i> Оценка дрейфа морского льда на основе мультисенсорных спутниковых данных	95
<i>Погребной А.Е.</i> Определение характеристик дрейфа льда по спутниковым данным Sentinel-1A/B.....	96

<i>Полозок А.А., Полозок П.В., Фомина И.Н.</i> Характеристика условий возникновения штормовых ситуаций в районе морской станции Опасное	98
<i>Романчук С.М., Чуфицкий С.В., Горбунов Р.И., Аникина Е.А.</i> Результаты испытаний автономной станции многопараметрических измерений в прибрежной акватории Азовского моря.....	100
<i>Рубакина В.А., Кубряков А.А., Гайский П.В.</i> Высоко-частотная изменчивость температуры вод в районе ЮБК по данным термокосы	101
<i>Рубакина В.А., Симонова Ю.В., Марюшкин Ю.А.</i> Наблюдение за апвеллингами в прибрежной зоне ЮБК в 2024 году ..	103
<i>Свергун Е.И., Глухов В.А.</i> Проявления короткопериодных внутренних волн в прибрежной зоне Авачинского залива по данным оптических спутниковых сенсоров	105
<i>Свергун Е.И., Шарафутдинова Т.К., Глухов В.А., Помогаева Т.В., Глитко О.В., Паничева Е.Д.</i> Внутренние волны вблизи Кавказского и Крымского шельфа Черного моря по данным натурных измерений в 135 рейсе НИС «Профессор Водяницкий».....	107
<i>Ситак Н.П., Петренко Л.А., Козлов И.Е.</i> Изменчивость ледовых условий Обь-Енисейского региона Карского моря ..	109
<i>Смоляницкий В.М., Безгин А.А., Лунев Е.Г.</i> Распределенная сеть наблюдений лагранжевых ледовых буюв экспедиции «Северный полюс-41» 2022–2024 гг.: итоги работы и перспективы	110
<i>Смоляницкий В.М., Данышина А.В., Толстошеев А.П.</i> Валидация приповерхностных термических и термохалинных данных ERA5 и CMEMS по прямым измерениям сети лагранжевых буюв экспедиции «Северный полюс-41»..	112
<i>Станичный С.В., Василенко Н.В., Рубакина В.А.</i> Особенности изменения температуры поверхностного слоя Азовского моря по спутниковым данным	114

<i>Станичный С.В., Станичная Р.Р., Давыдова Е.П., Рубакина В.А.</i> Аномалии температуры поверхностного слоя в открытой части Черного моря, вызываемые локальными особенностями поля ветра.....	115
<i>Удалов А.А., Лобанов В.Б., Ладыченко С.Ю., Будянский М.В., Пранц С.В., Салюк А.Н.</i> Перепись мезомасштабных вихрей в северо-западной части Японского моря на основе Лагранжева анализа и судовых наблюдений.....	116
<i>Федирко А.В., Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А.</i> Особенности циркуляции вод и ее связь с характеристиками холодного промежуточного слоя в районе материкового склона у берегов Крыма по данным контактных измерений.....	117
<i>Федотова А.А., Швед Я.В., Петрова А.А., Куссе-Тюз Н.А., Кашин С.В.</i> Комплексные океанографические исследования в Южном океане в рамках Международной антарктической вдольбереговой кругосветной экспедиции .	119
<i>Цыганова М.В., Лемешко Е.М., Рябцев Ю.Н.</i> Особенности пространственной изменчивости поверхностной солености северо-западного шельфа Черного моря.....	121
<i>Чешм Сиахи В., Кудрявцев В.Н., Шапрон Б., Коллар Ф.</i> Определение параметров внутренних волн по аномалиям высоты поверхности океана, измеренным SWOT.....	122
<i>Чешм Сиахи В., Кудрявцев В.Н., Шапрон Б., Коллар Ф.</i> Проявления внутренних волн в «шероховатости» поверхности океана по данным SWOT.....	124
<i>Шарафутдинова Т.К., Свергун Е.И., Зимин А.В., Астапкович А.М.</i> Оценка характеристик короткопериодных внутренних волн методом взаимно корреляционной обработки на основе данных массива дрейфующих буев	126
<i>Шейкин И.Б., Смирнов В.Н., Знаменский М.С., Колабутин Н.В.</i> Методика измерения скорости поверхностных волн в морском ледяном покрове на основе сейсмометрических данных.....	128

<i>Шокурова И.Г., Любчик А.И., Пластун Т.В., Касьяненко Т.Е., Симонова Ю.В.</i> Апвеллинги в прибрежной зоне Кацивели (Крым, Черное море).....	129
<i>Юровский Ю.Ю., Кудинов О.Б.</i> Распределенные измерения поверхностного волнения однотипными буями.....	131

СЕКЦИЯ 2

«ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МОРСКИХ СИСТЕМАХ»

<i>Барабанов В.С.</i> Моделирование прохождения циклона Фальшион над Черным морем.....	133
<i>Белоконь А.Ю., Манилюк Ю.В., Юровский Ю.Ю., Багаев А.В., Лазоренко Д.И., Вержевская Л.В.</i> Анализ пространственного распределения энергии колебаний уровня моря в бухтах Севастополя по данным численного моделирования.....	135
<i>Белокопытов В.Н., Воронцов А.А., Горячкин Ю.Н., Годин Е.А., Шкаберда О.А.</i> Комплексное использование информационных ресурсов для оценки изменений гидрометеорологического режима в районе Керченского пролива	137
<i>Василевская Л.Н., Лисина И.А., Котович Н.Г., Василевский Д.Н.</i> Изменение влажностного режима на побережье Южной Камчатки	139
<i>Воронцов А.А., Булыгин А.М., Вишнев О.Г.</i> Изменения основных характеристик холодного промежуточного слоя в Черном море за последние четверть века.....	141
<i>Гайко Л.А.</i> Влияние климатических изменений на распределение температуры в прибрежной зоне Приморского края в первые три года третьего десятилетия нынешнего века	142

<i>Глухов Л.А., Маркова Н.В., Дымова О.А.</i> Анализ особенностей глубоководных течений в Черном море в 2017 г. на основе результатов численного моделирования.....	144
<i>Горбанёв В.А.</i> Освоение Арктики в условиях глобализации ...	146
<i>Данова Т.Е., Баянкина Т.М.</i> Приземный температурный режим в Крыму при выходе ноябрьских циклонов в Черное море.....	149
<i>Дейнего И.Д., Захарова Е.В., Котилевская А.М.</i> Типизация и прогноз ледовых условий в морях Северного Ледовитого океана: вероятностный подход.....	151
<i>Демышев С.Г., Дымова О.А.</i> Моделирование циркуляции Черного моря с использованием схем, обладающих дискретными квадратичными инвариантами	152
<i>Дешова Д.В., Гордеева С.М.</i> Влияние синоптических условий на адвективные потоки воды и тепла в Печорском море.....	154
<i>Дымова О.А., Миклашевская Н.А.</i> Анализ атмосферного форсинга ERA5 за период 2011–2021 гг для проведения гидрофизического реанализа Черного моря	155
<i>Евстигнеева Н.А., Демышев С.Г., Дымова О.А.</i> Расчет полей течений летом 2017 г. в прибрежной зоне Крыма с открытыми границами на основе численной модели МГИ с высоким разрешением (около 500 м) с усвоением гидрологических данных	157
<i>Жук Е.В., Белокопытов В.Н.</i> Развитие системы онлайн-доступа к океанографическим данным ФГБУН ФИЦ МГИ через сайт БОД МГИ.....	159
<i>Жук Е.В., Белокопытов В.Н.</i> Статистические связи вертикальной термохалинной структуры вод Черного моря с поверхностной температурой и уровнем моря.....	160
<i>Завьялов Д.Д., Соломаха Т.А.</i> Особенности параметризации тепло- и влагообмена в региональной термодинамической модели морского льда	162

<i>Ильин В.И., Архипкин В.С., Медведев И.П.</i> Особенности приливных явлений в Японском море.....	163
<i>Карпелянский А.О., Мизюк А.И.</i> Характеристики мезомасштабных вихрей в водах Северной Атлантики по результатам численного моделирования с различным пространственным разрешением	165
<i>Кочергин В.С., Кочергин С.В.</i> Идентификация координат и момента времени выброса загрязнений точечного импульсного источника в Азовском море.....	167
<i>Крашенинникова С.Б., Бабич С.А., Демидов А.Н., Бабич М.С.</i> Исследование изменчивости глубинных и придонных вод в западной части тропической Атлантики...	168
<i>Кубряков А.А., Добродий В.А., Мизюк А.И.</i> Идентификация субмезомасштабных вихрей в спутниковых данных на основе нейросети YOLO11 с обучением по модели NEMO ...	169
<i>Лемешко Е.Е.</i> Статистика мезомасштабных вихрей для шельфа Черного моря.....	170
<i>Лис Н.А., Чернявская Е.А.</i> Атлантическое тепло и Гренландский лед	171
<i>Лишаев П.Н., Кубряков А.А., Кубрякова Е.А.</i> Моделирование динамики фитопланктона Черного моря на основе расчетов трехмерной численной физико-биохимической модели BFM+NEMO	173
<i>Мизюк А.И., Жук Е.В., Ратнер Ю.Б., Коротаев Г.К., Холод А.Л.</i> Новая версия реанализа гидрофизических полей Черного моря.....	174
<i>Михайличенко С.Ю., Харитонова Л.В., Алексеев Д.В., Фомин В.В.</i> Режим ветрового волнения в районе г. Судак (Крым)	176
<i>Мищенко А.С., Хаймина О.В.</i> Океанографические условия у побережья Марокко и их пространственно-временная изменчивость.....	177

<i>Морозова М.И., Григорьев А.В.</i> Корреляционная структура полей температуры и уровня северо-восточной части Черного моря на основе модельных и спутниковых данных с различным пространственным разрешением.....	179
<i>Морозова С.М., Мысленков С.А.</i> Воспроизведение шторма февраля 2020 г. в Черном море с использованием моделей SWAN-SWASH.....	181
<i>Мысленков С.А.</i> Особенности ветрового волнения в морях России	182
<i>Новикова Е.В., Репина И.А., Артамонов А.Ю., Гавриков А.В.</i> Турбулентные потоки тепла и импульса в прибрежной зоне Балтийского моря.....	183
<i>Онопrienко В.А., Яковлев Н.Г.</i> Исследование динамики экваториальных океанских волн в климатической модели ИВМ РАН.....	185
<i>Павлов М.И., Чухарев А.М., Павленко О.И., Хлыстов В.А.</i> Исследование модуляции вертикального турбулентного обмена циркуляциями Ленгмюра в волновом слое моря	186
<i>Павлушин А.А.</i> Особенности циркуляции в Черном море, вызванные планетарным и топографическим β -эффектом ...	188
<i>Пиваев П.Д., Кудрявцев В.Н.</i> Следы тропических циклонов в аномалиях высоты поверхности океана	189
<i>Пилик Д.И., Рабинович А.Б., Архипкин В.С.</i> Особенности проявления метеоцунами в районе Балеарских островов.....	190
<i>Пузина О.С., Мизюк А.И.</i> Долгопериодная изменчивость термохалиных характеристик Азовского моря на основе численной модели с высоким пространственным разрешением.....	192
<i>Ратнер Ю.Б., Мизюк А.И., Холод А.Л.</i> Предварительные результаты обработки архива данных EASYCORA для улучшения качества морских прогнозов ФГБУН ФИЦ МГИ	194

<i>Ретина И.А.</i> Современные методы исследования приводного слоя атмосферы: от микромасштабных измерений до параметризаций в климатических моделях	195
<i>Сизов А.А., Баянкина Т.М., Башарин Д.В.</i> Циркуляция в атмосфере Атлантико-Европейского сектора и поверхностная температура в регионах Черного моря и Восточного Средиземноморья в десятилетия экстремальных состояний стратосферного полярного вихря	197
<i>Слепышев А.А., Носова А.В.</i> Влияние турбулентной вязкости и диффузии на вертикальный обмен, обусловленный внутренними волнами	198
<i>Слепышев А.А., Разувай Т.А.</i> Вертикальный перенос импульса внутренними волнами в нетрадиционном приближении.....	200
<i>Соколов А.А., Иванов В.В., Смирнов А.В.</i> Межгодовая изменчивость адвективного тепломассообмена Северного Ледовитого океана и его отдельных частей с сопредельными бассейнами по данным океанских реанализов.....	201
<i>Соколов А.А., Смирнов А.В.</i> Адвективный тепломассоперенос через западную границу Баренцева моря по данным реанализа ORAS5.....	203
<i>Сушкевич Т.А.</i> «Эпоха Келдыша»: триумфальное сотрудничество Академии наук СССР и НАСА в космосе. К 50-летию проекта «Союз» – «Аполлон».....	205
<i>Тындыкарь Л.Н., Макшанов А.В.</i> Исследование фрактальной размерности как метод прогнозирования колебаний уровня Каспийского моря.....	207
<i>Тюлькин Р.В., Дианский Н.А., Фомин В.В.</i> Современные подходы к визуализации прогнозов гидрофизических полей на примере Азовского моря.....	209

<i>Фомин В.В., Харитонов Л.В., Шокуров М.В., Барабанов В.С., Лазоренко Д.И., Белоконов А.Ю., Алексеев Д.В., Иванча Е.В., Полозок А.А.</i> Ветроволновые поля и потоки донных наносов в прикерченском районе Черного моря в период шторма 15–17 декабря 2024 г.....	210
<i>Харитонов Л.В., Лазоренко Д.И., Алексеев Д.В., Белоконов А.Ю., Иванча Е.В., Полозок А.А., Фомин В.В.</i> Волновой климат береговой зоны Черного моря, подвергшейся загрязнению после аварии 15 декабря 2024 г.....	212
<i>Холод А.Л., Коротаев Г.К., Мизюк А.И., Ратнер Ю.Б.</i> Валидация результатов ретроспективных анализов полей температуры и солености в акватории Черного моря.....	214
<i>Хорошева А.С., Архипкин В.С., Куликов М.Е.</i> Сгонно-нагонные колебания в Чукотском и Восточно-Сибирском морях по данным численного моделирования высокого разрешения.....	216
<i>Чернявская Е.А., Лис Н.А.</i> Основные паттерны крупномасштабной изменчивости ТПО морей Северо-Европейского бассейна	218
<i>Чечин Д.Г., Шестакова А.А.</i> Применение двумерной модели перемешанного слоя для воспроизведения мезомасштабной изменчивости ветра во время морских холодных вторжений.....	219
<i>Чухарев А.М., Павленко О.И., Zubov A.Г., Павлов М.И., Коржуев В.А.</i> Верификация нестационарной модели турбулентности для верхнего пограничного слоя моря	221
<i>Шокурова И.Г., Крашенинникова С.Б., Башарин Д.В., Чернышова Е.Д., Бабич С.А.</i> Многолетняя изменчивость температуры воды и скорости течений в Северной Атлантике и их связь с Североатлантическим колебанием...	223
<i>Яровая Д.А., Ефимов В.В.</i> Моделирование прибрежных апвеллингов вблизи Южного берега Крыма в мае 2010 года ...	224

СЕКЦИЯ 3 «ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИБРЕЖНОЙ И ШЕЛЬФОВОЙ ЗОН МОРЯ»

<i>Артамонов А.Ю., Медведев Е.В., Мукошеев И.Н.</i> Измерения углекислого газа в атмосфере над водами Черного моря в 135-ом рейсе НИС «Профессор Водяницкий».....	226
<i>Багаев А.В., Нуриев С.А.</i> Георадарное исследование стратиграфии пляжа и оценка объема песчаных отложений для западного берега Крыма.....	228
<i>Багаев А.В., Удовик В.Ф., Горячкин Ю.Н.</i> Динамика искусственного пляжа набережной им. Терешковой (г. Евпатория).....	230
<i>Богатова Д.М.</i> Прогнозирование изменений арктического побережья с использованием методов машинного обучения	232
<i>Богуславский А.С., Казаков С.И., Удовик В.Ф., Берзова И.Г., Хамищев Н.В.</i> Антропогенное изменение морфолитодинамических характеристик Южного берега Крыма в XXI веке	233
<i>Большаинов Д.Ю., Веркулич С.Р., Макаров А.С.</i> Новая концепция хода уровня Мирового океана в позднем неоплейстоцене и голоцене, основанная на данных о древних береговых линиях его побережий	234
<i>Васейкина Н.А.</i> Динамика береговой линии Севастополя за период 1942–2020 гг.	236
<i>Гайский П.В., Давидович А.Р.</i> Изучение влияния примесей мазута на створочную активность черноморской мидии с помощью разработанных биоэлектронных комплексов в натурных условиях	237
<i>Грант Е.М., Губарева Е.К.</i> О необходимости организации прибрежных ООПТ на примере «земли кранта».....	238
<i>Григорьев А.Г., Жамойда В.А., Фатеев Д.С.</i> Проявление опасных экзогенных геологических процессов в пределах прибрежной зоны Баренцева моря.....	240

<i>Григорьев М.Н.</i> Газовые сипы в подводных мерзлых и оттаивающих толщах прибрежно-шельфовой зоны моря Лаптевых	242
<i>Гуров К.И., Марков А.А., Фомин В.В.</i> Характеристики гранулометрического состава донных отложений в предпроливной зоне Керченского пролива, подвергшейся загрязнению мазутом	244
<i>Гурова Ю.С., Гуров К.И., Вареник А.В., Мыслина М.А., Тарасевич Д.В.</i> Потоки биогенных веществ на границе вода – донные отложения в Севастопольской бухте.....	246
<i>Доронин Д.О.</i> Метрологическое обеспечение добычи бивней мамонтов в прибрежной зоне арктических морей	248
<i>Ерёмина Е.С., Евстигнеев В.П.</i> Изменчивость береговой линии залива Сиваш под влиянием сильных осадков	250
<i>Еркушов В.Ю., Дьяков Н.Н., Жидкова Л.Б., Шибаева С.А.</i> Исследование содержания меди, свинца, железа, марганца и хрома в водах Балаклавской бухты в 2024 году	251
<i>Ефименко Е.А., Румянцева Е.А.</i> Методологические подходы к оценке природных и техногенных рисков в прибрежной зоне Мурманской области	253
<i>Завалишин Н.Н.</i> Диффузионная неустойчивость, диссипативные структуры и бифуркация Тьюринга в моделях открытых эксплуатируемых трофических цепей	254
<i>Кажукало Г.А., Багдасаров И.Е., Бобрик А.А., Огородов С.А., Красильников П.В.</i> Влияние морфодинамики низких берегов арктических морей на запасы «голубого» углерода (на примере Чёшской губы Баренцева моря).....	256
<i>Котельянец Е.А., Совга Е.Е., Гуров К.И.</i> Содержание и распределение микроэлементов в донных отложениях Лименского залива (Черное море)	258
<i>Красильников Д.С., Мизюк А.И., Ханайченко А.Н., Багаев А.В., Климова Т.Н.</i> Лагранжев подход при моделировании распространения Черноморского калкана на ранних этапах жизненного цикла.....	259

<i>Кременчуцкий Д.А., Батраков Г.Ф.</i> Вертикальное распределение тория-234 в деятельном слое вод Черного моря по натурным данным.....	261
<i>Крыленко В.В., Крыленко М.В.</i> Изменение рельефа пляжей Анапской пересыпи в ходе ликвидации последствий техногенной катастрофы.....	263
<i>Крыленко С.В., Крыленко М.В., Крыленко В.В.</i> Tamarix как фактор формирования дюн Анапской пересыпи.....	264
<i>Кузнецов А.С.</i> Особенности межгодовой изменчивости прибрежного ветра на Черноморском гидрофизическом подспутниковом полигоне.....	265
<i>Кузнецова О.В.</i> Определение тяжелых металлов в микропластике, выделенном из морской воды и прибрежных осадков методом SF-ICP-MS: сравнение различных методов пробоподготовки	266
<i>Лукьянова О.Н., Артамонова К.В., Варварова А.О., Зубаревич В.Л., Иванов В.В., Мурзакова Ю.В., Торгунова Н.И., Щука А.С.</i> Гидролого-гидрохимические условия Баренцева моря в осенний сезон 2023 г. и летний 2024 г.	268
<i>Лысенко В.И., Шик Н.В.</i> Особенности методики опробования холодных сипов на примерах бухты Ласпи (Южный берег Крыма).....	270
<i>Макаров К.Н., Макарова И.Л.</i> Моделирование динамики разлива нефтепродукта в прибрежной зоне моря.....	272
<i>Масевич А.В.</i> Оценка продукционно-деструкционных процессов в водах Керченского пролива	274
<i>Медведев Е.В., Артамонов А.Ю., Мукосеев И.Н.</i> Опыт комплексных измерений параметров карбонатной системы в 135-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий».....	276
<i>Метик-Диюнова В.В., Хамицевич Н.В., Майборода С.А.</i> Характеристика изменчивости экстремальных температур воздуха у Южного берега Крыма.....	278
<i>Морковских А.Д., Седова Н.Б.</i> Тяжёлые металлы в прибрежной зоне северной части архипелага Новая Земля ..	280

<i>Морозов Е.А., Алескерова А.А., Новиков Б.А., Харитонова Л.В.</i> Применение дистанционного зондирования в видимом диапазоне спектра для типизации морского дна в береговой зоне западного Крыма	282
<i>Мыслина М.А., Вареник А.В.</i> Сезонное изменение соотношений биогенных элементов в поверхностном слое вод Черного моря в юго-восточной части Крымского полуострова (прибрежный район) в 2023 г.	283
<i>Назаров Д.В.</i> Приморские кластеры – инструмент достижения ЦУР 14 для побережья и морской акватории Черного и Средиземного морей (регионы п-ова Крым и о. Кипр).....	284
<i>Науменко И.П., Васечкина Е.Ф., Вареник А.В.</i> Экспериментальное определение параметров модели ферментативной кинетики Михаэлиса–Ментен для массовых видов макроводорослей Черного моря.....	285
<i>Науменко И.П., Васечкина Е.Ф., Вержевская Л.В., Шайда В.Г.</i> Влияние температуры на фотосинтетическую активность макроводорослей прибрежной зоны Черного моря.....	287
<i>Никишин В.В., Багаев А.В., Вержевская Л.В.</i> Разработка учебно-тренажёрного комплекса для проведения прибрежных океанографических исследований.....	289
<i>Огородов С.А., Ермолов А.А., Кажукало Г.А.</i> Береговая зона морей России в XXI веке.....	291
<i>Омельченко С.О., Руднева И.И., Омельченко А.В., Шайда В.Г.</i> Сезонная и межгодовая динамика загрязнения тяжелыми металлами цист артемии – вида-индикатора Сакского соленого озера (Республика Крым).....	292
<i>Орехова Н.А., Корчёмкина Е.Н., Медведев Е.В.</i> Динамика CO ₂ в поверхностном слое вод Черного моря в период цветения кокколитофорид	293
<i>Пионтковский С.А., Загородняя Ю.А.</i> Распределение биомассы по трофическим уровням в пелагическом сообществе Крымского шельфа	295

<i>Погожева М.П., Спирина В.А.</i> Мониторинг берегового мусора на пляжах Черного моря в период с 2016 по 2021 гг.....	297
<i>Подымов И.С., Подымова Т.М.</i> Некоторые результаты многолетнего мониторинга вертикальных деформаций земной поверхности береговой зоны Черного моря в регионе Геленджика	299
<i>Руднева И.И., Гайский П.В., Шайда О.В., Шайда В.Г.</i> Особенности влияния температурных колебаний рапы соленых озер на биоту.....	301
<i>Руднева И.И., Котельянец Е.А., Шайда В.Г., Шайда О.В.</i> Загрязнение грунтов приморских соленых водоемов евпаторийской группы тяжелыми металлами	302
<i>Румянцева Е.А., Ефименко Е.А.</i> Оценка природных и техногенных рисков арктического природопользования для береговой зоны Мурманской области	303
<i>Сазыкин И.С., Хмелевцова Л.Е., Ажогина Т.Н., Лановая О.Д., Хаммами М.И., Сазыкина М.А.</i> Гены резистентности и бактериальная деградация углеводов в донных отложениях прибойной зоны Таганрогского залива Азовского моря	305
<i>Сазыкина М.А., Карчава Ш.К., Климова М.В., Хаммами М.И., Полиниченко А.Е., Сазыкин И.С.</i> Токсичность донных отложений прибойной зоны Таганрогского залива Азовского моря	307
<i>Санин А.Ю.</i> К вопросу об управлении туристическим использованием прибрежной зоны Крыма в современных условиях	309
<i>Светашева Д.Р.</i> Первичная продукция и биогенные вещества в Среднем Каспии в 2023 г.....	311

<i>Соломонова Е.С., Шоман Н.Ю., Акимов А.И., Рылькова А.О.</i> Изменение скорости роста, флуоресцентных и цитометрических показателей у микроводоросли <i>Thalassiosira weissflogii</i> и развитие ее адаптационного потенциала при воздействии наночастиц цинка.....	313
<i>Тарасевич Д.В., Вареник А.В.</i> Изменение концентрации неорганического фосфора в водах Черного моря в районе Крымского полуострова в весенне-летний период	314
<i>Терентьев А.С., Михайлов В.В.</i> Влияние устричного хозяйства на донное сообщество верховья оз. Донузлав (Крым)	316
<i>Филиппова Т.А., Васечкина Е.Ф., Фомин В.В.</i> Оценка влияния устричной фермы на состояние акватории залива Донузлав	318
<i>Хамицевич Н.В., Майборода С.А., Метик-Диюнова В.В.</i> Вариации засушливых периодов на Южном берегу Крыма ..	320
<i>Хмара Т.В., Совга Е.Е., Мезенцева И.В.</i> Сравнение самоочистительной способности экосистем Ялтинского порта и Севастопольской бухты в отношении неорганических форм азота	322
<i>Хоружий Д.С.</i> Изменчивость величины водородного показателя в водах Севастопольской бухты	324
<i>Чистяков А.М., Крыленко М.В.</i> Особенности аккумулятивных форм побережья п-ова Абрау.....	326
<i>Шкаберда О.А.</i> Динамика атмосферных засух на юго-востоке Крымского полуострова.....	327
Перечень организаций	330
Авторский указатель.....	336

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВАМИ ФГИС ЕСИМО

Вязилов Е.Д. ✉, Воронцов А.А., Мельников Д.А., Пузова Н.В.

ВНИИГМИ-МЦД, г. Обнинск

✉ vjaz@meteo.ru

Ключевые слова: ЕСИМО, ФГИС, модернизация, ИТ, ИИ, цифровой двойник, развитие обслуживания.

В 2014 году федеральная государственная информационная система «Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане» (ФГИС ЕСИМО) введена в постоянную эксплуатацию. В системе интегрировано более 2300 информационных ресурсов (ИР), представленных в виде структурированных файлов, баз данных, объектных файлов с неструктурированными данными, картографических сервисов. Интеграция данных с помощью метаданных позволила на одном экране представить наблюдаемые, прогностические и климатические данные вместе со сведениями о предприятиях, судах, портах. С помощью ЕСИМО организовано самообслуживание пользователей. Поддержка эксплуатации обеспечивается показателями (актуальность данных, работоспособность аппаратно-программного комплекса, посещаемость, количество загрузок ИР и др.

За последние 10 лет в области информационных технологий (ИТ) произошли существенные изменения. Создаются средства автономного обмена данными между программными средствами, что дает возможность разработать сквозную технологию «от интеграции данных до принятия решений». Стали применяться цифровые двойники для доставки данных в различные приложения и модели, что позволит стандартизовать выходные данные системы. Развивается новая архитектура данных – Data Mesh

(сетка данных), которая в первую очередь направлена на развитие обслуживания пользователей. Развиваются новые способы взаимодействия пользователей с интерфейсами сервисов в виде Информационной панели для визуализации в любой точке страны основных наблюдаемых и прогностических значений параметров с индикацией уровней опасности; МетеоМонитора с помощью интерактивной карты, показывающей гидрометеорологическую обстановку; системы поддержки принятия решений для выдачи воздействий опасных явлений (ОЯ) на население и промышленные предприятия и рекомендаций.

В последние годы активно развиваются методы и средства ИИ (нейронные сети, машинное обучение, чат-боты, графы знаний, базы знаний) для обслуживания пользователей. Так ведутся исследования для применения генеративных чат-ботов для улучшения поиска данных; трансформации числовых значений прогностических параметров в текст прогноза, понятной любому пользователю; поиска и формализации воздействий ОЯ и рекомендаций, подготовки различных документов, создания веб-сайтов и презентаций. Базы знаний могут использоваться для обучения и организации тренингов по адаптации к изменениям климата и опасным явлениям; выявления ОЯ на основе локальных пороговых значений показателей ОЯ.

Эти и другие ИТ будут использоваться при модернизации ЕСИМО в 2025–2029 гг. Развитие информационного обслуживания средствами ФГИС ЕСИМО позволит:

- персонализировать доставку данных во внутренние и внешние приложения;
- организовать совместную обработку различных типов и видов данных за счет создания векторной базы данных, в которой будут представлены графы знаний со связями между информационными ресурсами;
- оценивать воздействия изменений климата и опасных явлений на население и экономику страны; выдавать рекомендации для принятия решений;
- оптимизировать решения с учетом складывающихся гидрометеорологических условий, экономической оценки ущерба и расчета стоимости превентивных мероприятий до явления.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МАЗУТА ПОСЛЕ АВАРИИ НА ТАНКЕРАХ «ВОЛГОНЕФТЬ» В ЧЕРНОМ МОРЕ В 2024 Г.

Кубряков А.А. ✉, Георга-Копулос А.А.,
Станичный С.В., Холод А.Л., Пузина О.С.

МГИ, г. Севастополь

✉ arskubr@yandex.ru

Ключевые слова: моделирование переноса нефтяных загрязнений, динамика течений, Черное море, авария на танкерах Волгонефть.

В работе представлены результаты численного моделирования распространения мазута после аварии танкеров «Волгонефть-212» и «Волгонефть-239» в Керченском проливе 15 декабря 2024 г. Для этой цели использовалась модель FOTS (Floating object tracking system), позволяющая рассчитывать и прогнозировать перемещение нефтяных загрязнений в морской среде, и результаты работы Центра оперативного прогноза и контроля состояния Черноморского региона, функционирующего в Морском гидрофизическом институте в г. Севастополе. Восстановление трехмерных полей скорости течений осуществлялось с использованием численной модели циркуляции Черного моря с ассимиляцией альтиметрических данных спутниковых наблюдений и информации о температуре поверхности моря.

Программный комплекс позволил своевременно спрогнозировать направления переноса мазута и воспроизвести полную хронологию распространения загрязнений в акватории Азово-Черноморского бассейна. Система успешно предсказала сроки и места попадания загрязнений на побережье городов Анапа, Керчь, Севастополь и Евпатория в течение 25-дневного периода наблюдений. Для верификации результатов моделирования использовался комплекс наблюдательных данных, включающий спутниковые радиолокационные изображения Sentinel-1, оптические спутниковые снимки, данные береговых наблюдений и отчеты аварийно-спасательных служб МЧС и МорСпасСлужбы.

Результаты верификации показывали высокую точность воспроизведения распространения загрязнений, в том числе районы и сроки попадания мазута на берег. Своевременная передача прогнозных данных аварийно-спасательным службам позволила заблаговременно сосредоточить силы в прогнозируемых районах загрязнения и минимизировать экологический ущерб.

Мазут марки М-100 продемонстрировал способность к активному состоянию в течение месяца без существенного выветривания, что привело к значительному распространению загрязнения на расстояния более 300 км от источника и требует разработки специализированных подходов к ликвидации подобных аварий. Комплексный анализ результатов численного моделирования позволил построить детальную картину пространственно-временного распределения мазутного загрязнения в акватории Черного моря.

БАРОКЛИННАЯ ВОЛНОВАЯ ДИНАМИКА ШЕЛЬФОВО-СКЛОНОВЫХ ЗОН ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЕЙ РФ

Куркин А.А. , Куркина О.Е., Рувинская Е.А.

НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород

 *aakurkin@nntu.ru*

Ключевые слова: внутренние волны, стратификация плотности, численное моделирование.

Мониторинг и прогнозирование волнового климата, особенно в шельфовой зоне, играет очень важную роль в планировании хозяйственной деятельности человека, инженерных изысканиях и предсказании потенциального воздействия на прибрежную экосистему. Шельфово-склоновые зоны дальневосточных морей РФ подвержены влиянию сильных приливов со сложной структурой, а также значительной сезонной изменчивости. Одной из ключевых компонент волнового климата в исследуемом регионе являются внутренние волны (и индуцированные ими течения).

Двух- и трехмерное численное моделирование динамики внутренних волн позволяет отчасти компенсировать скудность натурных наблюдений и неполноту получаемой информации о структуре волновых полей.

Плотностная стратификация морских вод определяет их бароклинную динамику, в том числе такие опасные явления как резкие перепады температуры, сильные сдвиговые течения, размывы дна, внутренние боры и др. На первом этапе нашей работы было проведено количественное уточнение закономерностей климатической многолетней изменчивости крупномасштабной термохалинной структуры вод дальневосточных морей на основе наиболее полных климатологических массивов гидрологических данных и современных методов их анализа. Затем среднеклиматические сезонные особенности плотностной стратификации вод и баротропных приливных течений в рассматриваемом регионе проанализированы на основании карт кинематических и нелинейных параметров внутренних волн, интегрального индекса стратификации, величины приливной массовой силы плавучести. Выделены зоны, которые представляют собой благоприятную среду для более интенсивных бароклинных процессов с высокой плотностью потоков бароклинной энергии, что может быть использовано при планировании натурных экспериментов, гидротехнических работ и хозяйственной деятельности. Далее в рамках двумерной полнонелинейной негидростатической численной гидродинамической модели выполнены сценарные расчеты волновых полей, возникающих при трансформации многокомпонентного баротропного прилива в Охотском море. Выделено несколько режимов трансформации длинных волн, получены оценки амплитуд как волн бароклинного прилива, так и короткопериодных внутренних волн, генерируемых на их фронтах, особенно в районах с максимальными амплитудами бароклинных приливов. Исследована пространственная структура бароклинных течений на северо-восточном шельфе о. Сахалин: построены и проанализированы карты уровней вероятности превышения для значений придонной и приповерхностной горизонтальной скорости 0,25 и 0,3 м/с (размывающие скорости для мелкого песка и легкой песчаной почвы) по абсолютному значению, в направлении к берегу и от берега, а также

карты распределения значений приповерхностной и придонной скорости по ее абсолютному значению, в направлении к берегу и от берега, которые будут превышены с различными значениями уровня вероятности. Статистический анализ расчетных полей скорости движения стратифицированных потоков позволил выделить зоны, где вероятностные распределения обладают «тяжелыми хвостами», а значит, возрастает степень значимости воздействия бароклинных волн на окружающую среду и гидротехнические сооружения.

Особое внимание уделено чувствительности модели и получаемых решений к основному состоянию среды (гидрологии, стратификации, донной батиметрии). Показано, что наблюдаемые мультидекадные изменения гидрологического климата пока не сказываются критическим образом на характеристиках расчетных волновых полей.

ГЛОБАЛЬНЫЙ КЛИМАТ И ОКЕАНИЧЕСКИЙ ПЕРИГЛЯЦИАЛ

Академик Матишов Г.Г. ^{1,2} ✉

¹ ЮНЦ, г. Ростов-на-Дону

² ММБИ, г. Мурманск

✉ Matishov_ssc-ras@ssc-ras.ru

Ключевые слова: Дельта Дона, обмеление, цикличность климата, палеогеография, регрессия – трансгрессия Мирового океана.

В настоящее время много внимания уделяется процессам в окружающей среде, связанным с изменением климата. Некоторые из таких изменений вызывают большой общественный резонанс, поскольку затрагивают экономику регионов и влияют на качество жизни населения. Одно из подобных негативных явлений – маловодье юга европейской части России, охватившее бассейны крупнейших рек региона – Волги, Дона, Кубани.

Изменение климата и его последствия в последнее время чаще всего связываются с чрезмерным антропогенным воздействием на окружающую среду, а прогнозы строятся на результатах метеорологических наблюдений за последние два века и геоинформационном моделировании. Классический подход опирается на достижения палеогеографии, исторической и четвертичной геологии. Без понимания процессов, происходивших в прошлом невозможно достоверно говорить о будущих изменениях и оценивать их влияние на экосистему планеты.

С точки зрения палеогеографии наиболее подробно изучен период климатического позднеплейстоценового макроцикла, включавшего последнее микулинское (земское) межледниковье, валдайское (вислинское) оледенение и современное голоценовое шумиловское межледниковье. Более чем 15-летний опыт изучения палеогеографии Азовского моря и дельты Дона сотрудниками Южного научного центра РАН в кооперации со специалистами МГУ имени М.В. Ломоносова, Института географии РАН, Геологического института РАН и других организаций позволил накопить значительный фактический материал по голоценовой истории бассейна Азовского моря. В частности, выяснены усреднённые значения скоростей осадконакопления на протяжении древне- и новоазовского этапов развития водоёма (они составляли от 0,2 до 2 мм/год). Анализ строения донных отложений, береговых аккумулятивных кос и подстилающих их отложений с применением серийных буровых, сейсмоакустических, георадарных работ дал важную дополнительную информацию для палеогеографических реконструкций. Обобщение геолого-геоморфологических, палеонтологических и археологических данных показало, что на протяжении всей голоценовой истории (последние 11,7 тыс. лет) существования внутренних морей России их береговые границы и уровень постоянно изменялись под влиянием различных эндогенных и экзогенных факторов. Причина трансформаций водного режима и возникновения маловодья – изменение глобальной циркуляции атмосферы, увеличение числа оттепелей и снижение глубины промерзания почвы. Это способствует пополнению запасов грунтовых вод в зимний период и росту подземного питания рек.

В результате климатических флуктуаций происходит сокращение слоя стока за половодье на 30–40 %, а модуля стока – на 40–60 %. Наблюдаемое в настоящее время на Дону маловодье и зарегулирование речного стока привели к необратимым деформациям естественных процессов в экосистеме донской дельты и Таганрогского залива, в прошлом богатых промысловыми рыбами. Резко сократились весенние паводки и общий объём пресного стока в сторону взморья. Донские гирла (рукава и протоки в дельте) в течение года примерно на 17 % заполняются слабосоленовой (2–4 ‰) и на 4 % солоноватой (4–8 ‰) водой. Опасными в местах обитания зообентоса и ихтиофауны стали частые смещения зоогеографического барьера (изогалины 4–5 ‰) из Таганрогского залива в донскую дельту. Явления типа маловодья в отдельных регионах, в том числе в Приазовье, связаны с циклическими изменениями климата, борьба с которыми неэффективна. Причины беспрецедентных преобразований в дельте Дона и на взморье кроются во внутривековой цикличности климата (30, 60 лет) и деструктивных явлениях, нараставших с 1952 г. после перекрытия долины р. Дон Цимлянской плотиной. Климатические циклы, а также закономерности изменения ряда экологических показателей, в том числе обводнённости территории, необходимо учитывать при экономическом планировании развития регионов. На наш взгляд необходимо реконструировать существующие гидротехнические сооружения, модернизировать флот класса «река–море» и активнее развивать водосберегающие технологии (например, системы капельного орошения).

ЛАЗЕРНЫЙ ДЕФОРМОМЕТР НА ЧЕРНОМОРСКОМ ГИДРОФИЗИЧЕСКОМ ПОДСПУТНИКОВОМ ПОЛИГОНЕ

Чупин В.А. ^{1✉}, Швец В.А. ¹, Яковенко С.В. ¹,
Латушкин А.А. ², Гармашов А.В. ²

¹ *ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток*

² *МГИ, г. Севастополь*

✉ *chupin@poi.dvo.ru*

Ключевые слова: лазерный деформометр, микродеформации, микросейсмы, мониторинг.

В 2025 году на основе ранее разработанной и успешно внедрённой станции на о-ве Попова в Приморском крае был реализован аналогичный проект берегового лазерного деформометра на побережье Чёрного моря. Новый прибор установлен на территории Черноморского гидрофизического подспутникового полигона. Запуск в непрерывную эксплуатацию состоялся 22 июня 2025 года.

Лазерный деформометр представляет собой стационарную оптическую интерферометрическую систему на основе схемы неравноплечего интерферометра Майкельсона, предназначенную для регистрации микродеформаций земной коры в прибрежной зоне.

Ключевые особенности конструкции:

- общая длина измерительного плеча интерферометра – 15,1 м.
- прибор установлен в полуподземном исполнении, что позволило упростить монтаж и провести оперативную пробную эксплуатацию.
- используется герметизированный лучевод длиной 15 м для защиты лазерного пучка от внешних воздействий.
- запланирована дополнительная изоляция от атмосферных факторов, включая улучшенную тепловую защиту.

Вся система регистрации, включая фотодетектор, аналого-цифровой преобразователь и систему хранения данных, локализована в непосредственной близости от измерительного узла, что позволяет минимизировать искажения при передаче сигнала.

После запуска лазерного деформометра в режиме непрерывного измерения были получены предварительные результаты:

- зафиксирована суточная цикличность сигнала, обусловленная солнечным нагревом отдельных конструкций прибора.

- в спектральном диапазоне до 0,5 Гц отчётливо выделяются микросейсмические колебания, предположительно вызванные ветровым волнением.

- обнаружены сигналы, вызванные локальными антропогенными процессами.

Предварительный анализ показал, что береговой лазерный деформометр стабильно работает в условиях открытого побережья и имеет высокую чувствительность при регистрации природных и техногенных процессов. В долгосрочной перспективе планируется провести дополнительную защиту элементов оборудования от воздействий солнечного излучения и погодных факторов для обеспечения более высокой точности.

Установка подтвердила свою пригодность для мониторинга геофизических процессов, включая сейсмоакустические колебания, микросейсмы и антропогенные воздействия в прибрежной зоне.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта № 075-15-2024-642 «Исследование процессов и закономерностей возникновения, развития и трансформации катастрофических явлений в океанах и на континентах методами сейсмоакустического мониторинга».

**СЕКЦИЯ 1
«ИССЛЕДОВАНИЯ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ КОНТАКТНЫХ И
ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ»**

**АНАЛИЗ СЕЗОННОЙ И МЕЖГОДОВОЙ
ИЗМЕНЧИВОСТИ ПЛОЩАДИ МОРСКОГО ЛЬДА
В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ И
СПОСОБНОСТЬ ЕЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ**

**Авакин И.О.^{1✉}, Кизяков А.И.¹,
Юлин А.В.², Шаратунова М.В.²**

¹ МГУ, г. Москва

² ААНИИ, г. Санкт-Петербург

✉ ilya.avakin@gmail.com

Ключевые слова: морской лед, Северный Ледовитый океан, прогнозирование, АПС «Пегас».

Изменение площади морского льда в Северном Ледовитом океане (СЛО) с каждым годом вызывает все больший интерес у исследователей, т. к. данный показатель несет в себе наиболее точные и доступные сведения о состоянии климата нашей планеты и происходящих в нем изменениях. Также анализ изменчивости площади ледяного покрова имеет прикладное значение для решения ряда вопросов, связанных с хозяйственной деятельностью человека в Арктике, и необходим для усовершенствования методов составления ледовых прогнозов.

Целью работы является исследование сезонной и межгодовой изменчивости площади морского льда в Северном Ледовитом океане по существующим базам данных и оценка возможности прогнозирования площади морского льда в СЛО с использованием автоматизированной прогностической системы (АПС) «Пегас».

В работе используются данные среднемесячных значений площади морского льда в Северном Ледовитом океане и его морях за ряд наблюдений с 1979 по 2024 гг. включительно, отсортированные по гидрологическим годам. Архив данных Международного центра данных (МЦД) по морскому льду доступен на сайте ФГБУ «ААНИИ» по ссылке <http://wdc.aari.ru/datasets/ssmi/data/north/extent/>.

Данные были получены путем пассивного микроволнового зондирования Северной полярной области с использованием алгоритма NASATEAM с интервалом в 1–2 дня. Массив данных представляет собой матрицы оценки общей сплоченности площади морского льда, выраженной в процентах для ячеек сетки полярной стереографической проекции размером 25×25 км.

В ходе проведенного исследования была рассмотрена сезонная и межгодовая изменчивость площади морского льда в СЛО и его морях, проанализирована возможность составления ледовых прогнозов с помощью АПС «Пегас» и сделаны следующие выводы:

1. В последнее десятилетие (2014–2023 гг.) морского льда в период осенне-зимнего нарастания стало образовываться на 600 тыс. км² меньше, а за период весенне-летнего таяния площадь ледяного покрова стала сокращаться на 2640 тыс. км² больше, чем в десятилетие повышенной ледовитости (1979–1988 гг.). Таким образом, к сентябрю около 69 % акватории СЛО освобождается ото льда.

2. Интенсивность нарастания морского льда в осенне-зимний период последнего десятилетия существенно возросла. Данное явление свидетельствует о быстром расходе теплозапаса в деятельном слое СЛО осенью.

3. Отличительной особенностью морей Российской Арктики по сравнению с морями остальных рассматриваемых районов является то, что для их акваторий, за исключением Баренцева моря, характерно довольно широкое распространение ледяного покрова, особенно в зимний сезон.

4. Оценка возможности прогнозирования площади морского льда в Северном Ледовитом океане с помощью АПС «Пегас» показала, что данная прогностическая система имеет высокий показатель оправдываемости, который составляет 80 %.

5. Результаты, полученные с использованием АПС Пегас, подтвердили, что на формирование ледяного покрова сильное влияние оказывают особенности циркуляции Арктических воздушных масс в районах Гренландии, Шпицбергена, Новой Земли, Восточно-Сибирского моря и Аляски.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ ДЛЯ ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ МОРЕЙ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

**Алексеев В.В., Коробов П.В. ✉,
Дымов В.И., Яковлева Н.П.**

ААНИИ, г. Санкт-Петербург
✉ pkor@aari.ru

Ключевые слова: прогнозы волнения, волновые модели, спутниковая альтиметрия, верификация моделей.

Представлена технология прогнозирования параметров ветрового волнения для прибрежных акваторий морей Российской Арктики, включая заливы, проливы и крупные бухты.

Технология основана на использовании моделей третьего поколения WAVEWATCH III (для океанских и морских акваторий) и SWAN (для прибрежной зоны). Для крупномасштабных акваторий возможно использование модели второго поколения AARI PD2 с передачей граничных условий в спектральной форме в модели WAVEWATCH III и SWAN.

Представлена система вложенных расчетных сеток, разработанная в рамках рассматриваемой технологии.

Продемонстрированы примеры построенных по технологии карт волнения.

Приведены результаты сопоставления результатов расчетов с данными спутниковой альтиметрии и даны оценки оправдываемости прогнозов для различных акваторий и заблаговременностей.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА В КАРКИНИТСКОМ ЗАЛИВЕ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ

Алескерова А.А. ✉, Харитонов Л.В., Станичный С.В.,
Кубряков А.А., Василенко Н.В.

МГИ, г. Севастополь
✉ *Annete08@mail.ru*

Ключевые слова: спутниковые снимки, Landsat, MODIS, общее взвешенное вещество, Каркинитский залив, Черное море.

На основе массива спутниковых данных MODIS и Landsat-8 проведено исследование пространственно-временного распределения общего взвешенного вещества (ВВ) в Каркинитском заливе. Показано, что акватория характеризуется высокой динамикой и пространственной неоднородностью распределения ВВ. Существенную роль в его распределении играют ветро-волное воздействие, сложный характер рельефа дна, конфигурация и строение берегов залива.

Ветро-волновой режим акватории залива исследовался на основе статистического анализа ретроспективных расчетов ветра и волнения по данным реанализов ERA-Interim, ERA5 и SWAN-ERA за 2003–2024 гг. и численного моделирования типовых полей волнения.

Выявлено, что ветро-волновой режим является доминирующим фактором сезонного хода распределения ВВ в Каркинитском заливе. Сравнение показателей суммарного индекса мощности штормов и среднегодовых значений концентраций ВВ на масштабе межгодовой изменчивости не показало прямой связи в явном виде. Наибольшим среднегодовым значениям концентраций ВВ соответствуют не максимальные, но высокие значения мощности штормов.

Впервые обнаружено, что значимым фактором, влияющим на пространственное распределение концентрации ВВ в восточной части Каркинитского залива, является Малое филлофорное поле.

Пониженные значения яркости в этой области фиксировались на большинстве проанализированных снимков.

Работа выполнена по гранту РФФИ №25-27-00234.

СТРУКТУРА ВОД МОРЕЙ СОДРУЖЕСТВА, ДЕЙВИСА И МОУСОНЫ ПО ДАННЫМ 70-Й РОССИЙСКОЙ АНТАРКТИЧЕСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ (ЯНВАРЬ–ФЕВРАЛЬ 2025)

Артамонова К.В. ¹✉, **Кашин С.В.** ²,
Казакова У.А. ³, **Антипов Н.Н.** ²

¹ ВНИРО, г. Москва

² ААНИИ, г. Санкт-Петербург

³ ИО РАН, г. Москва

✉ ksusha.vniro@gmail.com

Ключевые слова: индоокеанский сектор Антарктики, залив Прюдс, водные массы, гидролого-гидрохимические характеристики, Донная вода залива Прюдс.

В работе представлены результаты исследования структуры вод морей Восточной Антарктиды (Содружества, Дейвиса и Мусона), полученные в летний антарктический период (январь–февраль) в составе 70-й российской антарктической экспедиции (РАЭ) на НЭС «Ак. Федоров». Исследуемые моря расположены в индоокеанском секторе Южного океана. На берегу залива Прюдс (море Содружества) находится российская научная станция Прогресс, которая в настоящее время является центром Российской Антарктики. На побережье моря Дейвиса расположена первая российская (ранее советская) антарктическая научная станция Мирный.

На океанографических разрезах, подробно секущих зону шельфа и материкового склона исследуемых морей, была проанализирована структура вод, выделены основные водные массы и

их гидролого-гидрохимические характеристики с целью выявления процессов образования плотных донных вод.

По полученным данным шельф морей Дейвиса и Моусона сильно изолирован от океанических вод и представлен Антарктической Шельфовой водой (АШВ) с верхним прогретым и хорошо аэрированным слоем до глубины 100 м, глубже происходит резкий вертикальный градиент по всем гидролого-гидрохимическим характеристикам, а слой от 200–250 м и до дна почти однородный и сформирован АШВ с минимум температуры (до $-1,98^{\circ}\text{C}$).

Для мористой части морей Дейвиса и Моусона под верхним прогретым слоем хорошо прослеживался зимний остаточный слой с минимумом температуры (менее -1.4°C) на глубине 100–300 м. Ядро ЦГВ располагалось на глубине 600–1000 м и характеризовалось максимумом температуры и солености, а также минимумом растворенного кислорода. На склоне моря Моусона выделилась линза плотной холодной воды с достаточно высоким содержанием растворенного кислорода и пониженными концентрациями биогенных элементов, что указывает на то, что процесс образования плотных вод и сползание их в море Моусона происходит, но не в створе разреза. Это послужит объектом наших будущих исследований.

Основной отличительной особенностью структуры вод моря Содружества являлось проникновение модифицированной циркумпольарной глубинной воды (МЦГВ) на шельф, которая выделялась по промежуточному максимуму температуры и биогенных элементов, а также минимуму растворенного кислорода.

Ядро ЦГВ в мористой части моря Содружества располагалось выше, чем в морях Дейвиса и Моусона (на глубине 400–750 м) и характеризовалось более высокой температурой (более $0,8^{\circ}\text{C}$) и более низким содержанием растворенного кислорода (менее 4,8 мл/л). Установлено, что только на склоне залива Прюдс моря Содружества происходит сползание плотных вод, получивших название Донные воды залива Прюдс (ДВЗП), которые участвуют в пополнении ААДВ. Основными исходными водными массами для ДВЗП являются АШВ и МЦГВ. В то же время по полученным данным установлено, что характеристики ДВЗП в этом году по сравнению с предыдущими исследованиями менее выражены.

ВИХРЕВЫЕ СТРУКТУРЫ В АРКТИЧЕСКОМ БАССЕЙНЕ ПО ДАННЫМ РАЗЛИЧНЫХ СПУТНИКОВЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ МИССИЙ ЗА РАЗНЫЕ ГОДЫ

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

¹ МГИ, г. Севастополь

² ИО РАН, г. Москва

✉ oksana.atadzhanova@gmail.com

Ключевые слова: вихри, Арктика, Северный Ледовитый океан, радиолокация, прикромочная ледовая зона.

Исследование посвящено обобщению полученных коллективом результатов по анализу вихревых структур в арктическом бассейне по данным спутникового радиолокационного зондирования как для вихрей открытой воды (ОВ), так и прикромочной ледовой зоны (ПЛЗ).

За последние 10 лет коллективом выполнен анализ около 20 тысяч спутниковых радиолокационных изображений (РЛИ) Envisat ASAR, ALOS-2 PALSAR-2, Sentinel-1 A/B за разные годы. Данные были получены по одному или нескольким летне-осенним месяцам за 2007, 2009–2012, 2015, 2016, 2018, 2021, 2022 гг. Анализ наблюдений в зимний период был выполнен только для 2007 и 2018 гг. Определяемые в ходе анализа характеристики вихрей включали координаты их центров, тип вращения (циклонический/антициклонический), тип проявления (вихри открытой воды/прикромочной ледовой зоны), диаметры, а для отдельных случаев – орбитальные скорости их вращения.

Всего было зарегистрировано свыше 44 тысяч поверхностных проявлений вихрей ОВ, среднее значение диаметра по всему массиву наблюдений – около 6 км. Проявления вихрей регистрировались практически на всех безледных участках арктического бассейна, включая шельфовые районы, участки континентального склона и глубоководных бассейнов. В последних количество зарегистрированных вихрей ОВ было несколько ограниченным ввиду достаточно частого наличия ледяного покрова за

исключением, пожалуй, только областей пролива Фрама и моря Бофорта, где глубоководные районы расположены южнее.

Для вихрей ОВ можно выделить несколько основных районов частой встречаемости. Первый такой район – области шельфа и континентального склона в окрестности архипелага Шпицберген. Для данной области выполнен анализ спутниковых РЛИ как в холодный, так и в теплый периоды 2007 г. и 2018 гг. Второй район интенсивного вихреобразования – юго-западная шельфовая часть Карского моря. В этом районе анализ данных был выполнен за летне-осенние периоды 2007, 2011, 2018, 2021, 2022 гг. Третий район интенсивного вихреобразования находится северо-западнее мыса Барроу на границе Чукотского моря и моря Бофорта, где анализ спутниковых данных был выполнен за летне-осенние месяцы 2007, 2011, 2015 и 2016 гг.

Статистика по вихрям ПЛЗ была собрана для акватории морей Норвежского, Гренландского, Баренцева, Карского, Чукотского и Бофорта. В общей сложности было идентифицировано более 15 тысяч вихревых структур в ПЛЗ, средний диаметр по всему массиву наблюдений составил 7,1 км. Наибольшее скопление вихрей отмечалось на шельфе Гренландского моря и вдоль ледовой кромки в проливе Фрама, а также вблизи острова Эдж в юго-восточной части архипелага Шпицберген. В амеразийском секторе Арктики вихри ПЛЗ часто регистрировались над глубоководными районами канадского бассейна западнее острова Бэнкс и к северу от мыса Барроу.

Данное обобщение показывает значительную распространенность вихревых структур в арктическом бассейне как на участках открытой воды, так и в областях ПЛЗ. Кроме того, оно позволяет выявить общие закономерности для разных акваторий, а также классифицировать по механизмам генерации в районах частой встречаемости.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ № FNNN-2024-0017.

АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЯ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В ЮЖНОМ ОКЕАНЕ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ РАДИОЛОКАЦИИ SENTINEL-1

Бакуева Я.И. ✉, Козлов И.Е.

МГИ, г. Севастополь
✉ yasya1egurova@gmail.com

Ключевые слова: короткопериодные внутренние волны, приливная динамика, шельфовые ледники, Sentinel-1, залив Прюдс, Антарктическое циркумполярное течение, море Содружества, Южный океан.

В исследовании проведен детальный анализ параметров короткопериодных внутренних волн (КВВ) в море Содружества и прилегающих глубоководных районах Антарктического бассейна, расположенных южнее фронтальной зоны Антарктического циркумполярного течения. Использованы радиолокационные снимки спутников Sentinel-1 A/B, полученные в период с января по март 2020 г. В ходе обработки 611 изображений идентифицировано 825 случаев поверхностных проявлений КВВ.

КВВ наблюдались преимущественно в виде пакетов солитонов, средняя длина гребня ведущей волны составила 24 км, а ширина пакета – 11 км. Направления распространения волновых пакетов варьировались с преобладанием северо-восточной ориентации. Наибольшая повторяемость КВВ зафиксирована в заливе Прюдс, над континентальным склоном, а также в восточной и западной глубоководных частях акватории.

Установлено, что генерация КВВ происходит не только в зонах взаимодействия приливных течений с топографическими неоднородностями дна, но и в районах с аномалиями скорости геострофических течений, вблизи шельфовых ледников и границ прикромочной ледовой зоны. Полученные данные свидетельствуют о значительном влиянии динамических процессов в Южном океане на формирование поля внутренних волн.

МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХЛОРОФИЛЛА «А» В ЮЖНОМ ОКЕАНЕ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

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

МГИ, г. Севастополь
✉ yasya1egupova@gmail.com

Ключевые слова: плато Кергелен, хлорофилл-а, межгодовая изменчивость, MODIS-Aqua, Южный океан, апвеллинг, Антарктическое циркумполярное течение.

В данной работе проведен анализ межгодовой динамики концентрации хлорофилла-а (Хл) в районе плато Кергелен в Южном океане на основе долгосрочных спутниковых наблюдений; выявление ключевых факторов, влияющих на его изменчивость; определение пространственных закономерностей распределения Хл. Использованы данные спутникового сенсора MODIS-Aqua за период 2002–2019 гг. (район: 40°–58° ю.ш., 55°–100° в.д.). Концентрация Хл рассчитана по алгоритму ОСЗМ с дополнительной валидацией по наземным данным. Проведен статистический анализ временных рядов (тренды, аномалии, корреляция с климатическими индексами).

Выделены зоны устойчиво повышенных концентраций Хл, связанные с апвеллингом над плато и влиянием субполярного фронта. Максимальные значения Хл зафиксированы в северо-восточной части плато, где отмечается интенсивное взаимодействие течений с топографией дна. Обнаружены значительные межгодовые колебания Хл с пиками в отдельные годы (например, 2003, 2014), совпадающими с фазами климатических аномалий. Основными факторами, влияющими на межгодовую изменчивость, являются изменения интенсивности Антарктического циркумполярного течения (АЦТ) и связанного с ним апвеллинга, направление и сила приземного ветра и адвекция биогенных веществ с шельфа Антарктиды и островов архипелага Кергелен. Межгодовая изменчивость Хл на плато Кергелен демонстрирует сложную зависимость от климатических и океанографических процессов.

АПВЕЛЛИНГИ В АЗОВСКОМ МОРЕ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

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

МГИ, г. Севастополь
✉ *Nadinkot.nk@gmail.com*

Ключевые слова: Landsat, MODIS, температура поверхности моря, апвеллинг.

Термические условия вод Азовского моря имеют значительную временную и пространственную изменчивость и в существенной мере определяют жизненные циклы гидробионтов, что влияет как на биопродуктивность акватории, так и на ее экологическое состояние в целом. Локальные изменения в температуре поверхностного слоя в Азовском море могут быть связаны с прибрежными апвеллингами, которые возникают при наличии сезонного термоклина и ветра способствующего направления. Помимо собственных более холодных вод на глубине относительно поверхности, еще одним источником холодных вод могут быть заливы Черного моря, часто распространяющиеся в придонном горизонте, которые также усиливают термохалинные градиенты.

В данном исследовании использовались спутниковые данные высокого разрешения TIRS Landsat 8, 9 и среднего разрешения MODIS Aqua, Terra, содержащие информацию о полях температуры поверхностного слоя. Поля температуры по TIRS Landsat 8, 9 строились по двухканальному методу восстановления. В некоторых случаях апвеллинги наблюдались на последовательных изображениях высокого разрешения.

В Азовском море апвеллинги проявляются вблизи восточного и юго-восточного берега под влиянием северо-восточного ветра. Все выявленные случаи наблюдались со второй половины мая по первую половину августа с максимумом в июне. При этом по спутниковым данным разница в температуре с окружающими водами составляет 2–4 °С.

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

ВЕРИФИКАЦИЯ ДАННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ АЛГОРИТМОВ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ДРЕЙФА ЛЬДА НА ПРИМЕРЕ ДАННЫХ РЛС ПОРТА САБЕТТА И СИСТЕМЫ «СОЛОМКА»

**Гаврилов Ю.Г.^{1✉}, Морозова О.А.¹,
Май Р.И.¹, Фадеев В.А.²**

¹ ААНИИ, г. Санкт-Петербург

² ЗАО МКИС, г. Санкт-Петербург

✉ gavrilov@aari.ru

Ключевые слова: Радиолокационные изображения, измерения параметров дрейфа льда, максимальная кросс-корреляция (МКК), верификация автоматизированных алгоритмов, порт Сабетта, радиолокационный индикатор (РЛИ) «Ice Vision».

Стратегия развития Российской Федерации до 2035 года предусматривает необходимость усиления инфраструктуры Арктической зоны, включая развитие систем гидрометеорологического обеспечения. Отдельное внимание уделяется минимизации ограничивающих факторов в целях обеспечения круглогодичной навигации по Северному морскому пути (СМП), в заливах крупных Сибирских рек и конкретно в Обской губе. В рассматриваемом регионе значимые ограничения с точки зрения безопасности мореплавания, функционирования портовых сооружений оказывают ледовые условия, одним из важных индикаторов которых является дрейф льда. Знание его характеристик необходимо как в оперативной практике судоходства, так и для расчета параметров, используемых при проектировании и строительстве морских технических сооружений.

В исследовании авторы показали результаты сравнительного анализа данных автоматизированных алгоритмов измерений параметров дрейфа льда в районе порта Сабетта и Морского канала Обской губы (Карское море) и данных, полученных на основе экспертной оценки последовательных снимков береговой и судовой радиолокационных станций (РЛС) с помощью средств обработки растровых изображений. Экспертные оценки использовались в качестве контрольных данных.

Выполнено сравнение двух автоматизированных алгоритмов: алгоритма радиолокационного индикатора (РЛИ) ледовых условий «Ice Vision» и алгоритма авторов исследования (ААНИИ), осуществляющего обработку последовательных графических изображений РЛИ методом максимальной кросс-корреляции.

Анализ данных РЛС порта Сабетта показал высокую степень соответствия контрольных векторов и векторов дрейфа льда, полученных с помощью алгоритма «Ice Vision». Около 90 % значений отклонения направления и скорости дрейфа льда пришлось на градации ± 45 градусов и $\pm 0,2$ узла. Сравнение с использованием методик векторного анализа показало высокую корреляционную связь контрольных данных с данными «Ice Vision» и данными, полученными по алгоритму ААНИИ, со значениями индикатора векторной корреляции 0,94 и 0,97 соответственно. Анализ сравниваемых данных судовой РЛС атомного ледокола «50 лет Победы», полученных с помощью системы «Соломка» за период работы ледокола в районе Морского канала Обской губы, также показал удовлетворительные результаты. Выводы исследования дают возможность дать положительную оценку представленным алгоритмам, рекомендовать их дальнейшее совершенствование для целей использования в расчетах режимных характеристик дрейфа льда, ассимиляции в прогностические модели, оценки ледовых нагрузок.

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНЫХ БОРТОВЫХ МОДУЛЕЙ ПАМЯТИ И РЕТРАНСЛЯЦИИ ДАННЫХ ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА БАЗЕ ТЕРМОПРОФИЛЕМЕРОВ

Гайский П.В.

МГИ, г. Севастополь

✉ gaysky@inbox.ru

Ключевые слова: термопрофилемер, LoRa, автономный модуль памяти, радиоканал, ретрансляция измерительных данных.

Для обеспечения автономной регистрации и ретрансляции измерительной информации от экспериментальных систем, построенных на распределенных датчиках температуры (термопрофилемерах), были разработаны и испытаны в экспедиционных исследованиях универсальные бортовые модули памяти и радиопередающей аппаратуры.

В основе модуля памяти лежит микроконтроллерная электронная плата с возможностью подключения стандартной microSD карты, а также программное обеспечение предварительной обработки потоков данных от измерителей перед записью, включая привязку к реальному времени, и ретрансляции.

В качестве радиопередающего устройства используются модули по выбору: HC-06 (Bluetooth) – дальность до 30 м, HC-12 (диапазон 433 кГц) – дальность до 1 км, LoRa (диапазоны 400 и 900 МГц) – дальность до 8 км.

В качестве приемников GPS сигнала используются портативные Trema-модули GY-GPS6mv2, ATGM336H и GY-GPSV3 NEO-M8N.

В качестве аккумуляторной батареи стандартно используются LiPo сборки с номинальным напряжением 11,1 В.

Компоновка, настройка и применение разработанной и используемой модульной аппаратуры имеют свои особенности.

РАЗРАБОТКА АРКТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОФИЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ГРАНИЦАХ СРЕД ВОЗДУХ-ЛЕД-ВОДА НА БАЗЕ ТЕРМОПРОФИЛЕМЕРОВ

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

МГИ, г. Севастополь

✉ gaysky@inbox.ru

Ключевые слова: термопрофилемер, профиль температуры, внутренние волны, термоклин, ледостойкая самодвижущаяся платформа.

На базе распределенных датчиков температуры (термопрофилемеров) разработана и изготовлена для экспедиции на ледостойкой самодвижущейся платформе «Северный полюс» «Система измерения подледного вертикального профиля температуры для Арктической дрейфующей станции в верхнем слое морской воды и на границах разделов воздух-лед-вода».

Система предназначена для измерения пространственных вертикальных профилей температуры, контроля теплообмена, обнаружения глубины залегания термоклина, внутренних волн и турбулентных потоков.

В основной состав системы входят два распределенных датчика: 45-метровый с пространственным осредненным разрешением в 3 м (количество участков – 15 шт.) и 5-метровый с пространственным осредненным разрешением в 30 см (количество участков – 16 шт.). Для контроля заглубления 45-метрового датчика при вертикальной установке с погружением в жидкую среду используется датчик гидростатического давления.

Общий период измерения профилей температуры и гидростатического давления составляет 1 секунду.

Погрешность измерения осредненной на участке температуры – $\pm 0,1$ °С.

Система проходит испытания в экспедиционных условиях с лета 2024 г.

ШТОРМОВОЕ ВОЛНЕНИЕ В РАЙОНЕ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА В 2011-2024 ГГ. ПО ИЗМЕРЕНИЯМ НА СТАЦИОНАРНОЙ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЕ

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

МГИ, Севастополь

✉ *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 (ЮБК) в пгт. Кацивели, проводился гидрометеорологический мониторинг (высоты волн, скорость и направление ветра, температура воздуха и моря, атмосферное давление, относительная влажность) с помощью разработанного в МГИ комплекса сбора гидрометеорологических данных (КСГД). Для измерения высот волн использовался витой резистивный волнограф с дискретностью опроса 4 Гц и возможностью регистрации высот волн до 10 м. Регистрация возвышения морской поверхности проводилась в течении периода 2011–2024 гг., который с перерывами охватывает 14 лет. За весь период наблюдений было накоплено и обработано более 61 000 волнограмм с продолжительностью от 20 мин. до 60 мин.

Волновые данные прошли контроль качества с отбраковкой ненадежных фрагментов. В данной работе высота значительных волн (H_s) определялась как 4 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 (ЮБК), проводимого на СОП в районе пгт. Кацивели, для получения статистических характеристик штормового ветрового волнения, описывающих волновой режим в прибрежной части ЮБК в 2011–2024 гг.

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

- среднемесячная высота значительных волн в летние месяцы составляет примерно 0,41 м, в зимние месяцы – 0,74 м.

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

- наибольшую повторяемость в летние месяцы имело слабое волнение ($0,1 \text{ м} < H_s < 0,5 \text{ м}$), в зимние месяцы легкое волнение ($0,5 \text{ м} < H_s < 1,25 \text{ м}$);

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

Исследование выполнено в рамках темы государственного задания № FNNN-2024-0014.

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГЕЛЕНДЖИКСКОЙ И ГОЛУБОЙ БУХТ В ЛЕТНИЙ И ЗИМНИЙ ПЕРИОДЫ 2025 ГОДА

Гвоздева А.В. ✉, Торхова М.Д., Ильин В.И.,
Мухаметов С.С., Самборский Т.В.

МГУ, г. Москва
✉ gvozdevaav@my.msu.ru

Ключевые слова: Черное море, экспедиция, STD-зондирование, гидрохимические параметры, гидрофизические измерения.

Геленджикский район Черного моря испытывает нарастающую антропогенную нагрузку из-за роста туристического потока (свыше 4 млн человек в 2024 г.) и строительства гидротехнических сооружений, таких как яхтенная марина, которая может оказывать влияние на гидродинамический режим бухты. Устаревшие очистные сооружения и увеличивающийся сброс бытовых стоков усиливают экологическое давление на прибрежные экосистемы.

В 2025 г. кафедра океанологии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова на базе Южного отделения Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН провела полевые исследования в акваториях Голубой и Геленджикской бухт. Летняя экспедиция (1–30 июня) включала срочные измерения гидрологических параметров: в Голубой бухте каждые 3 часа (с 9:00 до 18:00) проводились измерения температуры, солености и прозрачности воды с использованием STD-зондов и диска Секки. Также был выполнен двухмильный разрез от западного мыса Голубой бухты в сторону г. Новороссийска с измерением температуры и солености. 24 июня в Геленджикской бухте были проведены гидрологические и гидрохимические съемки с отбором проб воды для анализа ряда параметров: растворенный кислород, кремний, фосфаты, нитраты, нитриты, pH.

Зимняя экспедиция (27 января – 5 февраля) в Голубой бухте включала аналогичные измерения температуры и солености с той же периодичностью. 30 января был выполнен двухмильный разрез с измерением гидрологических характеристик, а 1 февраля в Геленджикской бухте проведена съемка на 44 станциях с измерением температуры и солености в поверхностном и придонном горизонтах.

В оба сезона использовалась термокоста с датчиками Starmon mini (глубины 1–6 м, интервал 1 м, частота измерений 10 с) для мониторинга температуры воды и анализа короткопериодных внутренних волн. Метеорологические параметры (температура воздуха, атмосферное давление, скорость и направление ветра) фиксировались автоматической метеостанцией Davis Vantage Pro 2 (дискретность 60 с). Непрерывный мониторинг метеоусловий позволил выявить взаимосвязь атмосферных процессов с динамикой морской среды, включая изменения термохалинной структуры.

Исследования выявили влияние яхтенной марины в г. Геленджике на гидрофизические характеристики Геленджикской бухты, особенно в ее северо-западной части. С ростом интенсивности эксплуатации марины такие эффекты, вероятно, усилятся, что подчеркивает необходимость дальнейшего мониторинга.

Работа выполнена в рамках государственного задания кафедры океанологии МГУ «Комплексные исследования современного состояния вод Мирового океана» (№ 121031900090-6).

ТЕРМОХАЛИННАЯ СТРУКТУРА И ЦИРКУЛЯЦИЯ ВОД В ПЕРИОД И В РАЙОНЕ ДРЕЙФА СТАНЦИИ «СЕВЕРНЫЙ ПОЛЮС-41»

Даньшина А.В.^{1✉}, Чанцев В.Ю.²

¹ ААНИИ, г. Санкт-Петербург

² РГГМУ, г. Санкт-Петербург

✉ danshina@aari.ru

Ключевые слова: Северный Ледовитый океан, СП-41, численное моделирование, термохалинная структура, течения.

С начала текущего столетия потепление климата сказывается на изменениях термохалинной структуры вод Северного Ледовитого океана (СЛО) и его циркуляции, в том числе в проявлении «атлантификации» в восточной части Евразийского бассейна, а также в усилении круговорота Бофорта. Наличие ледяного покрова затрудняет изучение процессов, протекающих в водных массах, особенно в приполюсных районах и в зимний период. В данном докладе основное внимание уделено особенностям термохалинной структуры вод и течений в районе дрейфа ледостойкой самодвижущейся платформы «Северный полюс», охватывающих и труднодоступную для проведения натурных измерений акваторию. Исследуемый полигон расположен между долготами 10° в. д. и 158° в. д., а по широте ограничен параллелями 81° с. ш. и 89° с. ш.

Реконструкция термохалинной структуры вод и течений на такой достаточно большой площади проводилась не только на основе данных STD-зондирования во время проведения экспедиции «Северный полюс-41» (СП-41), но также и данных по температуре, солености и течениям, полученных в данный временной интервал в экспедициях в западной части бассейна Нансена Норвежским полярным институтом (<https://data.npolar.no/dataset>), а также на основе данных численных расчетов с использованием региональной модели НЕМО для

Арктического бассейна (<https://www.nemo-ocean.eu/>). Условия на открытых границах и на поверхности океан-атмосфера в модели формировались из данных океанского реанализа GLOBAL_MULTY_YEAR_PHY_001-030

(https://data.marine.copernicus.eu/product/GLOBAL_MULTIYEAR_PHY_001_030/description) и атмосферного реанализа ERA5 (<https://cds.climate.copernicus.eu/-era5-single-levels?tab=overview>).

Несмотря на имеющиеся некоторые расхождения между натурными данными и данными численных расчетов, в целом региональная модель выделяет основные структурные особенности вод в арктическом бассейне. Таким образом, в результате проведения анализа обработанных данных были выделены основные природные слои водных масс и структурные элементы, присущие водной толще исследуемого района, и восстановлена схема течений в выделенных слоях в высокоширотной области СЛО в период проведения экспедиции СП-41 (с осени 2022 г. по весну 2024 г.).

Работа выполнена в рамках плановой научной тематики ААНИИ по теме 5.1 «Развитие моделей и методов мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы, океана, морского ледяного покрова, ледников и вечной мерзлоты, исследования процессов взаимодействия льда с природными объектами и инженерными сооружениями для Арктики» Плана НИТР Росгидромета 2025–2029 гг. (рег. номер в ЕГИСУ НИОКТР: 125040704938-7).

ДИНАМИКА И ЭВОЛЮЦИЯ ВИХРЯ ПРИКРОМОЧНОЙ ЛЕДОВОЙ ЗОНЫ КАРСКОГО МОРЯ В АВГУСТЕ 2024 Г. ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

Добродий В.А. ✉, Козлов И.Е.

МГИ, г. Севастополь
✉ dobrodii.v@mhi-ras.ru

Ключевые слова: вихрь, Карское море, спутники, прикромочная ледовая зона, лед, ПЛЗ.

В работе представлены первые итоги исследования спутниковых наблюдений, посвящённого динамике и развитию антициклонического вихря, зарегистрированного во время экспедиции «Плавучий университет-2024» в прикромочной ледовой зоне северо-восточной части Карского моря. Вихрь фиксировался в районе желоба Воронина и отслеживался по дрейфующему мелкобитому льду. С 25 июля по 6 августа 2024 г. собран обширный набор спутниковых данных, включающий съёмку Sentinel-1/2, Landsat-8/9 и MODIS TERRA. На основании этих материалов оценены горизонтальные размеры вихря и их эволюция, а из последовательных сцен восстановлена его динамическая структура. Средний радиус вихря составил ≈ 12 км, а средняя скорость горизонтального дрейфа – порядка 4,43 см/с. В ходе развития вихрь смещался в северо-восточном направлении, при этом его поперечные размеры увеличивались.

ВЫСОКОТОЧНЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ПОДВОДНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ОКЕАНОГРАФИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЕ В ЧЕРНОМ МОРЕ И СВЯЗЬ ПОДВОДНОГО ДАВЛЕНИЯ С ПОВЕРХНОСТНЫМИ ВОЛНАМИ

**Долгих Г.И.¹, Дулов В.А.²✉, Чупин В.А.¹, Гармашов А.В.²,
Швец В.А.¹, Юровский Ю.Ю.², Яковенко С.В.¹,
Латушкин А.А.², Каменев О.Т.³**

¹ *ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток*

² *МГИ, Севастополь*

³ *ИАПУ ДВО РАН, г. Владивосток*

✉ *dulov1952@gmail.com*

Ключевые слова: лазерные интерферометрические измерители, высокоточный датчик подводного давления, океанографическая платформа ФГБУН ФИЦ МГИ, морские измерения, поверхностные волны на промежуточной глубине, флуктуации подводного давления.

Высокоточный лазерный интерферометрический измеритель подводного давления ЛИПДМС, разработанный в ТОИ ДВО РАН, открывает новые возможности для решения обширного спектра гидрофизических и геофизических задач. Наиболее актуально внедрение таких сенсоров в интегрированные системы морского мониторинга и раннего предупреждения о погодных и сейсмических катастрофических явлениях. В докладе представлен эксперимент по пробному запуску ЛИПДМС на океанографической платформе ФГБУН ФИЦ МГИ в Черном море в октябре–ноябре 2024 г. Платой за сверхвысокую чувствительность прибора является зависимость его характеристик от условий работы, прежде всего от глубины погружения и температуры воды. Основная цель работы – выполнить калибровку прибора для условий его функционирования на платформе. Для достижения этой цели было необходимо решить самостоятельную задачу –

экспериментально оценить передаточную функцию, связывающую частотные спектры возвышений морской поверхности и флуктуации давления на глубине 27 м.

Анализ всего массива данных был проведен классическими спектральными методами. Было обнаружено сильное влияние температуры воды на сигнал давления, выражающееся в их высокой когерентности на всех периодах, превышающих 30 с, связанное, по-видимому, с температурным расширением элементов конструкции. Влияние температуры воды на сигнал ЛИПДМС, требует уточнения его механизма и разработки средств его учета или подавления.

Экспериментально исследована связь флуктуаций давления на глубине 27 м с возвышениями морской поверхности, синхронно измеряемыми с платформы волнографом, и оценена соответствующая передаточная функция. Прямая экспериментальная оценка передаточной функции от спектров поверхностных волн к спектрам флуктуаций давления, измеряемого ЛИПДМС, показала линейную связь, которая описывается классической формулой линейной теории гравитационных волн на воде промежуточной глубины.

Волнографические записи позволили выполнить сквозную калибровку ЛИПДМС. Калибровка ЛИПДМС, проведенная для глубины 27 м и диапазона температуры воды от 9 до 15 °С, позволяет переводить сигнал прибора в физические единицы давления Па, и использовать полученные данные как калиброванные измерения придонного давления на временных масштабах ниже 30 с.

Устройство ЛИПДМС показало в целом стабильное функционирование при относительно длительной работе на океанографической платформе в сложных метео-волновых условиях, характерных для осеннего сезона в Черном море.

Финансирование исследований выполнялось по договору ЕП-19/2025 от 29.04.2025 в рамках проекта Министерства высшего образования и науки РФ «Исследование процессов и закономерностей возникновения, развития и трансформации катастрофических явлений в океанах и на континентах методами сейсмоакустического мониторинга» (№ 075-15-2024-642 от 12.07.2024).

ПОВЕРХНОСТНЫЙ ОПРЕСНЕННЫЙ СЛОЙ В КАРСКОМ МОРЕ: СОПОСТАВЛЕНИЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ И РЕАНАЛИЗОВ

Жихарь Я.М. ✉, Жук В.Р., Кубряков А.А.

МГИ, г. Севастополь
✉ zhikhar.jaros@yandex.ru

Ключевые слова: Северный ледовитый океан, Карское море, Поверхностный опресненный слой, TOPAZ5, SMAP, GLORYS12v1, ORAS5.

Наибольший приток пресной воды в Северный Ледовитый океан (СЛО) приходится на бассейн Карского моря, где две крупные сибирские реки – Обь и Енисей – впадают в открытое море. В результате в центральной части Карского моря в начале незамерзающего периода образуется большой малосоленый и сильно стратифицированный поверхностный опресненный слой (ПОС), который определяет гидрофизическую структуру и биологическую продуктивность региона, ограничивая проникновение света в более глубокие слои. Адекватное моделирование динамики ПОС необходимо для понимания реакции СЛО на климатические изменения. В данной работе оценивается возможность отслеживания ПОС по трем продуктам: GLORYS (Global Ocean Physics Reanalysis), ORAS5 (Ocean Reanalysis System 5) и TOPAZ5 (Arctic Ocean Physics Analysis and Forecast), – путем их сравнения со спутниковыми данными о солености SMAP (Soil Moisture Active Passive) и концентрации хлорофилла *a*, полученными с использованием прибора MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer).

Статистический анализ за 2021–2024 гг. показывает, что все модели демонстрируют высокую корреляцию ($R > 0,84$) с данными SMAP. Модель ORAS5 имеет наименьшую общую ошибку ($RMSE = 4,4$), а TOPAZ5 – наивысший коэффициент корреляции ($R = 0,856$), в то время как GLORYS показывает наихудшие метрики. При отслеживании границы ПОС (изогалина 28 PSU) модели ORAS5 и TOPAZ5 воспроизводят ее положение наиболее

приближенно к спутниковым данным, однако ORAS5 имеет низкое разрешение, а TOPAZ5 более короткий временной ряд (с 2021 г.).

Анализ композитных карт выявляет сильную связь между ветровым воздействием, динамикой вод и биологическим откликом. При устойчивых восточных ветрах (западный тип) плюм и связанная с ним зона высокой концентрации хлорофилла прижимаются к побережью Ямала, что сопровождается усилением течения на север (положительная аномалия скорости). Зеркальная картина наблюдается при западных ветрах (восточный тип), когда опресненные и продуктивные воды смещаются к Таймыру, следуя за аномально сильным течением в этой части моря. Центральный тип, формируемый в условиях штиля или южных ветров, характеризуется самым дальним продвижением плюма на север в открытое море, создавая наиболее обширную зону цветения.

Работа выполнена в рамках государственного задания № FNNN-2024-0017 (обработка и анализ данных реанализов) и № FNNN-2024-0012 (обработка и анализ спутниковых данных).

ИНТЕНСИВНЫЙ ВЗЛОМ ЛЬДА И ВЫНОС АРКТИЧЕСКИХ ВОД ЧЕРЕЗ БЕРИНГОВ ПРОЛИВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СЕВЕРНЫХ ВЕТРОВ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Жук В.Р. ✉, Кубряков А.А.

МГИ, г. Севастополь
✉ zhuk.vlad1slav@yandex.ru

Ключевые слова: Северный ледовитый океан, Берингов пролив, Чукотское море, водообмен, тихоокеанские воды, морской лед.

Вынос льда из Арктики через Берингов пролив играет ключевую роль в формировании термохалинной структуры и тепловых потоков в регионе. В настоящем исследовании впервые подробно рассмотрены события интенсивного взлома льда и образования трещин параболической формы в южной части Чукотского моря,

а также их взаимосвязь с транспортом льда и изменчивостью течений в Беринговом проливе. Для анализа использованы мультисенсорные данные: спутниковые наблюдения температуры и отражательной способности поверхности океана (MODIS, оптические данные), *in situ* измерения скорости течений (ADCP), а также реанализы GLORYS12v1 и ERA5.

Особенности морфологического строения южной части Чукотского моря и воздействие сильных северных ветров приводят к резкой перестройке ледового покрова. В результате слома льда формируются протяжённые трещины параболической формы, длиной до сотен километров, оказывающие значительное влияние на ледовую динамику и освобождающие существенные площади моря ото льда. Подробно рассмотрены такие события в 2012 г. (26 февраля – 2 марта и 15–20 марта), а также в 2010 г. (18–21 января). Анализ ежедневных данных MODIS показал, что во время событий ледового выноса площадь открытой воды в Чукотском море увеличивалась в 2–3 раза, достигая 5 тыс. км². Сопоставление параметров трещин, полученных из спутниковых изображений, с результатами моделирования подтвердило высокую точность определения их положения и протяжённости. Оценки линейных размеров трещин показали, что они составляли от 71,77 до 346,04 км в феврале и от 64,32 до 191,54 км в марте 2012 года.

Данные заякоренных измерений ADCP и ветра показывают сильную связь между ветровым воздействием и направлением течений в Беринговом проливе (коэффициент корреляции до 0,83). При усилении северных ветров (до 10 м/с) происходила смена направления течений на южное с коэффициентом $K > 0,7$, что приводило к интенсификации транспорта льда в Тихий океан.

На основе анализа данных прибора MODIS и пороговых значений скорости течений и ветра определена межгодовая изменчивость интенсивных южных выносов льда в области Чукотского моря за период с 2008 по 2022 гг. Отмечено общее снижение количества и продолжительности таких событий, вероятно, связанное с ослаблением северных ветров в зимний период. Наблюдаемые процессы имеют важное значение в условиях изменения климата: увеличение ледового потока через Берингов

пролив может привести к тому, что Чукотское море станет важным звеном в океанической системе экспорта многолетнего арктического льда в Тихий океан.

Работа выполнена в рамках государственного задания № FNNN-2024-0017 (обработка и анализ данных реанализов, а также контактных измерений) и № FNNN-2024-0012 (обработка и анализ спутниковых наблюдений).

О РАССЛОЕНИИ ЛИНЕЙНО-СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ ЖИДКОСТИ ПОД ВЛИЯНИЕМ ОДНОРОДНОГО ПО ВЕРТИКАЛИ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ (ЛАБОРАТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ)

Зацепин А.Г. ✉, Герасимов В.В.

ИО РАН, г. Москва
✉ zatsepin@ocean.ru

Ключевые слова: водный слой, линейная плотностная (соленостная) стратификация, однородное по вертикали турбулентное воздействие, условия формирования ступенчатой тонкой структуры, параметризация толщины слоев.

Выполнена серия лабораторных опытов по перемешиванию водного слоя с изначально постоянным вертикальным градиентом солености (плотности) гармонически колеблющимися по горизонтали вертикальными стержнями, оказывающими однородное турбулентное воздействие по всей толщине водного слоя. В результате перемешивания, вызываемого колеблющимися стержнями, в большинстве опытов происходило образование ступенчатой структуры стратификации, выражающейся в виде последовательности квазиоднородных слоев, разделенных высокоградиентными плотностными прослойками. В некоторых опытах ступенчатая структура не образовывалась и стратификация характеризовалась непрерывным вертикальным градиентом плотности, убывающим со временем.

Процесс перемешивания и образования ступенчатой структуры визуализировался и фиксировался с помощью теневого прибора (шлирен-метод). Распределение неоднородностей показателя преломления света (неоднородностей градиента плотности) наблюдалось и фотографировалось в круге света диаметром 20 см в центре бассейна. Области увеличения градиента плотности (высокоградиентные прослойки) идентифицировались со светлыми полосами, более темные промежутки между ними соответствовали квазиоднородным слоям. Таким образом, удавалось проследить за образованием и эволюцией квазиоднородных слоев и высокоградиентных прослоек, составлявших в совокупности ступенчатую структуру.

В опытах «с расслоением» производились измерения толщин квазиоднородных слоев. Установлена автомоделная зависимость безразмерной толщины слоя от числа Ричардсона. Оказалось, что толщина квазиоднородного слоя пропорциональна произведению амплитуды колебания стержней на отношение кинетической энергии турбулентного воздействия к потенциальной энергии стратификации.

Представлена диаграмма, позволяющая судить о параметрической области образования слоев при различных значениях внешних безразмерных параметров задачи – чисел Рейнольдса (Re) и Ричардсона (Ri). Область возникновения тонкослойной структуры в координатах Re , Ri ограничена двумя прямыми и представляет собой сектор. Фактически слои не образуются при малых значениях Re (нет перемешивания) и малых значениях Ri (интенсивное перемешивание, не подавляемое стратификацией).

Опыты показали, что не только дифференциально-диффузионная конвекция, но и продолжительное механическое перемешивание при определенных условиях приводит к ступенчатому расслоению линейно-стратифицированной водной среды. При этом закономерности образования соответствуют механизму Филлипса–Посменьера.

ДИНАМИКА ВЕРХНЕГО КВАЗИОДНОРОДНОГО СЛОЯ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДЕКАДНО-ОСРЕДНЕННЫМ ДАНЫМ ИЗМЕРЕНИЙ НА ПОЛИГОНЕ «ГЕЛЕНДЖИК» В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД ГОДА

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

ИО РАН, г. Москва
✉ zatsepin@ocean.ru

Ключевые слова: Черное море, полигон «Геленджик», много-летние STD-зондирования в апреле-ноябре, декадное осреднение данных, динамика верхнего квазиоднородного слоя.

Одной из проблем описания термической структуры деятельного слоя (ДС) Черного моря в теплый период года является ее сильная изменчивость на масштабе времени от нескольких минут (под влиянием короткопериодных внутренних волн) до десятка суток (под влиянием ветрового воздействия и вихревой динамики вод). Сам ДС состоит из верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) и нижележащего сезонного термоклина (СТ), находящихся в сложном взаимодействии, обусловленном различными физическими процессами. Состояния СТ и ВКС эволюционируют во времени под термическим и динамическим воздействием атмосферы.

Однако, зная среднее состояние ДС, можно оценить как сезонную и внутрисезонную изменчивость этой структуры, так и отклонения от нее отдельных профилей температуры. Потом можно будет попытаться связать с этими отклонениями те или иные аномалии первичной продукции или вертикального обмена растворенными газами (например, CO_2).

Ранее нами была предложена параметризация декадно-усредненного температурного профиля в СТ с использованием потоков плавучести и турбулентной энергии через границу воздух–вода,

рассчитанным по данным атмосферных реанализов. В данной работе в центре внимания находится описание временной динамики декадно-осредненных характеристик ВКС.

За основу были взяты данные многолетних (2010–2023 гг.) STD-зондирований, выполняемых ежегодно на полигоне «Геленджик» (ИО РАН) на мониторинговом разрезе, для станции над глубиной 500 м. На этой базе рассчитаны декадно-осредненные профили температуры ДС и описаны их временные изменения в теплый период года (с апреля по ноябрь). За нижнюю границу ДС принималась изотерма 9 °С.

Установлено, что в период прогрева моря и умеренного ветрового воздействия (май–август) толщина ВКС является квазистационарной и пропорциональной модифицированному масштабу Монина–Обухова, учитывающему влияние вертикальной скорости и потока тепла, уходящего из ВКС в сезонный термоклин. Смена режима прогрева моря на его охлаждение за счет ухода тепла в атмосферу при одновременном усилении ветрового воздействия (сентябрь–ноябрь) приводит к достаточно быстрому увеличению толщины ВКС за счет турбулентно-конвективного вовлечения в него воды из СТ. Вследствие этого процесса ВКС постепенно поглощает СТ, толщина которого уменьшается со временем. Эволюция ВКС на стадии охлаждения моря описывается с помощью модели, основанной на уравнениях теплового и энергетического баланса водной среды.

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

СУБМЕЗОМАСШТАБНЫЕ ПРОЦЕССЫ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ПРИЛИВОМ НА ТИХООКЕАНСКОЙ АКВАТОРИИ КАМЧАТКИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РАННИЕ СТАДИИ РАЗВИТИЯ МИНТАЯ

Зимин А.В.^{2✉}, Атаджанова О.А.^{1,3}, Свергун Е.И.¹,
Коник А.А.¹, Романенков Д.А.¹, Софьина Е.В.^{1,4},
Варкентин А.И.^{1,5}, Тепнин О.Б.^{1,5}, Мельник Д.Я.^{1,5}

¹ ИО РАН, г. Москва

² СПбГУ, г. Санкт-Петербург

³ МГИ, г. Севастополь

⁴ РГГМУ, г. Санкт-Петербург

⁵ КамчатНИРО, г. Петропавловск-Камчатский

✉ zimin2@mail.ru

Ключевые слова: прилив, внутренние волны, вихревые структуры, распределение икры минтая, Авачинский залив, Тихий океан.

Субмезомасштабные вихри (СМВ) и нелинейные внутренние волны (НВВ), часто возникающие под воздействием приливных процессов, играют важную роль в вертикальном и горизонтальном обмене веществ в прибрежных зонах Мирового океана. Эти динамические явления существенно влияют на развитие и функционирование морских экосистем. Камчатский шельф с Тихоокеанской стороны, характеризующийся высокой биомассой планктона и являющийся главным районом воспроизводства восточнокамчатского минтая (*Gadus chalcogrammus*), требует тщательного изучения физических механизмов, формирующих кормовую базу.

Целью данного исследования стало выявление пространственно-временных закономерностей субмезомасштабной динамики в прибрежных водах Камчатки и оценка её влияния на биологические процессы.

Для достижения этой цели проведён анализ более 4500 радиолокационных изображений Sentinel-1 за период 2015–2024 гг.,

дополненных оптическими данными Landsat-8 и Sentinel-2. Особенности региональной приливной динамики изучались с помощью модели FESOM-C, адаптированной для сложной топографии с резкими перепадами глубин. Биологические параметры оценивались на основе спутниковых данных о концентрации хлорофилла-а и модельных расчётов численности поколений минтая.

В ходе исследования выявлено свыше 1500 вихрей, из которых около 80 % оказались циклоническими структурами диаметром 2–4 км. Почти половина вихрей формировалась во время сизигийных приливов. За тот же период обнаружено 3895 проявлений НВВ, сосредоточенных преимущественно восточнее Четвёртого Курильского пролива, на юго-восточном шельфе Камчатки и вокруг полуострова Шипунский. Максимальная встречаемость НВВ наблюдается в периоды обострения пикноклина, усиления приливных течений и ослабления ветра. Установлено, что зоны максимальной активности НВВ совпадают с областями усиленных суммарных приливных течений, особенно их суточных составляющих.

На примерах показано, что частота встречаемости СМВ и НВВ влияет на распределение хлорофилла-а. Также обсуждается их влияние на численность молоди минтая, что подчёркивает потенциальную роль субмезомасштабных процессов в формировании кормовой базы рыб в прибрежных водах Камчатки.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-17-00174, <https://rscf.ru/project/23-17-00174>.

ВОЗМОЖНАЯ ПРИЧИНА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОБЪЕМНОГО РАССЕЯНИЯ ЗВУКА В ОКЕАНЕ

Кобылянский В.В. ✉, Лушников Д.Л.

МГИ, г. Севастополь
✉ babakoba2032@yandex.ru

Ключевые слова: рассеяние звука, гидроакустика, акустическая волна, аномалии плотности.

Возникновение дополнительных звуковых полей в результате дифракции звука на определенных препятствиях и неоднородностях в объеме морской воды называют объемной реверберацией. Объемную реверберацию в океане принято объяснять рассеянием звука на планктоне, плавательных пузырях рыб и других биологических объектах, а также на случайных флуктуациях температуры (плотности). При этом «случайные флуктуации температуры» не связываются с каким-либо конкретным гидрофизическим процессом.

Многочисленные экспериментальные результаты по объемному рассеянию звука, которые фиксируются при использовании различных гидроакустических приборов, плохо объясняются только наличием биологических объектов в водной среде. Списание не очень понятных наблюдений на «случайные флуктуации» также выглядят неубедительно, так как по определению случайные флуктуации не могут дать достаточно устойчивых пространственно-временных структур, которыми, как правило, характеризуется объемная реверберация. В то же время в океане есть гидрофизический процесс, который может во многих случаях удовлетворительно объяснить явление аномального рассеяния звука в, казалось бы, однородной океанической среде. Речь идет о дифференциально-диффузионной конвекции в режиме «солевых пальцев».

Данный процесс является характерным для тонкой термохалинной структуры водной массы, когда слой с более высокой

температурой и соленостью располагается над слоем с более низкой температурой и соленостью. Для конкретной океанической ситуации оценим пространственно-временные масштабы зоны неустойчивости водной массы и величину аномалии плотности с использованием одномерного уравнения теплопроводности.

Предположим, что в этот момент времени в горизонтальном направлении (на этом горизонте) распространяется плоская акустическая волна. Давление, плотность и акустическое сжатие в ней связаны следующим соотношением:

$$P = \rho v^2 \frac{\varepsilon}{1+\varepsilon},$$

где P – акустическое давление, ρ – плотность воды, v – скорость звука, $\varepsilon = \delta\rho/\rho$ – акустическое сжатие.

Преобразовав это выражение относительно $\delta\rho$, получим:

$$\delta\rho = \frac{P\rho}{\rho v^2 - P}.$$

Величина изменения плотности $\delta\rho$ невелика; при характерных для океана значениях акустического давления в несколько паскалей она имеет значение $\sim 10^{-6}$. Это близко к значению аномалии плотности слоев в зоне неустойчивости. Но главное, последовательное чередование в акустической волне областей сжатия и разрежения являются спусковым механизмом для развития ячейистой конвекции при накопленной неустойчивости слоев (поскольку в жидкости давление–разрежение распространяется во все стороны).

Это наиболее вероятная причина возникновения зон объемной реверберации звука в океане.

ФОРМИРОВАНИЕ ТЕРМОБАРА ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА В ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД 2016–2022 ГГ.

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

ИО РАН, г. Москва
✉ konikrshu@gmail.com

Ключевые слова: термобар, фронт, вихри, спутниковая температура, Ладожское озеро.

Фронтальная зона термобара является ключевой особенностью водоемов димиктического типа озер, разделяя водоем на два типа вертикальной стратификации вод. В Ладожском озере термобар является важным элементом гидрологического цикла озера, влияя на распределение взвеси, биогенных веществ, транспорт загрязнений. Смена климатических условий в Европейской части России в последние десятилетия весомо влияет на положение и характеристики основной фронтальной зоны озера. Кроме того, в связи с изменением динамики фронта потенциально увеличивается интенсивность вихревого обмена. Таким образом, целью исследования является анализ межгодовой изменчивости характеристик термобара Ладожского озера и оценка его связи с проявлениями субмезомасштабных структур.

Для оценки термобара использовались спутниковые данные по температуре MODIS/Aqua, MODIS/Terra и VIIRS/Suomi-NPP за период с мая по июнь 2016–2022 гг. На основе среднемесячных полей выполнялась регистрация положений изотермы 4 °С и их сравнение с климатическими оценками, а также рассчитывались площади термоактивной зоны термобара. Анализ проявлений вихревых структур проводился на основе радиолокационных изображений Sentinel-1 A/B за тот же период. Оценка атмосферных условий над озером выполнялась на основе данных температуры атмосферы с реанализа ERA5 и данных индекса атмосферной циркуляции SCAND.

По результатам работы удалось получить физико-географические характеристики термобара Ладожского озера. Установлено наличие смещения фронта от своего климатического положения

в более глубоководную часть озера в июне. Такая изменчивость определяется меняющимися атмосферными условиями, в частности, условиями зимнего периода и усилением переноса воздушных масс из Северной Европы. Показано, что пик вихреобразования может смещаться в зависимости от положения основного фронта озера.

Работа выполнена при поддержке грантов Российского научного фонда (проект № 23-17-20010) и Санкт-Петербургского научного фонда (проект № 23-17-20010).

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОЛЕЙ СКОРОСТИ ВЕТРА И ПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕЧЕНИЙ ПО ДАННЫМ РАДИОЛОКАТОРОВ X- И КА- ДИАПАЗОНОВ

Кориненко А.Е. ✉, Малиновский В.В., Пампей К.А.

МГИ, г. Севастополь
✉ korinenko.alex@yandex.ru

Ключевые слова: морская поверхность, дистанционное зондирование, радиолокационные изображения, дисперсионное соотношение, скорость поверхностных течений, скорость ветра, натурные измерения.

Для оперативного и непрерывного мониторинга полей скоростей ветра, течений и характеристик поверхностного волнения в портах, прибрежных акваториях и районах интенсивного судоходства используются навигационные радиолокационные станции (РЛС), устанавливаемые на морских платформах, судах или на береговых сооружениях. Для анализа данных РЛС разработаны и апробированы методики восстановления скорости и направления поверхностных течений, определения характеристик поверхностного волнения. Однако остается открытым вопрос о возможности использования этих методик в прибрежных акваториях, где в зависимости от направления ветра степень развития ветровых волн изменяется в широких пределах, а также

наблюдается пространственно-временная изменчивость поверхностных течений.

Целью работы является апробация новых алгоритмов восстановления полей скоростей ветра и скоростей течений в акваториях радиусом несколько километров с помощью радиолокационной станции кругового обзора.

Представленные результаты получены при комплексных натурных исследованиях на Черноморском гидрофизическом подспутниковом полигоне Морского гидрофизического института. В экспериментах использовались когерентные радиолокационные станции X- и Ka-диапазонов, которые размещались на стационарной океанографической платформе и работали в режиме кругового обзора. Одновременно с радиолокационными съемками проводилась регистрация модуля скорости и направления течений на различных горизонтах, возвышений морской поверхности, измерение метеорологических параметров.

На основании натурных данных и физических представлений о формировании отраженного от морской поверхности радиолокационного сигнала предложена геофизическая модельная функция, которая позволяет определять поля скорости ветра в акваториях радиусом около километра. Ошибка восстановленных по радиолокационным данным модуля и направления скорости ветра составила соответственно 1,2 м/с и 30° по сравнению с информацией, полученной анемометром.

Для восстановления вектора скорости поверхностного течения применялся метод кросс-спектрального анализа временных серий радиолокационных изображений. Этот подход позволяет получить дисперсионную кривую, а по ее деформации оценить скорость поверхностного течения. По радиолокационным данным рассчитаны амплитуды скоростей поверхностных течений, которые в целом согласуются с величинами течений, полученными акустическим доплеровским профилографом течений. Получено, что модуль разности эффективной скорости течения и течения на глубине 10 м пропорционален скорости ветра с коэффициентом 0,012 и повернут вправо на 13 градусов относительно направления ветра. Показано, что полученные результаты удовлетворительно согласуются с данными контактных измерений и результатами других авторов.

Настоящее исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-20105, <https://rscf.ru/project/24-27-20105>, и соглашения с Департаментом образования и науки г. Севастополя № 85 от 19.06.2024 г.

ДИСТАНЦИОННАЯ ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФИТОПЛАНКТОНА В УСЛОВИЯХ ЦВЕТЕНИЯ КОККОЛИТОФОРИД В ЧЕРНОМ МОРЕ

Корчёмкина Е.Н.^{1✉}, Ли Р.И.²

¹ МГИ, г. Севастополь

² ИнБЮМ, г. Севастополь

✉ korchemkina@mhi-ras.ru

Ключевые слова: ведущий комплекс фитопланктона, кокколитофориды, биомасса, численность, коэффициент яркости моря, хлорофилл-а.

Фитопланктонное сообщество Чёрного моря представляет собой сложный механизм, чувствительный к изменениям биотических и абиотических условий, приводящим к смене лидирующего комплекса видов. Целью работы является описание структуры и пространственного распределения основных характеристик фитопланктона, наблюдавшихся в 127 рейсе НИС «Профессор Водяницкий» (14.06.2023–6.07.2023), и их влияния на интегральные оптические характеристики морской воды.

В настоящей работе рассматриваются данные измерений спектрального коэффициента яркости толщи вод и рассчитанные по нему биооптические характеристики – концентрация пигментов фитопланктона и концентрация минеральной взвеси. Для определения качественного и количественного состава фитопланктона отбирали пробы батометром с двух горизонтов – поверхностного и 10 м.

В результате исследования фитопланктона прибрежной зоны Чёрного моря от Фороса до Феодосийского залива в пробах

фитопланктона было определено 123 наименования микроводорослей, принадлежащих к 6 отделам. В фитоценозе преобладали динофитовые водоросли (88 вида), диатомовые (20), гаптофитовые (9), из остальных отделов присутствовали по 1–2 вида.

Средняя численность составила $422,2 \pm 109,3$ млн. кл./м³; средняя биомасса $742,95 \pm 128,36$ мг/м³. В суммарную сырую биомассу основной вклад вносили миксотрофные и гетеротрофные формы динофитовых ($612,77 \pm 148,49$ мг/м³), автотрофные формы диатомовых ($76,15 \pm 52,0$ мг/м³) и гаптофитовая водоросль *Emiliania huxleyi* ($51,42 \pm 24,88$ мг/м³). Количественное развитие фитопланктона характеризовалось высокими значениями численности, преимущественно за счет *Emiliania huxleyi*, ее вклад в суммарную численность составлял от 30 до 70 % на станциях. Таким образом, *Emiliania huxleyi* вносит значительный вклад в численность фитопланктона, но малый в биомассу, что и определяет ее влияние на оптические свойства морской воды: существенный рост рассеяния и незначительный – поглощения. Тем не менее, в этих условиях возможна оценка содержания пигментов фитопланктона и далее биомассы фитопланктона.

Получена значимая корреляция рассчитанной концентрации пигментов с биомассой фитопланктона, определенной в пробах, несмотря на то, что в биомассе не проведено разделение на гетеротрофные и миксотрофные виды планктона. Данная взаимосвязь является статистической и не учитывает содержание хлорофилла в клетках конкретных видов, поэтому ее можно использовать в предположении, что вклад гетеротрофных видов останется постоянным. При этом корреляция с численностью клеток отсутствует. Массовое развитие кокколитофорид усложняет описание морской среды, состоящей из таких разных по своим оптическим свойствам объектов как клетки фитопланктона, покрытые и не покрытые «непрозрачной» оболочкой, а также отделенные кокколиты, оптическими методами.

Работа выполнена по теме НИР № 124030100137-6 «Функциональные, метаболические и молекулярно-генетические механизмы адаптации морских организмов к условиям экстремальных экотопов Черного и Азовского морей и других акваторий Мирового океана» и государственного задания FNNN-2024-0012 «Оперативная океанология». Данные получены в

127 рейсе НИС «Профессор Водяницкий» (ЦКП «НИС Профессор Водяницкий» ФГБУН ФИЦ ИнБЮМ РАН»).

РЕАКЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ АРАЛЬСКОГО МОРЯ НА СЕВЕРО-ВОСТОЧНЫЕ ВЕТРЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ СО СПУТНИКОВ MODIS AQUA/TERRA

Кузьмичёва Т.Ф.

МГИ, г. Севастополь
✉ TFK12.93@yandex.ru

Ключевые слова: Аральское море; спутники AQUA/TERRA; северо-восточный ветер; нагонная сторона; струи, направленные против ветра; грибовидные структуры.

Северо-восточные ветры в районе Аральского моря имеют характер мощных кратковременных импульсов: неожиданно начинаются, дуют с большой силой и также неожиданно прекращаются. В результате ветров, дующих не менее суток, у нагонной юго-западной стороны залива Шевченко появляются упорядоченные структуры, направленные против ветра: при среднеклиматических и сильных ветрах – струи, при очень сильных – грибовидные структуры. И струи, и грибовидные структуры всегда берут своё начало в одной и той же точке, координаты которой [46,47° с. ш., 60,00° в. д.]. Время жизни струй – от 3-х до 7 суток, максимальная длина может достигать 30 км, средняя ширина меняться от 2 до 4 км. Скорость, с которой движется головка струи, может меняться от 4,5 до 7,5 см/с. Грибовидные структуры могут существовать не менее 4 суток и заполнять собою всё пространство залива Шевченко, т. е. иметь размеры порядка 30–40 км. При этом левый конец шляпки закручивается в циклонический вихрь, а правый – в антициклонический.

Упорядоченная структура появляется и на юго-западе Западного Арала, южнее мыса Ак-Тумсук. Она удлиняется по срединной линии в северном – северо-восточном направлениях

от 20 до 48 км, средняя ширина её 6–8 км. Координаты середины основания этой фигуры у западного берега равны приблизительно [44,53° с. ш., 58,24° в. д.]. Головка её закручивается в циклонический вихрь, центр тяжести которого может двигаться со скоростью $\approx 5\text{--}7$ см/с. Основные особенности локаций, из которых выходили струи и грибовидные структуры, заключались в том, что в этих местах был узкий шельф, переходящий в резкий свал глубин. Береговая линия у нагонной стороны имеет форму дуги, выпуклая сторона которой направлена в одну сторону с дующим ветром. Отличаются локации солёностью. В Северном Арале в начале 2000-х годов она равнялась ≈ 23 ‰, а в Западном Арале – 68 ‰, т. е. в 3 раза больше. В Восточном Арале, характерной особенностью которого является пологое дно и ровная береговая линия, ни струи, направленные против ветра, ни грибовидные структуры никогда не наблюдались.

ЛАЗЕРНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ КАПИЛЛЯРНЫХ ВОЛН НА МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Лихачева М.В. , Стерлядкин В.В., Куликовский К.В.

МИРЭА, г. Москва
 *likhacheva.m@gmail.com*

Ключевые слова: капиллярные волны, распределение уклонов, дистанционное зондирование, обратная задача.

В работе рассмотрен новый дистанционный метод измерения уклонов морского волнения, позволяющий проводить измерения уклонов капиллярных волн за десятые доли секунды. Метод основан на освещении морской поверхности сверху вниз и регистрации полученного изображения лазерного луча, который рассеивается в воде и затем попадает в видеокамеру. Прямой тонкий луч в воде распространяется по прямой линии, но его изображение преломляется взволнованной поверхностью и отклоняется от прямолинейной формы. Расчеты показали, что чем дальше отклонилось изображение луча от невозмущенной линии,

тем больше уклоны морской поверхности в точке преломления. При сильном ветре и интенсивном капиллярном волнении изображение лазерного луча даже на одном кадре при выдержке 0,01 с превращается в световую «юбку» конической формы. Обоснован способ решения обратной задачи определения распределения уклонов поверхности по распределению освещенности в сечении световой «юбки».

Приводятся результаты натурных измерений вероятности распределения капиллярных уклонов морской поверхности по распределению интенсивности засветки лазерной «юбки».

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-17-00189, <https://rscf.ru/project/23-17-00189/>.

ПРОЯВЛЕНИЕ ПАВОДКОВ НА МАЛЫХ РЕКАХ ЗАПАДНОГО КРЫМА В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ МОРЯ ПО СПУТНИКОВЫМ И КОНТАКТНЫМ ДАННЫМ

Лукашова О.А. ✉, Белокопытов В.Н.

МГИ, г. Севастополь

✉ luk_ok@mail.ru

Ключевые слова: прибрежные воды, спутниковое зондирование, ежедневный расход воды, температура поверхности моря, шлейф (плюм), Бельбек, Кача, Альма.

Гидрологические характеристики прибрежных вод изменяются, в числе прочих факторов, под влиянием речного стока, особенно в периоды паводков. На западе Крымского полуострова в море впадают малые реки Бельбек, Кача, Альма, имеющие устья открытого типа и прямо влияющие на гидрологические характеристики взморья.

Был проведен анализ спутниковых снимков указанного района исследований, полученных с помощью Sentinel-2, за 6 лет (2017–2022 гг.). Наличие и характер визуально наблюдаемых на снимках речных шлейфов (плюмов) сопоставлены с данными о ежедневном расходе воды (ЕРВ), полученными Федеральным

агентством водных ресурсов на ближайших к месту впадения в море гидрологических постах: пгт. Почтовое (р. Альма), с. Суворово (р. Кача), с. Фруктовое (р. Бельбек). В качестве дополнительного маркера влияния речных вод на прибрежные был взят массив Black Sea High Resolution L4 Sea Surface Temperature Reprocessed программы Copernicus с пространственным разрешением $0,008^\circ$, содержащий ежесуточные (ночные) значения температуры поверхности Черного моря в исследуемом районе, полученные с помощью спутникового зондирования.

По результатам анализа были выделены проявления событий, связанных с паводками: присутствие шлейфа речных вод и различие температуры шлейфа и окружающей морской воды. За исследуемый период отмечено 29 случаев присутствия шлейфа на спутниковых снимках, из них 20 зафиксировано в январе–июне, 9 – в июле–декабре. Такое распределение по сезонам (преимущественно весна, начало лета) типично для паводков на малых реках в исследуемом районе в данный климатический период. Форма и цвет шлейфа на снимках характерны для явления проникновения речных вод в морскую среду и отличаются от таковых в случаях размыва берегов. Направления распространения шлейфов обусловлены типичными волновыми процессами и течениями в данном районе шельфа.

2019 и 2020 годы можно характеризовать как маловодные: на спутниковых снимках не зафиксировано выноса взвеси реками в море, температура поверхности вод шельфа и морской части устья равномерна, средний ежедневный расход воды в реках характерен для маловодных лет. Это является очевидным подтверждением отсутствия паводков всеми тремя маркерами влияния. Многоводность характерна для 2021 и 2022 гг.: так, спутниковые снимки показывают 11 случаев интенсивного распространения речного шлейфа в 2022 г., что подтверждается высокими значениями расхода воды в эти даты и неравномерностью ТПМ (по данным Copernicus).

Всего за исследуемый период оценено 29 спутниковых снимков, 96 случаев интенсивного кратковременного увеличения ЕРВ и повышения градиента температуры воды взморья. Поскольку периодичность спутниковых снимков составляет 5 дней, к тому

же, некоторую их часть невозможно оценить визуально из-за облачности, многие снимки не фиксируют пик паводка и не могут характеризовать его максимальное проявление. Однако о наличии паводка можно судить по высокому значению ЕРВ и неравномерному распределению температуры прибрежных вод. Примером может служить катастрофический паводок на р. Бельбек 05.07.2021: сильная облачность препятствовала фиксации и визуальной оценке распространения речных вод в прибрежной зоне, однако влияние паводка определялось по высокому значению ЕРВ ($65,8 \text{ м}^3/\text{с}$) и значительному градиенту ТПМ на устьевом взморье.

Таким образом, на основании анализа данных дистанционного зондирования (спутниковые снимки, данные ТПМ) и синхронных наблюдений на постах гидрологической сети можно достоверно оценить степень влияния малых рек Западного Крыма на изменение гидрологических характеристик прибрежных вод. Совместное использование указанных маркеров влияния можно считать надежным.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОЩАДИ МОРСКОГО ЛЬДА ПЕЧОРСКОГО МОРЯ И ЕЁ КОРРЕЛЯЦИЯ СО СКОРОСТЬЮ ВЕТРА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И РЕАНАЛИЗА

Львова Е.В. ✉, Заболотских Е.В.

РГГМУ, г. Санкт-Петербург
✉ lvova317@gmail.com

Ключевые слова: Печорское море, реанализ, спутниковые данные, площадь морского льда, ветер, циклоны.

В работе представлены результаты комплексного исследования пространственно-временной изменчивости площади морского льда Печорского моря и ее связи с ветровыми процессами за период 2002–2023 гг. (исключая сезон 2011/2012 гг.).

Основу исследования составил анализ трех типов данных: ежедневных значений сплоченности льда по продукту AMSR2 с пространственным разрешением 3,125 км, среднесуточных полей скорости ветра на высоте 10 м из реанализа ERA5 с разрешением $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, а также точечных измерений толщины льда, полученных с помощью спутника ICESat. Для выявления пространственных закономерностей были построены композитные карты распределения площади морского льда и ветровых полей. Особое внимание уделялось периодам с устойчивыми ветрами, когда скорость превышала 7 м/с, а направление оставалось преимущественно постоянным на более чем 75 % акватории моря. Статистический анализ с использованием коэффициента корреляции Пирсона проводился с временными лагами от 0 до 5 суток, что позволило выявить запаздывающий отклик ледового покрова на ветровое воздействие. Наибольшие значения обратной корреляции (до $-0,39$) между скоростью ветра и площадью льда наблюдались при временном лаге в 2 суток в осенне-зимний период. Анализ направленных характеристик ветра показал значимые обратные корреляции для юго-западных ($-0,22$) и северо-восточных ($-0,15$) направлений ветра. Отдельно исследовалось влияние циклонной активности, в ходе которого была установлена корреляция $-0,32$ между скоростью ветра и площадью ледяного покрова во время прохождения циклонов через акваторию Печорского моря. Полученные результаты свидетельствуют о существенном влиянии ветровой динамики на изменчивость ледового покрова, особенно в период интенсивной циклонической деятельности.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ О СПЛОЧЕННОСТИ МОРСКОГО ЛЬДА В КАРСКОМ МОРЕ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Манько А.А., Жук В.Р. ✉, Кубряков А.А., Мизюк А.И.

МГИ, г. Севастополь
✉ zhuk.vlad1slav@yandex.ru

Ключевые слова: Северный ледовитый океан, Карское море, морской лед.

Точные данные о сплоченности морского льда критически важны для навигации в Северном ледовитом океане (СЛО), промышленной инфраструктуры и климатических исследований. В условиях быстро меняющейся ледовой обстановки проверка качества оперативных и реанализных данных высокой детализации становится особенно актуальной. В рамках настоящего исследования сравниваются данные о сплоченности морского льда в Карском море за ноябрь–декабрь 2022 г. В работе анализируются 5 высокоразрешающих продуктов, включая данные численного моделирования NEMO, выполненного в ФГБУН ФИЦ МГИ РАН, а также продукты NEXTSIMF, TOPAZ4b и TOPAZ5 и GLORYS12v1. Сравнение проводилось относительно спутниковых наблюдений AMSR2 с использованием стандартных статистических метрик: смещение (bias), среднеквадратичная ошибка (RMSE) и коэффициент корреляции (R).

Результаты показали устойчивое отрицательное смещение у всех рассмотренных источников данных (bias от -27,9 % до -33,1 %), что указывает на систематическую недооценку сплоченности льда. Также зафиксированы высокие значения RMSE (50,4–51,5 %), что говорит о значительных ошибках и различиях в отслеживании пространственно-временных вариаций. Наилучшие показатели корреляции ($R = 0,89$) отмечены у продукта TOPAZ4b. Пространственный анализ выявил региональные особенности ошибок: в ноябре наблюдалась переоценка

сплоченности в западной части моря (зоны начального ледообразования), а в декабре – недооценка в областях плотного льда на севере и в центре региона. Эти различия подчёркивают необходимость адаптации моделей к специфическим условиям конкретных арктических районов. Полученные результаты важны как для пользователей продуктов SIC, так и для разработчиков моделей, предоставляя основу для выбора данных и калибровки моделей с целью их адаптации к условиям СЛО.

Работа выполнена в рамках государственного задания № FNNN-2024-0017 (обработка и анализ данных реанализов) и № FNNN-2024-0012 (обработка и анализ спутниковых данных).

ТРЕНДЫ ТЕМПЕРАТУРЫ И СОЛЕННОСТИ ВОД СЕВЕРНОГО И СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО РАЙОНОВ ЧЕРНОГО МОРЯ С 2016 ПО 2021 ГОД

Маньковская Е.В. ✉, Морозов А.Н.

МГИ, г. Севастополь
✉ emankovskaya@mhi-ras.ru

Ключевые слова: температура, соленость, Черное море, пикноклин, термохалинная структура.

Доклад посвящен исследованию термохалинных характеристик вод северного и северо-восточного районов Черного моря в слое основного пикноклина и ниже (100–400 м). Рассмотрены данные гидрологических измерений (проводимость, температура, глубина) в 20-ти экспедициях Морского гидрофизического института РАН, выполненных за период с 2016 по 2021 г. на НИС «Профессор Водяницкий». Выявлен постепенный рост температуры и солёности вод ниже основного пикноклина, распространяющийся вплоть до изопикны $16,9 \text{ кг/м}^3$ (глубина $\sim 370 \text{ м}$). Интенсивность уменьшается с глубиной. Сравнение с данными более ранних измерений и результатами исследований других авторов показывает, что именно в рассматриваемый период

произошли значительные изменения, особенно проявившиеся с 2018 г.

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

ЦИРКУЛЯЦИЯ АЗОВСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

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

¹ ЮНЦ РАН, г. Ростов-на-Дону

² ММБИ, г. Мурманск

✉ klim_grig@mail.ru

Ключевые слова: Дельта Дона, обмеление, цикличность климата, сгонно-нагонные явления, спектральный анализ, сейши.

Наблюдения позволяют выделить три стадии циркуляции Азовского моря. Первая соответствует устойчивой погоде летнего антициклона. В это время максимально заметны радиационные приливы, соответственно, с суточной и полусуточной периодичностью. Такое явление объясняется бризовой природой ветров бассейна. Вторая стадия соответствует сейшевой циркуляции. Она возникает при продолжительных устойчивых ветрах. В такие периоды регулярно, с периодом собственных, резонансных частот, формируются течения, которые направлены против вынуждающего штормового ветра. Форма водной поверхности моря при сильном сгоне или нагоне соответствует профилю одноузловой сейши с преобладающей узловой линией, проходящей примерно по линии Приморско-Ахтарск–Бердянск. Штормовой ветер стихает, но полностью не прекращается никогда. Течения формируют амфидромическую систему собственных колебаний моря, которые имеют форму волн Кельвина, подпитываются прежде всего ветровой энергией, но не совпадают с ветровыми по направлению и периодике изменений.

Таким образом, наиболее современные имеющиеся ветровые схемы движения вод, построенные с учетом батиметрии, термохалинных закономерностей, выступающих кос, подводных мелей и банок, гранулометрического состава и типа донных отложений, являются фазой дрейфово-градиентных (сейшевых) течений Азовского моря, общее, генеральное направление которых имеет циклонический характер.

Третья стадия переходная. Она наблюдается в моменты усиления ветров и активного накачивания энергии из атмосферы в море. Амфидромические системы радиационных приливов разрушаются, по каскаду масштабов формируются резонансные колебания Азовского моря – сейши, от многоузловых, до наиболее энергонасыщенной одноузловой сейши.

Приливная циркуляция в теплое время года в чистом виде на данных измерений течений слабо различима, поскольку легко смешивается с сейшевой, однако хорошо выделяется по данным спектрального анализа.

ИЗМЕНЕНИЕ ФАКТОРОВ ОБРАЗОВАНИЯ АНТАРКТИЧЕСКОЙ ДОННОЙ ВОДЫ В ЗАЛИВЕ ПРЮДС В 2022–2025 ГГ.

**Молчанов М.С.¹✉, Антипов Н.Н.¹, Кашин С.В.¹,
Чистяков И.А.¹, Бугук Г.М.¹, Федотова А.А.²**

¹ ААНИИ, г. Санкт-Петербург

² ИО РАН, г. Москва

✉ mms@aari.ru

Ключевые слова: Антарктика, залив Прюдс, антарктическая донная вода, морской лед, полярные, метеоусловия.

Прибрежные квазистационарные полярные в Антарктике часто называют «фабриками морского льда». Вследствие интенсивного льдообразования в полярных образуются большие объемы холодных и соленых шельфовых вод, которые либо накапливаются на

шельфе, либо в случаях узкого шельфа – практически сразу стекают по антарктическому склону, смешиваясь с теплой Циркумпольярной глубинной водой (ЦГВ). В результате смешения плотных модификаций шельфовых вод и ЦГВ образуются Антарктическая донная вода (АДВ). Эта донная вода участвует в переносе тепла и глобальной циркуляции вод. Термохалинные характеристики и объемы АДВ зависят от метеорологических процессов, определяющих время существования полыньи и интенсивность льдообразования в ней, и термохалинных характеристик водных масс на шельфе и склоне.

Залив Прюдс является одним из 4 ключевых районов формирования АДВ. В отличие от морей Росса и Уэдделла, где образование плотных модификаций шельфовых вод определяется процессами взаимодействия образованных в полыньях шельфовых вод с подошвой крупнейших шельфовых ледников, в заливе Прюдс определяющую роль в образовании АДВ играют полыньи. Палео-исследования показывают, что во время последнего ледникового максимума объем АДВ в Атлантике был почти в четыре раза больше, чем сегодня. Однако причины такого усиления генерации АДВ до сих пор не установлены. Этот увеличенный объем АДВ мог быть результатом увеличения производства морского льда в полыньях в Антарктике. Ледопродуктивность зависит от следующих факторов: скорость льдообразования с единицы площади, площадь полыньи и время существования полыньи.

В докладе будет представлен анализ уникальных архивов океанографических данных Российской антарктической экспедиции (РАЭ), полученных в заливе Прюдс в 2023–2025 гг. Анализ метео и ледовых условий будет представлен на основе данных атмосферного реанализа ERA5 и спутниковых данных о сплоченности (концентрации) морского льда AMSR2.

Океанографические наблюдения в заливе Прюдс показывают существенное изменение стратификации в области шельф–склон в 2024–2025 гг. – отступление Антарктической шельфовой воды на юг уменьшило градиент температуры, Антарктический склоновый фронт стал более размытым и тёплые ЦГВ, имеющие глубину залегания менее глубины бровки, стали почти беспрепятственно проникать на шельф в створе разреза, чего ранее не

отмечалось. Как следствие, существенно уменьшилась мощность слоя донной воды залива Прюдс. Подобная радикальная перестройка структуры водных масс наблюдается впервые.

Анализ суммарной за зимний период ледопродуктивности полыньи мыса Дарнли выявил периоды значительных аномалий ледообразования. Наибольшие отклонения от среднего уровня наблюдаются в 2014–2016 и 2021–2024 гг., что свидетельствует о сложных взаимодействиях между образованием льда, изменением площади открытой воды и метеорологическими условиями.

Сбор океанографических данных был выполнен в рамках Проекта 5.2. «Океанологические, климатические, гляциологические и геофизические исследования в Антарктике и Южном океане» Плана НИТР/ОПР Росгидромета.

ПЛОТНОСТНАЯ СТРАТИФИКАЦИЯ В ГЛУБИННОМ СЛОЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

Морозов А.Н. ✉, Маньковская Е.В.

МГИ, г. Севастополь
✉ anmorozov@mhi-ras.ru

Ключевые слова: плотность, частота плавучести, Черное море, пикноклин, глубинный слой.

В докладе обсуждаются изопикнически осредненные профили частоты плавучести и деформации, полученные на основе данных, собранных в 87-ом рейсе НИС «Профессор Водяницкий», проходившем в северной части Черного моря с 1 по 17 июля 2016 г. Установлено, что в нижней части основного пикноклина между изопикнами 15 и 16,9 кг/м³ (70–350 м) частота плавучести линейно зависит от плотности и пропорциональна степенной функции от глубины с показателем «–1,1». В слое между изопикнами 16,9 и 17,14 кг/м³ (350–750 м) квадрат частоты плавучести линейно зависит от плотности и пропорционален экспоненциальной функции от глубины (z) с показателем « $-z/330$ ». В диапазоне значений плотности от 17,15 до 17,25 кг/м³ (750–1500 м) квадрат

частоты плавучести пропорционален экспоненциальной зависимости от глубины с показателем « $-z/270$ ». Приведенные функциональные зависимости могут быть полезны для аналитических и теоретических исследований.

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

КАРТИРОВАНИЕ МАЛОГО ФИЛЛОФОРНОГО ПОЛЯ ПО СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ: АЛГОРИТМ И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

**Новиков Б.А. ✉, Федоров С.В., Алескерова А.А.,
Харитонов Л.В., Станичный С.В.**

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

Ключевые слова: дистанционное зондирование, Sentinel-2 MSI, Landsat 8-9 OLI, береговая зона, фитобентос, морские водоросли, Малое филлофоровое поле, Каркинитский залив, Чёрное море.

На основе массива данных спутниковых снимков высокого разрешения Sentinel 2 и Landsat 8-9 проведен анализ пространственного положения Малого филлофорного поля в восточной части Каркинитского залива Черного моря за период 1995–2025 гг.

Создан алгоритм выделения районов распространения фитобентоса в береговой зоне для оптически прозрачных вод. Для снимков Sentinel-2 MSI применялась комбинация 3 (560 нм) и 8 (842 нм) каналов, для Landsat 8–9 OLI – 3 (530 нм) и 5 (850 нм) каналов, соответствующих зеленому и ближнему ИК спектрам. В основе алгоритма лежит статистический анализ коэффициента вариации и пиковых значений на гистограмме распределения яркости пикселей. Валидация автоматического выделения границ была проведена при сопоставлении с результатами визуального картирования. Для удобства работы в среде Matlab создана программа с пользовательским интерфейсом.

В результате проведённого исследования получены карты межгодовой динамики границ распространения филлофоры в восточной части Каркинитского залива за 30-летний период. Выявлена неоднородная структура поля фитобентоса. Наиболее крупный массив расположен на глубинах 8–10 м. Остальная часть поля имеет островную структуру, занимая понижения рельефа дна на глубинах 5–8 м. Посчитаны площади для выделенных массивов. Установлено, что за изучаемый период площадь основной части Малого филлофорного поля увеличилась примерно на 64 % – с 15 до 31 км².

Работа выполнена в рамках государственного задания FNNN-2024-0012 и FNNN-2024-0016.

ВЫБОР РАЙОНА РАБОТ ВБЛИЗИ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОЛИГОНА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ТОНКОЙ ТЕРМОХАЛИННОЙ СТРУКТУРЫ ВОДНЫХ МАСС

Новицкая В.П. ✉, Кобылянский В.В.

МГИ, г. Севастополь

✉ victory.novitskaya@mhi-ras.ru

Ключевые слова: робототехника, мобильный полигон, тонкая термохалинная структура.

Шельф на севере Черного моря (в районе Черноморского гидрофизического подспутникового полигона) простирается достаточно далеко от берега. На таких глубинах не формируется полноценной тонкой термохалинной структуры водных масс в традиционном понимании. Для исследования тонкой термохалинной структуры нужны достаточно большие глубины (не менее 1200 м), чтобы сформировалась устойчивая структура. К сожалению, в настоящее время в районе полигона длительные экспериментальные исследования в море ограничены территориальными водами и наличием соответствующих технических средств.

Исследован район к югу от Понизовки до Алушты. В результате предварительных исследований получены профили гидрофизических характеристик и скоростей течений. Выявлены относительные стационарные профили гидрофизических характеристик, которые могут быть использованы для изучения механизмов перемешивания в слоях тонкой термохалинной структуры.

Анализ результатов базируется на работах Дж. Тернера. Рассматривается методика создания мобильного гидрофизического полигона, включающего гидрофизические буи типа Argo, автономные необитаемые подводные аппараты и безэкипажные катера.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФРОНТАЛЬНОЙ ЗОНЫ БЕНГЕЛЬСКОГО АПВЕЛЛИНГА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ СПУТНИКОВОГО АЛЬТИМЕТРА SWOT

Павлушин В.А.

МГИ, г. Севастополь
✉ *pavlushin.92@mail.ru*

Ключевые слова: Бенгельский апвеллинг, сезонная изменчивость, спутниковые измерения, течения.

В работе исследуются изменения и динамические процессы во фронтальной зоне Бенгельского апвеллинга на основе данных спутникового альтиметра SWOT.

Система Бенгельского апвеллинга является одной из наиболее интенсивных систем апвеллинга в мире, играющей ключевую роль в формировании климата и экосистем юго-восточной Атлантики. Этот регион уникален тем, что здесь холодные воды, поднимающиеся из глубин океана, граничат с теплыми водами Ангольского течения на севере и течения Агульяс на юге.

Исследование фронтальных зон с использованием данных альтиметра SWOT (Surface Water and Ocean Topography) представляет собой перспективное направление в океанологии,

позволяющее изучать динамику океана с высоким пространственным разрешением. SWOT обеспечивает измерения уровня моря с разрешением 1–2 км (вдоль трека) в отличие от традиционных альтиметров (~10 км). Спутник способен фиксировать мезомасштабные (10–100 км) и субмезомасштабные (1–10 км) процессы, включая фронты, вихри и струйные течения.

В качестве вспомогательных данных для валидации используются данные о среднемесечной поверхностной солёности, полученные по измерениям прибора SMAP. Пространственное разрешение данных – 0,25°. Спутниковая солёность слабо подвержена влиянию сезонного прогрева и оптимально подходит для определения интенсивности апвеллинга в разное время года.

SWOT открывает новые возможности для изучения фронтальных зон благодаря высокой детализации и двумерному охвату. Это позволяет углубить понимание динамики океана, включая процессы, ранее недоступные для наблюдения.

ОШИБКА ВЫЧИСЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА-А ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ СКАНЕРА OLCI НАД ЯПОНСКИМ МОРЕМ В АПРЕЛЕ 2023 ГОДА

Папкина А.С.^{1✉}, Салюк П.А.², Шукало Д.М.¹

¹ МГИ, г. Севастополь

² ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток

✉ hanna.parkova@gmail.com

Ключевые слова: Японское море, минеральная пыль, OLCI, хлорофилл-а, спектральный коэффициент яркости моря, SILAM.

Ежегодно методами дистанционного зондирования над Японским морем регистрируются видимые шлейфы минеральной пыли, переносимые на восток из пустынь Гоби и Такла-Макан. Появление большого количества поглощающего пылевого аэрозоля над морской поверхностью существенно осложняет спутниковые измерения продуктов Ocean Color в исследуемом

регионе, особенно учитывая, что он подвержен значительному стоку рек. В настоящей работе мы предлагаем оценить влияние минеральной пыли на ошибку вычисления хлорофилла-а по спутниковым данным сканера OLCI (The Ocean and Land Colour Instrument) для акватории Японского моря.

При статистической обработке спутниковых данных в дни пылевого переноса (13.04–21.04.2023) для северо-восточной и центральной частей Японского моря в программном пакете SeaDAS зафиксировано резкое возрастание концентрации хлорофилла-а до $10 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$, что является следствием ошибки атмосферной коррекции. В предыдущих исследованиях доказано влияние минеральной пыли на концентрацию хлорофилла-а вследствие поступления питательных веществ в приповерхностный слой Японского моря. Однако наблюдаемый эффект занимает более продолжительное время, чем одни сутки. При этом для анализа изменчивости в северной и центральной части Японского моря влияние процессов адвекции оптически активных веществ в приповерхностном слое моря было минимизировано за счет выбора области сравнения в однородных областях наблюдаемых структур на спутниковых изображениях.

В данной работе предполагается, что данная аномалия связана с заниженными и отрицательными значениями спектрального коэффициента яркости моря до 560 нм и в результате неправильного вычисления Chlorophyll Index (CI) по алгоритму OCI. При дальнейшем анализе ошибки валидации было найдено, что ход степенной ошибки атмосферной коррекции по сравнению с ближайшим чистым днем хорошо описывается функцией вида $\lambda^{-5.5}$, что в дальнейшем может быть использовано в качестве основы для нового регионального алгоритма атмосферной коррекции. В будущем планируется провести более подробный анализ аналогичных случаев переноса минеральной пыли над акваторией Японского моря с вычислением спектрального хода ошибки атмосферной коррекции, расширенным анализом параметров атмосферы и дополнительным привлечением источника натурных измерений.

Работа выполнена в рамках тем государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ FNNN-2024-0012 «Анализ, диагноз и оперативный прогноз состояния гидрофизических и гидрохимических полей морских акваторий на основе математического моделирования с использованием данных дистанционных и контактных методов измерений («Оперативная океанология») и государственного задания ТОИ ДВО РАН № 124022100080-0 «Комплексное использование методов дистанционного зондирования Земли, а также наземных и подводных измерительных систем в исследованиях морских погодных образований, гидродинамических и биогеохимических процессов в верхнем слое океана и морей».

РАЗВИТИЕ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ В ЮЖНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Петренко Л.А. ✉, Козлов И.Е.

МГИ, Севастополь
✉ larcpetr@gmail.com

Ключевые слова: ледовые условия, речной сток, поверхностный опресненный слой, Карское море, Обь-Енисейский устьевой район.

Рассматривается развитие ледовых условий в южной части Карского моря по радиолокационным изображениям спутника Sentinel-1. Проанализированы метеоусловия в регионе по данным прибрежных метеостанций и реанализа ветра ERA-5.

Несмотря на участвовавшее полное очищение акватории Карского моря ото льда в летнее время, льды сохраняются практически постоянно в узких проливах архипелагов Земля Франца-Иосифа и Северная Земля. Происходит также вынос льдов из Арктического бассейна в акваторию Карского моря в его

северо-восточной части, который наблюдается круглогодично в зависимости от действующих ветров и особенностей дрейфа льдов в приполярном районе.

По данным дистанционного зондирования было отмечено, что с наступлением холодного периода ледообразование начинается в зонах распреснения поверхностных вод – в проливах Северной Земли из-за речного стока и таяния ледников на островах архипелага, в бухтах малых и больших рек, впадающих в Карское море. Последующее увеличение площади льдов происходит вдоль Северной Земли и южного берега моря в соответствии с накоплением и распространением опресненной воды. При достижении определенной толщины льда прекращается вынос поверхностной распресненной воды через пролив Вилькицкого и она вынуждена распространяться вдоль западного берега Северной Земли.

От момента первого появления льдов еще достаточно долгое время центральная часть моря остается свободной ото льда, несмотря на весьма низкие температуры воздуха. При этом льды наблюдаются широкой полосой вдоль южного берега моря и западного берега Северной Земли. В дальнейшем в результате выхолаживания поверхностного слоя вод с более высокой соленостью в центральной части моря происходит стремительное ледообразование и распространение ледяного покрова по всей акватории Карского моря. Самой последней закрывается льдом полынья в юго-западной части моря, наличие которой обуславливается притоком теплых атлантических вод из Баренцева моря через пролив Карские ворота.

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ВОД И ЛЬДА В ОБСКОЙ ГУБЕ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Петренко Л.А.^{1✉}, Плотников Е.В.¹,
Козлов И.Е.¹, Ситак Н.П.²

¹ МГИ, г. Севастополь

² Филиал МГУ в г. Севастополе, г. Севастополь

✉ larcpetr@gmail.com

Ключевые слова: Обская губа, ледовые условия, течения, метеоусловия.

Исследования особенностей динамики вод и ледовой обстановки в Обской губе остаются актуальными в связи с изменениями климата и из-за возрастания значимости навигации в губе и по Северному Морскому пути. Исследование проводилось по данным дистанционного зондирования в период с 01.09.2023 по 31.12.2024. Ледовая обстановка в Обской губе анализировалась по радиолокационным изображениям спутника Sentinel-1 с использованием программного обеспечения Sentinel Application Platform (SNAP) Европейского космического агентства. Для анализа метеоусловий использовались данные с сайтов gp5.ru и pogodaiklimat.ru по метеостанциям Салехард, Новый порт, Тамбей и ГМС им. Попова. Скорости переноса рассчитывались по данным оптических сканеров спутников Landsat-9 и Sentinel-2 с применением алгоритма нормализованной максимальной кросс-корреляции.

В ходе анализа данных было установлено, что в регионе Обской губы сохраняется муссонный режим ветров. Осенью 2023 г. и зимой 2023–2024 гг. преобладали южные ветры. Ветры преимущественно северных направлений действовали весной и летом 2024 г. Осень 2024 г. отличалась повышенной повторяемостью западных ветров, которая сохранилась и в декабре, тогда как в

декабре 2023 г. южные и юго-западные ветры сменялись восточными. На фоне невысоких скоростей ветра отмечена повышенная повторяемость штилей в ноябре и декабре 2023 г., не характерная для данного региона.

По спутниковым радиолокационным изображениям были определены некоторые особенности распространения вод и льда в Обской губе. Ледообразование в губе начинается в ее южной части и вдоль берегов. В северной части Обской губы на образование льдов влияет интенсификация стока р. Оби с сильными южными ветрами, заток вод плюма рек Енисея и Гыдани с начальными формами льда, заток морских вод с северными и северо-западными ветрами.

В зависимости от преобладающей зональной компоненты действующих ветров в предзимье схема образования вдольбереговых припаев отличается.

Для средней части Обской губы характерны льды большей толщины из-за впадения р. Таз. В период таяния льдов в этом районе отчетливо видны вихревые структуры, трассируемые льдом. На всем протяжении Обской губы вихревые структуры присутствуют и в безледный период.

С использованием алгоритма максимальной кросс-корреляции по квазисинхронным снимкам оптических сканеров были оценены скорости переноса, которые достигали в северной части 1,2 м/с в половодье и 0,3–0,4 м/с в период малых вод.

Длительность ледового периода в Обской губе в среднем в рассматриваемый промежуток составила 293 дня.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 25-17-00309.

ОЦЕНКА ДРЕЙФА МОРСКОГО ЛЬДА НА ОСНОВЕ МУЛЬТИСЕНСОРНЫХ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

Плотников Е.В. ✉, Козлов И.Е.

МГИ, г. Севастополь
✉ ev.plotnikov@yandex.ru

Ключевые слова: дрейф морского льда, метод максимальной кросс-корреляции, спутниковые данные, Арктика.

В последние годы Арктика привлекает пристальное внимание исследователей. При этом данные о динамике дрейфа морского поверхностного льда являются одним из важнейших источников информации, необходимой для изучения геофизических процессов в указанном регионе. В докладе рассматриваются возможности использования спутниковых снимков для восстановления полей скорости дрейфующего прикромочного льда с использованием различных сенсоров. Для анализа выбран обширный район, относящийся к проливу Фрама с координатами 75° – 81° с. ш. и -15° – -5° в. д. Проанализированы данные оптических сканеров MODIS и Sentinel-3, РЛИ Sentinel-1, ИК-данные MODIS. На основе метода нормализованной максимальной кросс-корреляции рассчитаны поля скорости дрейфа льда с использованием пар снимков, полученных в течение 20 часов, что позволило восстановить дневную изменчивость поверхностной динамики. Описана методология обработки спутниковых изображений для каждого сенсора, обсуждаются их особенности и эффективность применительно к описанной задаче. Продемонстрированы оценки сопоставления полученных полей скорости. Доклад может быть интересен специалистам в области морской динамики, геофизических процессов в Арктическом регионе, а также обработки спутниковых данных.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДРЕЙФА ЛЬДА ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ SENTINEL-1A/B

Погребной А.Е.

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

Ключевые слова: Северный Ледовитый океан, пролив Фрама, дрейф льда, циклонические и антициклонические вихри, спутниковая радиолокация.

В настоящее время наблюдается сокращение площади арктического морского льда. Это может быть связано с различными факторами естественной изменчивости и внешних антропогенных воздействий на климат. Для понимания механизмов, ответственных за разрушение и таяние ледового покрова, а также обеспечения безопасности судоходства в Арктике необходима информация о характеристиках дрейфа морского льда.

Целью анализа было получение и исследование пространственных особенностей скорости дрейфа льда в полярных зонах Северного Ледовитого океана дистанционными методами. Использовалась информация квазисинхронных зондирований радиолокационных спутников с синтезированной апертурой Sentinel-1A/B в режиме Extra Wide Swath с пространственным разрешением 40×40 м. Для получения информации о дрейфе выбирались пары квазисинхронных последовательных снимков при наличии в зоне их перекрытия ледовой кромки.

Поля течений рассчитывались по перемещениям ключевых точек (выраженных локальных структурных особенностей изображения) за промежуток времени между зондированиями. Для позиционирования ключевых точек использовались детекторы углов и пятен.

Критерием согласованности ключевых точек является близость их дескрипторов. Чтобы получить дескриптор в каждом окне 4×4 в окрестности ключевой точки вычислялась амплитуда

и ориентация градиентов. Эти ориентации формируют гистограмму из 8 бинов (45° каждый). Направления градиентов корректируются с учетом ориентации самой ключевой точки, которая соответствует максимуму этой гистограммы. Это обеспечивает ориентационную инвариантность, что крайне важно при анализе вихревых структур и течений со сдвигом скорости. Вклад градиентов удаленных участков демпфируется гауссовым весовым фильтром. Кандидаты на соответствие друг другу определяются по минимуму нормы Хемминга между дескрипторами. Отбраковка ложных пар производится с помощью концепции случайных выборок RanSaC (Random Sample Consensus). Качество согласований контролировалось визуально.

При слабом шуме, например, из-за сильного ветра, и при наличии в зоне перекрытия снимков множества выраженных контрастных элементов, например, обособленных льдин, удается выделить до 10^5 и более соответствий, по которым определялись локальные значения скорости течений. Далее значения скорости интерполировались на пространственную сетку с эквидистантным шагом и уже по ним определялась статистика и строились карты полей скорости и его завихренности.

С помощью данной методики анализировались поля течений (движение льда) в прикромочной ледовой зоне пролива Фрама. Динамика течений и вихреобразования в данном районе по-видимому связана с взаимодействием Восточно-Гренландского течения, несущего холодную полярную воду на юг, и Западно-Шпицбергенским течением с теплой атлантической водой, идущим на север. Это приводит к формированию каскада сопряженных вихревых структур, между которыми наблюдаются струйные нитевидные течения. Между активными вихревыми образованиями значения скорости течений превышают 90 см/с, тогда как внутри вихрей они меньше 10 см/с. Вихри вытянуты в северо-западном направлении, в котором их размеры могут достигать ~ 100 км. Значения завихренности в антициклонах достигают ~ -4 сут $^{-1}$, а в циклонах $\sim +2$ сут $^{-1}$.

ХАРАКТЕРИСТИКА УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ШТОРМОВЫХ СИТУАЦИЙ В РАЙОНЕ МОРСКОЙ СТАНЦИИ ОПАСНОЕ

Полозок А.А.^{1,2}✉, Полозок П.В.², Фомина И.Н.²

¹ МГИ, г. Севастополь

² ГОИН, г. Москва

✉ polozok.umi@gmail.com

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

Штормовые сгоны и нагоны в районе морской гидрометеорологической станции (МГС) Опасное наблюдаются достаточно часто (ежегодно регистрируется в среднем 1 случай экстремального подъема или спада уровня).

Для исследования условий возникновения штормовых нагонов и сгонов вблизи МГС Опасное проведен анализ срочных (3 измерения в сутки в 1991–2006 гг. и 4 измерения в сутки в 2007–2013 гг.) данных об уровне моря за 1991–2013 гг.

Сгон/нагон считался штормовым, если фактические отметки уровня моря были, соответственно, ниже/выше установленных критических отметок уровня.

В результате проведенного анализа рядов уровня моря в районе МГС Опасное за период 1991–2013 гг. выявлено 19 опасных сгонов и 6 опасных нагонов.

Штормовые сгоны возникают преимущественно (в 52 % случаев) при действии ветра Ю направления со скоростью 6–12 м/с.

В 4 ситуациях (21 % случаев) во время экстремальных сгонов дул ветер ЮЮЗ направления со скоростью 9–11 м/с. При этом 2 раза опасный спад уровня моря спровоцирован ЮЗ ветром со скоростью 8 м/с.

По 1 разу экстремальные понижения уровня возникали при ветрах СЗ, ЮЮВ, ЗЮЗ, ЗСЗ, 3 направлений. Скорость ветра колебалась от 2 до 9 м/с.

Чаще всего опасные сгоны наблюдались в октябре (5 ситуаций) и ноябре (4 ситуации). По 3 штормовых понижения уровня зарегистрировано в марте и апреле.

В январе в 1991–2013 гг. произошло 2 штормовых сгона. По одному опасному сгону пришлось на август и декабрь.

В 50 % случаев штормовые нагоны сопровождались ветром СВ направления со скоростью 6–20 м/с. В 33 % случаев во время опасного повышения уровня наблюдался ветер ССЗ направления 9 м/с, при этом 1 штормовой нагон возник при ветре С направления 8 м/с.

За исследуемый период по 2 раза штормовые повышения уровня фиксировались в апреле и декабре. По одному опасному нагону приходится на май и сентябрь. В другие месяцы подобные штормовые ситуации не наблюдались.

В 50 % случаев штормовым нагонам предшествует ветер ССВ направления.

В 47,4 % случаев перед штормовыми сгонами наблюдался ветер ЮЮЗ направления. В 26,3 % случаев дул южный ветер.

Благодаря сделанным в работе выводам появляется возможность более эффективно планировать берегозащитные мероприятия. Кроме того, полученные результаты полезны для моделирования и прогнозирования штормовых ситуаций, а также при реализации строительных проектов в рассматриваемом районе.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ FNNN-2024-0016.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ АВТОНОМНОЙ СТАНЦИИ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ АЗОВСКОГО МОРЯ

Романчук С.М., Чуфицкий С.В. ✉,
Горбунов Р.И., Аникина Е.А.

ДонГУ, г. Донецк
✉ chufitsky@donnu.ru

Ключевые слова: Азовское море, биомониторинг, флуориметрия, автономная станция многопараметрических измерений.

На базе Донецкого государственного университета совместными усилиями СКТБ «Турбулентность» и кафедры биофизики разработана автономная станция многопараметрических измерений (АСМИ), предназначенная для профилирования морской среды по ряду физических и биологических показателей. Станция состоит из стального каркаса, на котором расположены две пластины с посадочными местами под различные датчики. Перемещение станции осуществляется с помощью механической роликовой системы. В разрабатываемом прототипе трос с механизмом перемещения расположен внутри рамы, что гарантирует удержание троса в правильном положении. На станцию были установлены датчики, разработанные на базе ДонГУ: электромагнитный измеритель скорости течения, погружной FRR-флуориметр, датчик глубины погружения, датчик ориентации зонда в пространстве, а также уже готовые измерители других производителей: датчики окислительно-восстановительного потенциала, pH, электропроводности, растворенного кислорода, мутности. Погружной флуориметр обеспечивает как количественное определение содержания хлорофилла в морской среде, так и регистрацию кривых индукции флуоресценции, что в значительной мере расширяет биоиндикационные возможности флуориметрического метода, давая возможность оценить фотосинтетическую активность природного фитопланктона.

Проведение испытаний экспериментального образца АСМИ можно разделить на два этапа: проведение измерений в распределенных точках исследуемого водного объекта, а также получение профилей морской воды в отдельных мониторинговых точках, которые выбирали по степени удаленности от береговой линии на 1, 2 и 5 км. Все измерения проводили около н.п. Юрьевка и Мелекино в окрестностях Белосарайской косы.

Распределение фитопланктона в исследуемых мониторинговых точках характеризовалось низким содержанием у самой поверхности воды и постепенным повышением на глубине 2–4 м. При этом по мере погружения зонда наблюдалось повышение квантового выхода и фотосинтетической активности клеток фитопланктона.

Среди физико-химических параметров среды наибольшие колебания получены для растворенного кислорода, концентрация которого убывала в придонном слое воды.

Разработанные методики биомониторинга водных объектов и методы обработки получаемых при мониторинге данных, результаты испытаний автономной станции многопараметрических измерений водной среды дают возможность создания на следующем этапе опытного полигона мониторинга прибрежной акватории Азовского моря.

ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОД В РАЙОНЕ ЮБК ПО ДАННЫМ ТЕРМОКОСЫ

Рубакина В.А. ✉, Кубряков А.А., Гайский П.В.

МГИ, г. Севастополь

✉ valenru93@mail.ru

Ключевые слова: суточный ход температуры вод, Черное море, контактные измерения, термокоса.

В представленной работе выполнено исследование суточной изменчивости температуры вод Черного моря в районе Южного

берега Крыма (ЮБК) по контактным измерениям термокосы. Временное разрешение данных – 0,5 с. Данные получены на следующих горизонтах: 0,75 м, 2,25 м, 3,75 м – температура воздуха; горизонты -0,75 м, -2,25 м, -3,75 м, -5,25 м, -6,75 м, -8,25 м, -9,75 м, -11,25 м, -12,75 м, -14,75 м, -15,75 м, -17,25 м, -18,75 м – температура вод. Измерения проведены с 24.08.2021 по 26.11.2023.

Подробно рассмотрена изменчивость температуры вод на горизонте -0,75 м. Анализ показал, что максимальная температура 29 °С на этом горизонте зарегистрирована 22.08.2023 в 16:00, минимальная – 7,4 °С – 10.03.2022 в 23:00. Во временном ходе видны события апвеллингов и экстремальных дневных прогревов. При анализе вертикального распределения температуры можно выделить ряд внутренних волн. Проведено исследование среднего суточного хода для горизонта -0,75 м. Основной вклад в изменчивость температуры вносит сезонный ход. Наибольшие значения температуры зафиксированы в августе и составляют в среднем 26,6 °С (приходятся на послеобеденные часы), а наименьшие температуры наблюдаются в феврале – марте (в ночные – утренние часы) и достигают 8,9–9 °С. Суточный ход наиболее выражен в мае – августе, т. е. в теплый период года. Такая картина распределения среднего суточного хода хорошо согласуется с результатами, полученными по данным сканера SEVIRI для величин температуры поверхностного слоя моря (ТПМ), а также с оценками, полученными по данным термодрифтеров на горизонте 0,2 м.

Для горизонта -0,75 м средний суточный ход выражен во все сезоны года. Суточный максимум температуры приходится на обеденные – послеобеденные часы, различные для каждого месяца. Наибольшие амплитуды среднего суточного хода приходятся на июнь – октябрь, с максимумом в июне. В холодный период года суточный ход выражен гораздо слабее. Для самого нижнего из рассматриваемых горизонтов (18,75 м) средний суточный ход температуры так или иначе выделен для всех месяцев, кроме июля и ноября.

Еще одной особенностью среднего суточного хода для горизонтов верхнего слоя вод является то, что в холодный период

года (ноябрь – март), а также в период, когда начинается постепенное снижение температуры (август – октябрь), в утренние и вечерние – ночные часы температура в нижележащих слоях выше, чем в верхнем слое -0,75 м. С ноября по февраль температура для горизонта -0,75 м выше, чем в нижележащих слоях лишь в дневные часы с 10.00 до 15.00.

В работе также рассмотрены события экстремального дневного прогрева в холодный и теплый период года. Проанализирована их связь с температурой воздуха и полем ветра, а также с температурой вод на различных горизонтах. Подробно исследовано событие зимнего прогрева 21.12.22, когда амплитуда суточного хода достигла 1,3 °С на горизонте -0,75 м. Рассмотрено также событие экстремального прогрева в теплый период года, зафиксированное 27.05.22, с амплитудой суточного хода 5,2 °С.

Отдельная часть работы посвящена исследованию зависимости температуры и амплитуды суточного хода температуры от скорости ветра и горизонта измерений в различные месяцы года.

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

НАБЛЮДЕНИЕ ЗА АПВЕЛЛИНГАМИ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЮБК В 2024 ГОДУ

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

МГИ, г. Севастополь

✉ valenru93@mail.ru

Ключевые слова: Черное море, температура поверхности моря, апвеллинг, контактные измерения, спутниковые данные, термокоса.

Мониторинг состояния прибрежных зон моря, таких как Южный берег Крыма (ЮБК), важен для понимания и прогнозирования происходящих в них процессов и явлений, их влияния на

окружающую среду. Большую роль здесь играет береговой апвеллинг, который является важным фактором, обеспечивающим подъем глубинных вод, обогащенных питательными веществами, к поверхности.

В целях постоянного мониторинга термических процессов в прибрежной акватории Крыма в настоящей работе было продолжено исследование пространственно-временной изменчивости температуры поверхности моря (ТПМ) в районе ЮБК, также являющегося активной рекреационной зоной.

Целью работы является исследование изменчивости ТПМ в прибрежной зоне ЮБК за 2024 гг.

Использованы контактные данные ежедневных инструментальных береговых измерений ТПМ, производящихся на базе Черноморского гидрофизического подспутникового полигона Морского гидрофизического института (ЧГПП МГИ) (пгт. Кацивели, Ялтинский район) в районе мыса Кикенеиз. Измерения производятся в 08:00, 14:00 и 17:00 по местному времени на глубине около 1 м.

Для исследования пространственно-временной изменчивости апвеллингов использовались данные сканера SEVIRI (спутника Meteosat на геостационарной орбите) с временным разрешением 1 час и пространственным разрешением 5 км. Из массива данных SEVIRI были выделен прибрежный район с координатами от 33,92° до 34,06° в. д., с 44,31° по 44,39° с. ш., для которого производилось осреднение ТПМ по пространству.

К анализу ситуаций также привлечены данные термокосы, работающей на океанографической платформе на базе ЧГПП МГИ в пгт. Кацивели. Дискретность измерений равна 10 минут. Результаты этих измерений хорошо согласуются с данными ежедневных береговых наблюдений за ТПМ на ЧГПП МГИ.

При сопоставлении данных по температуре моря за 60 лет (1964–2023 гг.) по береговым измерениям в пгт. Кацивели, установлено, что 2024 год был достаточно теплым, когда значения ТПМ превышали среднеклиматические значения для исследуемого района на 2,7 °С.

По данным береговых наблюдений в 2024 г. выделен один полный апвеллинг, который наблюдался с 16 по 19 июня. Минимум ТПМ при данном событии зафиксирован 17 июня в 8:00 и

составил 14,6 °С. Амплитуда апвеллинга – 9,8 °С. По данным спутникового мониторинга также зафиксировано понижение ТПМ с минимальным значением 19,1 °С.

Датчики термоксы зафиксировали понижение температуры моря на верхних горизонтах, начиная с 16 июня. Сбой в работе прибора не позволил получить полную характеристику данной ситуации апвеллинга.

По результатам ряда исследований для акватории ЮБК около 30 % ситуаций апвеллингов зафиксированы именно в июне, что связано с высокой повторяемостью ветров с западной составляющей в векторе скорости у Южного берега Крыма именно в этом месяце года (превышает 60 %). Для июня 2024 г. повторяемость западных ветров составила лишь 20 % от общего числа ветров, что не создало достаточных условий для развития ситуаций, благоприятных для многократных возникновений апвеллингов.

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

ПРОЯВЛЕНИЯ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ АВАЧИНСКОГО ЗАЛИВА ПО ДАННЫМ ОПТИЧЕСКИХ СПУТНИКОВЫХ СЕНСОРОВ

Свергун Е.И. ✉, Глухов В.А.

ИО РАН, г. Москва

✉ egor-svergun@yandex.ru

Ключевые слова: короткопериодные внутренние волны, Авачинский залив, Sentinel-2, фронтальные зоны, речные плюмы.

Авачинский залив у полуострова Камчатка отличается сложной батиметрией с узким шельфом, крутым материковым склоном и выраженной приливной динамикой. Эти условия способствуют генерации короткопериодных внутренних волн (КВВ), ранее изучавшихся преимущественно по радиолокационным изображениям (РЛИ) с разрешением 20–150 м. Настоящее

исследование впервые применяет оптические данные спутников Sentinel-2A/B (сенсор MSI, с разрешением 10 м) для анализа КВВ в прибрежной зоне залива. Высокое пространственное разрешение позволило детектировать волны длиной менее 100 м и исследовать их связь с полями взвешенного вещества, что недоступно при использовании РЛИ.

В работе использовалось 12 безоблачных изображений прибора MSI спутников Sentinel-2A/B, покрывающих акваторию Авачинского залива за период с июня по сентябрь 2018 г. Производилось построение цветосинтезированных изображений в естественных цветах, на которых визуальнo регистрировались проявления КВВ в виде чередующихся дугообразных светлых и темных полос. Регистрировалось положение проявлений, протяжённость дуги их лидирующего гребня, расстояние между полосами, ассоциируемое с длиной волны КВВ, а также направление распространения по ориентации проявления и кривизне его дуги. Для случаев наблюдения КВВ в областях повышенной яркости белого или зелёного цвета при помощи алгоритма C2RCC в ПО ESA SNAP выполнялся расчёт концентрации суммарного взвешенного вещества и хлорофилла-*a* для фрагментов, содержащих проявления КВВ.

В результате работы в прибрежной зоне Авачинского залива на 12 изображениях прибора MSI было выявлено 116 проявлений КВВ. Характерной особенностью, которая не выявлялась по данным предыдущих исследований, является наличие двух групп проявлений КВВ. Первая регистрируется над крутым материковым склоном – пакеты КВВ распространяются к берегу, имеют длину волны от 200 до 400 м и длину дуги лидирующего гребня от 15 до 20 км. Вторая группа регистрируется над шельфом – проявления распространяются как к берегу, так и от него, имеют длину волны от 50 до 150 м и длину лидирующего гребня от 2 до 10 км. Выраженная дифференциация характеристик проявлений КВВ над областью материкового склона и шельфа может указывать на различную природу КВВ. Крупные КВВ над материковым склоном, как было показано в предыдущих исследованиях, могут иметь приливное происхождение. Детальный анализ спутниковых снимков в видимом диапазоне показал, что часто проявления КВВ с малыми размерами регистрируются в

области плюмов рек Налычева и Вахиль, а также в области резкого градиента цвета морской воды, что может быть связано с наличием фронтальных зон. В области речных плюмов проявления КВВ наблюдаются и в поле концентрации взвешенного вещества, рассчитанного по алгоритму C2RCC, что может указывать на влияние проявлений КВВ в прибрежной зоне Авачинского залива на перераспределение взвеси.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для ИО РАН (тема № FMWE-2024-0028).

ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ ВБЛИЗИ КАВКАЗСКОГО И КРЫМСКОГО ШЕЛЬФА ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В 135 РЕЙСЕ НИС «ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ»

**Свергун Е.И.¹✉, Шарафутдинова Т.К.¹, Глухов В.А.¹,
Помогаева Т.В.², Глитко О.В.², Паничева Е.Д.¹**

¹ ИО РАН, г. Москва

² ИнБЮМ, г. Севастополь

✉ egor-svergun@yandex.ru

Ключевые слова: короткопериодные внутренние волны, Чёрное море, температура воды, инерционные внутренние волны, шельф, контактные измерения.

Чёрное море является бесприливным водоёмом с ограниченной связью с Мировым океаном. Короткопериодные внутренние волны (КВВ) возникают здесь в основном при распаде инерционных внутренних волн (ИВВ) на шельфе, при воздействии анемобарических колебаний на морскую поверхность, при распространении речных плюмов или мезомасштабных вихрей. Широкий спектр механизмов генерации КВВ требует проведения натурных исследований в различных районах моря. Предыдущие исследования выполнялись в основном со стационарных платформ на ограниченных по пространству участках акватории. В

данной работе будут рассмотрены результаты натурных измерений КВВ в различных районах Черного моря вблизи Кавказского и Крымского шельфа.

Натурные исследования выполнялись в мае–июне 2025 года в рамках 135 рейса НИС «Профессор «Водяницкий» при помощи термопрофилирующих линий дрейфующих буёв «Волна ДБ01» и «Волна ДБ02» (ООО «Марлин-Юг», г. Севастополь, Россия), состоящих из 18 и 30 датчиков температуры, соответственно. Измерения выполнялись в дрейфе над материковым склоном около г. Геленджика и г. Адлера. С заякоренного судна измерения выполнялись над шельфом в Коктебельском заливе, Судакской бухте, вблизи г. Алушты, Гурзуфа и Ялты. Длительность измерений составила от 4 до 20 часов, при суммарной продолжительности 68 часов. Совместно с измерениями термопрофилирующими линиями производилась регистрация положения звукорассеивающих слоёв (ЗРС) при помощи эхолота Simrad EK-500 (США), а также оценка изменчивости гидрооптических характеристик приповерхностного слоя при помощи судового поляризационного лидара ПЛД-1 (ИО РАН, Россия). Привлекались результаты CTD-зондирований зондом SBE25 с прозрачномером (США).

Во время измерений отмечался выраженный термоклин, совпадающий с пикноклином, и зачастую прижатый к поверхности. В районах над материковым склоном около г. Геленджика и Адлера были зарегистрированы КВВ с амплитудами до полутора метров и длительностью 5–15 минут. Наличие мелко залегающего пикноклина позволило зарегистрировать схожие по длительности колебания при помощи судового лидара. В шельфовых районах Крыма были зарегистрированы КВВ с амплитудой до 2,5 метров и длительностью 3–20 минут в виде изолированных пакетов, в которых амплитуда ранжировалась от лидирующей волны к замыкающей. Во время длительных измерений в Коктебельском заливе было выявлено, что такие пакеты возникают на фоне длиннопериодных колебаний изотерм, которые могут быть связаны с ИВВ. Схожие по форме колебания ЗРС были зарегистрированы при помощи эхолота.

Результаты доказывают эффективность мобильных платформ для изучения нестационарных процессов в морях.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для ИО РАН (тема № FMWE-2024-0028).

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ ОБЬ-ЕНИСЕЙСКОГО РЕГИОНА КАРСКОГО МОРЯ

Ситак Н.П. ✉, Петренко Л.А., Козлов И.Е.

МГИ, Севастополь
✉ java.javasik@gmail.com

Ключевые слова: ледовые условия, спутниковые радиолокационные снимки, Обь-Енисейский регион, Карское море.

В рамках исследования проведен анализ изменчивости ледовых условий Обь-Енисейского устьевого региона Карского моря в 2024 г. Для анализа ледовой обстановки использовались радиолокационные снимки уровня L1 со спутника Sentinel-1, полученные через платформу Alaska Satellite Facility, охватывающие период с января по декабрь 2024 г. Обработка данных проводилась с использованием программных средств SNAP и MATLAB, что позволило визуализировать распределение и динамику ледового покрова. Анализ метеорологических факторов, таких как температура воздуха и ветровой режим, проводился на основе данных метеостанций. Результаты исследования выявили высокую зависимость ледовой обстановки от ветрового режима, оказывающего влияние на процессы образования, перемещения и таяния льда. Наибольшая сплоченность льдов (до 90 %) наблюдалась в Гыданской губе, где лед сохранялся дольше всего из-за особенностей водообмена. Ледообразование преимущественно начиналось в восточной части региона (Енисей и Гыданская губа) и распространялось на запад, что связано с большим стоком Енисея и Гыдани. Продвижение льдов сдерживалось усилением теплого течения с западными ветрами. Полыньи чаще формировались в районе Ямала под действием сильных отжимных ветров южных румбов. Полученные данные показывают высокую динамику ледовых процессов и их значимость для обеспечения безопасности судоходства и экологического мониторинга в условиях меняющегося климата и возрастающей антропогенной нагрузки.

Настоящее исследование выполнено в рамках темы государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ № FNNN-2024-0017.

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ СЕТЬ НАБЛЮДЕНИЙ ЛАГРАНЖЕВЫХ ЛЕДОВЫХ БУЕВ ЭКСПЕДИЦИИ «СЕВЕРНЫЙ ПОЛЮС-41» 2022–2024 ГГ.: ИТОГИ РАБОТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Смоляницкий В.М. ^{1✉}, Безгин А.А. ², Лунев Е.Г. ²

¹ ААНИИ, г. Санкт-Петербург

² СевГУ, г. Севастополь

³ ООО «Марлин-Юг», г. Севастополь

✉ vms@aari.ru

Ключевые слова: СЛО, распределенная сеть наблюдений, лагранжевые ледовые буи, Северный полюс-41.

При общей теплеющей наземной и морской Арктике, сокращающихся ледовитости, сплоченности и толщинах льда наблюдается повышенная внутригодовая и межгодовая изменчивость параметров приземной атмосферы, полярного океана и морского льда. В условиях мобильного ледяного покрова для анализа и прогноза погоды, верификации данных ИСЗ и модельных расчетов требуется устойчивая сеть наблюдений значимых морских метеорологических переменных, что достижимо только с помощью ледостойких дрейфующих буев, обеспечивающих их долговременный оперативный и климатический мониторинг.

В рамках данного подхода ФГБУ «ААНИИ» в период экспедиции «Северный полюс-41» (СП-41) 2022–2024 гг. была сформирована в высокоширотной Арктике и поддерживалась распределенная сеть наблюдений (РСН) на основе 40 лагранжевых ледовых буев различных типов – от базовых барометрических дрейфтеров до океанических термопрофилирующих до глубины 80 м буев, на основе линии приборов российского производителя «Марлин-Юг», адаптированной к полярным условиям по транспортировке, малогабаритности, годовичному циклу работы, автономности по связи, ледостойкости и ряду других параметров.

Эксплуатация РСН охватила два сезонных цикла замерзания/таяния морского льда осени 2022–осени 2024 гг. при

итоговых параметрах эксплуатации (мин./сред./макс.): продолжительности работы 151/346/760 суток, длине дрейфа 751/3743/8900 км, температуре поверхности $-40,0/-7,2/+20,0$ °С, давлении на уровне моря 955,6/1013,4/1053,9 гПа и скоростях дрейфа 0/11,1/99,8 км/сут. Первичной средой эксплуатации РСН являлись узлы мезомасштабного полигона на расстояниях от 8 до 100 км от центральной точки – судна-обсерватории «Северный полюс» на полях заснеженного однолетнего толстого и остаточного льда, трансформировавшиеся в сезонных циклах в снежницы – проталины – смерзшийся лёд и с расхождением соседних узлов на расстояния до 1500 км.

Наблюдаемые оперативно с дискретностью 10–60 мин. параметры включили для динамики морского льда – дрейф, оценки дивергенции и приливных колебаний, для термики – теплообмен в приповерхностном и активном слое и оценки толщин льда. На основе анализа технических параметров не выявлено отказов, связанных с неисправностью электроники и датчиков буев, т. е. окончание срока службы или отказ датчиков были связаны с естественными причинами – выработкой ресурса питания или экстремальным воздействием ледяного покрова (наслоение, торшение, примерзание в снежницах).

Перспективы развития РСН связаны с поддержкой экспедиций СП, включая текущую СП-42, формированием морского компонента сети наблюдений Росгидромета в АЗРФ, увеличением ледостойкости и развитием измерительного функционала и систем сбора данных, в том числе в части солености воды, оценки типа среды и технологий IoT.

Работа выполнена в рамках плановой научной тематики ААНИИ по теме 5.1 Плана НИТР Росгидромета 2025–2029 гг. (рег. номер в ЕГИСУ НИОКТР: 125040704938-7).

ВАЛИДАЦИЯ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕРМИЧЕСКИХ И ТЕРМОХАЛИННЫХ ДАННЫХ ERA5 И CMEMS ПО ПРЯМЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ СЕТИ ЛАГРАНЖЕВЫХ БУЕВ ЭКСПЕДИЦИИ «СЕВЕРНЫЙ ПОЛЮС-41»

Смоляницкий В.М. ^{1✉}, **Даньшина А.В.** ¹, **Толстошеев А.П.** ²

¹*ААНИИ, г. Санкт-Петербург*

²*СевГУ, г. Севастополь*

✉ vms@aari.ru

Ключевые слова: СЛО, приповерхностный слой, температура льда, термohалинные характеристики, ERA5, CMEMS, буйковые наблюдения, Северный полюс-41.

Адекватное представление параметров СЛО в современном численном реанализе, анализе и прогнозе при ограниченном объеме морской метеорологической и океанографической информации, доступной для ассимиляции и валидации, является ключевым как для прикладных целей оценки взаимодействия океана и атмосферы при прогнозе погоды различной заблаговременности, так и для понимания происходящих изменений состояния СЛО в современную климатическую эпоху.

В настоящей работе рассматриваются результаты валидации модельных данных по температуре морского льда и приповерхностным температуре и солёности воды реанализа ERA5 C3S (Copernicus Climate Change Service) и анализа и прогнозирования Мирового океана CMEMS (Copernicus Marine Environment Monitoring Service) по прямым измерениям распределенной сети наблюдений (РЧН) лагранжевых буйев экспедиции «Северный полюс-41» (СП-41) в высокоширотной области СЛО в период осени 2022 – весны 2024 гг.

В качестве модельной 1–6 часовой информации использованы реанализ ERA5 послойной температуры морского льда и анализ и прогноз CMEMS 3-х мерных полей температуры и солёности. По обоим указанным продуктам выполнена выборка данных, наиболее близких по пространству к измерениям буйев. В качестве

прямых измерений использованы 1-часовые данные по температуре льда и температуры и солёности воды на фиксированных горизонтах приповерхностного слоя до горизонта 500 см с помощью автоматических буев типов iceBTC и iceSVT РСН СП-41 производства ООО «Марлин-Юг» (г. Севастополь). Измерения температуры выполнялись на основе интегральных цифровых термометров, общей солёности воды – по SVT-технологии согласно принятой МОК ЮНЕСКО методике.

На основе STD-зондирования на сопоставимых фиксированных горизонтах у центрального судна-обсерватории выполнено объективное оценивание достоверности данных буев по температуре и солёности в реальных условиях применения и, как следствие, подтверждена долговременная стабильность их характеристик.

Сравнительный анализ профилей температуры льда и воды в целом для периода 2022–2024 гг. показал сопоставимость выявляемых черт вертикального распределения температуры в данных измерений и модельных данных ERA5 и CMEMS, хотя и закономерно больший размах внутри- и межсуточных колебаний данного параметра для буйковых наблюдений. Сравнительный анализ данных CMEMS и буев для наиболее информационно-насыщенного периода лета – осени 2023 г. показал значимое для приповерхностной солёности занижение значений в модельных данных и их слабую корреляцию с измерениями, а для модельной температуры – завышение значений, но их хорошую взаимосвязь с измерениями.

Полученные результаты показывают важность привлечения прямых измерений буев при оценке неопределённости модельных данных при мониторинге состояния СЛО и климатическом обслуживании в Арктике.

Работа выполнена в рамках плановой научной тематики ААНИИ по теме 3.1.6 Плана НИТР Росгидромета 2025–2029 гг. (рег. номер в ЕГИСУ НИОКТР: 125032804588-8).

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ АЗОВСКОГО МОРЯ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

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

МГИ, г. Севастополь

✉ sstanichny@mail.ru

Ключевые слова: Азовское море, температура поверхности, спутниковые данные, дневной прогрев, ледяной покров.

Азовское море – мелководный бассейн, гидрологические и биологические характеристики которого подвержены влиянию стока рек Дон и Кубань. Рассмотрены изменения температуры поверхностного слоя в центральной части Азовского моря и в Таганрогском заливе на основе данных сканера MODIS с 2003 по 2024 гг. Показаны особенности в годовом ходе температур в указанных акваториях: при почти одинаковых амплитудах годового хода вода в Таганрогском заливе раньше прогревается весной и быстрее остывает в осенний сезон. При общем прогреве вод за рассматриваемый период тренды для различных месяцев существенно отличаются: в апреле и ноябре величина положительного тренда достигает $0,013\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{год}$, а в октябре тренд отрицательный $-0,05\ldots -0,08\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{год}$. Отмечено сокращение периода ледяного покрова или его полное отсутствие в последние годы. На основе комплексного анализа данных сканера SEVIRI рассмотрены ситуации аномального дневного прогрева с привлечением данных о скорости ветра и карт температуры сканеров AVHRR. В штилевых условиях амплитуда дневного прогрева может достигать $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Показано возможное влияние мутности вод и наличия цианобактерий с поглощающими в оптическом диапазоне пигментами на амплитуду суточного хода температуры.

Работа подготовлена при финансовой поддержке Минобрнауки России (Соглашение № 075-15-2024-528 от 24.04.2024 г. на реализацию КНП)

АНОМАЛИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ В ОТКРЫТОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ, ВЫЗЫВАЕМЫЕ ЛОКАЛЬНЫМИ ОСОБЕННОСТЯМИ ПОЛЯ ВЕТРА

**Станичный С.В. ✉, Станичная Р.Р.,
Давыдова Е.П., Рубакина В.А.**

МГИ, г. Севастополь
✉ sstanichny@mail.ru

Ключевые слова: температура поверхности моря, спутниковые данные, локальные особенности ветра.

Быстрые изменения температуры поверхностного слоя Черного моря в тёплый сезон под действием ветра хорошо изучены для прибрежных апвеллингов. Однако локальные особенности поля ветра могут вызывать резкие понижения температуры и в открытой части Черного моря. Физическими процессами, отвечающими за такие изменения, являются вертикальные скорости как результат Экмановской накачки и штормовые ветры, вызывающие перемешивание верхнего слоя с водами термоклина. На основе спутниковых данных сканеров MODIS, VIIRS, AVHRR, TIRS, SLSTR рассмотрены причины и характеристики для ряда таких аномалий. Локальные атмосферные вихри в конце сентября 2005 г. и в начале октября 2024 г. в западной части моря вызывали холодные аномалии величиной до 10 °С. Штормовые ветры в сентябре 2014 г. вызвали аномальное охлаждение моря в северо-восточной части моря, область охлаждения хорошо совпадает с зоной Экмановского подъема вод. Во всех случаях подъем и перемешивание вод вызвали изменения оптических свойств поверхностного слоя моря. Рассмотрены ситуации с локальным воздействием ветровой струи (фёна) из Колхидской долины. В этом случае аномальная область температуры была меньше по площади, но аномалия достигала величин 8–10 °С. На основе данных сканера SEVIRI рассмотрен процесс развития аномалий.

ПЕРЕПИСЬ МЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ ЛАГРАНЖЕВА АНАЛИЗА И СУДОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

**Удалов А.А. ✉, Лобанов В.Б., Ладыченко С.Ю.,
Будянский М.В., Пранц С.В., Салюк А.Н.**

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток

✉ udalov.aa@poi.dvo.ru

Ключевые слова: Японское море, мезомасштабные вихри, перепись, кинематические и термохалинные свойства.

На основе анализа спутниковой альтиметрии за период с 1993 по 2022 год с использованием алгоритма автоматического детектирования вихрей AMEDA был проведен систематический учет вихрей Субполярного фронта в северо-западной части Японского моря. Исследование выявило две зоны с аномально высокой повторяемостью антициклонических вихрей (АВ) и три зоны с повышенной частотой циклонических вихрей (ЦВ). За 30-летний период в этих зонах было идентифицировано 79 АВ и 116 ЦВ, существовавших дольше 30 суток. Большинство вихрей не совершало значительных перемещений, циркулируя и распадаясь преимущественно в районах своего возникновения. Эти вихри характеризуются медленным движением: средняя поступательная скорость составила 4,7 км/сутки для АВ и 6,5 км/сутки для ЦВ. Продолжительность жизни фронтальных мезомасштабных вихрей варьировалась от 1 до 12 месяцев со средними значениями 3,1 месяца для АВ и 2,7 месяца для ЦВ. Их размеры (радиус) находились в диапазоне от 30 до 140 км, в среднем составляя 62 км для АВ и 72 км для ЦВ. Анализ параметра нелинейности показал, что подавляющее большинство вихрей (85 % АВ и 65 % ЦВ) являются нелинейными и способны захватывать и переносить водные массы в своих ядрах. Наблюдалась выраженная сезонность в образовании долгоживущих АВ: 71 % из них формировались в холодный период года (сентябрь–апрель). Эта особенность связана с муссонным режимом ветров, преобладанием северо-западных и северных ветров в холодное

время года, создающих благоприятные условия для генерации АВ в западном районе (131–132° в. д.). В отличие от АВ, формирование и распад ЦВ происходили равномерно в течение всего года.

Для углубленного анализа характеристик отобранных вихрей использовались данные судовых и спутниковых наблюдений в сочетании с Лагранжевым анализом. Исследование было сосредоточено на их термохалинных свойствах, вертикальной структуре, генезисе и изменчивости. Было установлено, что эти свойства существенно различаются для вихрей, формирующихся в выявленных ранее зонах. С помощью Лагранжева метода отслеживания частиц оценено содержание вод субтропического и субарктического происхождения в поверхностных ядрах вихрей и его временная изменчивость.

Работа выполнена в рамках поддержки гранта РФФИ (№ 23-17-00068).

ОСОБЕННОСТИ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОД И ЕЕ СВЯЗЬ С ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ХОЛОДНОГО ПРОМЕЖУТОЧНОГО СЛОЯ В РАЙОНЕ МАТЕРИКОВОГО СКЛОНА У БЕРЕГОВ КРЫМА ПО ДАННЫМ КОНТАКТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

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

МГИ, г. Севастополь
✉ vault102@gmail.com

Ключевые слова: Черное море, гидрологические измерения, скорость и направление течений, холодный промежуточный слой.

Представлены результаты анализа циркуляции вод и ее связи с характеристиками холодного промежуточного слоя (ХПС) в районе материкового склона у берегов Крыма по данным гидрологических измерений, выполненных в ходе 28-ми рейсов НИС

«Профессор Водяницкий» в период 2016–2024 гг. Измерения скорости течений выполнялись профилографом ADCP WORKHORSE-300 kHz, температуры воды – CTD комплексом IDRONAUT OCEAN SEVEN 320 PlusM. Анализ температуры, модуля скорости и направления течений проводился на 230 вертикальных профилях от поверхности до 200 м по данным измерений на станциях, расположенных над изобатами 200–1500 м.

Показано, что по данным большинства станций в верхнем 200-метровом слое выявлены два основных максимума скорости, значения которых составляли 10–35 м/с. Глубина верхнего максимума скорости изменялась от поверхности до 80–100 м, глубина нижнего максимума – от 50–60 м до 170 м. Осредненные по данным всех станций значения глубин максимумов скорости составляли соответственно 39 м и 108 м. Глубина залегания ядра ХПС изменялась от 50 м до 150 м, средняя глубина составляла 90 м, т. е. ядро ХПС располагалось между двумя основными максимумами скорости. Анализ повторяемости направления течений с дискретностью по глубине 1 м для всего верхнего 200-метрового слоя показал два основных максимума. Наибольшая повторяемость выявлена для направлений в 180–315 градусов, характеризующих юго-западные, западные и северо-западные течения, соответствующие потоку Основного черноморского течения (ОЧТ). Второй, более слабый максимум повторяемости соответствует 45–90 градусам и характеризует потоки северо-восточного и восточного направления. Подобный характер циркуляции свидетельствует о том, что над свалом глубин наблюдались северо-западная и северная периферии антициклонических меандров или круговоротов, формирующихся справа от основной струи ОЧТ. Эти два основных типа циркуляции вод (поток ОЧТ или периферии антициклонических вихрей) прослеживались в слое, охватывающем глубину залегания ядра ХПС, при этом ядро ХПС располагалось между двумя максимумами модуля скорости потоков независимо от их направления.

Совместный анализ временных рядов значений двух максимумов модуля скорости и скорости на глубине залегания ядра ХПС и температуры в ядре ХПС не выявил связи между этими параметрами. В распределении температуры в ядре ХПС по данным

всех станций содержится значимый линейный тренд, характеризующий общую тенденцию ее долгопериодной изменчивости за 2016–2024 гг., тогда как в распределениях значений максимумов скорости и скорости на глубине залегания ядра ХПС наблюдается квазипериодичность с интервалом примерно 1–2 года без явно выраженных трендов. Оценки согласованности временных изменений значений верхнего и нижнего максимумов скорости и скорости на глубине залегания ядра ХПС показали, что между этими параметрами наблюдается значимая линейная корреляция (значения R достигают 0,63–0,7), т. е. во всем верхнем 200-метровом слое, охватывающем ХПС, скорости потоков в период 2016–2024 гг. изменялись квазисинхронно.

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

КОМПЛЕКСНЫЕ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЮЖНОМ ОКЕАНЕ В РАМКАХ МЕЖДУНАРОДНОЙ АНТАРКТИЧЕСКОЙ ВДОЛЬБЕРЕГОВОЙ КРУГОСВЕТНОЙ ЭКСПЕДИЦИИ

**Федотова А.А.^{1,2,3}✉, Швед Я.В.¹, Петрова А.А.¹,
Куссе-Тюз Н.А.¹, Кашин С.В.¹**

¹ ААНИИ, г. Санкт-Петербург

² ИО РАН, г. Москва

³ МГУ, г. Москва

✉ fedotovalina@ocean.ru

Ключевые слова: Южный океан, водные массы, ААДВ, хлорофилл-а, биогенные вещества, ICSE.

В рамках океанографической программы Арктического и антарктического научно-исследовательского института в Международной антарктической вдольбереговой кругосветной

экспедиции (International Antarctic Coastal Circumnavigation Expedition / ICCE) в ноябре–январе 2024–2025 гг. с борта НЭС «Академик Трёшников» выполнены комплексные океанографические исследования в атлантическом секторе Южного океана, в морях Лазарева, Рисер-Ларсена, Содружества, Моусона, Дюровия и Росса, и попутные исследования распределения гидрохимических и гидробиологических характеристик на поверхности Южного океана вдоль всей линии маршрута. Также в ходе попутных исследований судовым доплеровским профилографом течений выполнена запись направления и скорости течений в верхнем 700-м слое. В докладе обсуждаются предварительные результаты экспедиции.

Авторы выражают благодарность генеральному координатору экспедиции – профессору Федерального университета Риу-Гранди-ду-Сул, делегату от Бразилии в Научном комитете по антарктическим исследованиям (SCAR), Джефферсону К. Симоес (Jefferson C. Simões), бразильской антарктической программе (PROANTAR) и Полярному и климатическому центру Федерального университета Риу-Гранди-ду-Сул (Centro Polar e Climático, Universidade Federal do Rio Grande do Sul) за организацию экспедиции, а также экипажу НЭС «Академик Трёшников» во главе с капитаном судна Д.А. Карпенко и научно-технической службе под руководством Г.А. Константинова.

Сбор данных и анализ гидрохимических и гидробиологических данных выполнены в рамках Проекта 5.2. «Океанологические, климатические, гляциологические и геофизические исследования в Антарктике и Южном океане» Плана НИТР/ОПР Росгидромета (2025–2029 гг.). Анализ CTD данных выполнен при поддержке гранта РНФ 23-17-00032. Анализ направления и скоростей течений выполнен в рамках госзадания FMWE-2024-0016.

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПОВЕРХНОСТНОЙ СОЛЕННОСТИ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ШЕЛЬФА ЧЕРНОГО МОРЯ

Цыганова М.В. ✉, Лемешко Е.М., Рябцев Ю.Н.

МГИ, г. Севастополь

✉ m.tsyganova@mhi-ras.ru

Ключевые слова: SMOS, поверхностная соленость, речной сток, речной плюм, Черное море, Дунай, Днепро-Бугский лиман, Днестр, спутниковые данные, завихренность, скорость вовлечения.

Работа посвящена оценке применимости спутниковых данных поверхностной солености высокого разрешения (~ 4 км) за 2011–2019 гг. для исследования пространственно-временной изменчивости солености для северо-западного шельфа Черного моря. Для валидации спутниковых данных по солености использовались синхронные контактные измерения поверхностной солености по маршруту следования НИС «Профессор Водяницкий» 23–26.09.2013. В результате получено, что в районах шельфа с наличием халинных фронтов необходимо производить в осенний сезон коррекцию спутниковых данных на величину $+0,58$ ЕПС или воспользоваться приведенным регрессионным соотношением. Для центральной части западного шельфа отмечается рост солености за весь период 2011–2019 гг., выделяются положительные линейные тренды $0,04$ – $0,06$ ЕПС/год. Область отрицательных трендов поверхностной солености $-0,02 \pm 0,01$ локализована у мест впадения рек в море в районах образования их плюмов. Для районов устьев Дуная и Днестра получены согласованные оценки трендов спутниковой солености и расходов рек за период 2011–2019 гг. Спутниковая соленость S , осредненная вокруг устья Дуная, растет с коэффициентом тренда $0,02$ ЕПС/год, что в основном обусловлено отрицательным трендом расхода Дуная $(-70,3 \pm 35,9)$ ($\text{м}^3/\text{с}$)/год. Для уровня значимости $p < 0,05$ получено регрессионное соотношение зависимости солености S от величины суточного стока Дуная Q :

$S = (-7,7 \pm 3,0) \cdot 10^{-6} \cdot \text{QEPC} / (\text{м}^3/\text{с}) + (16,4 \pm 0,02) \text{ ЕПС}$, которое имеет прогностическое значение. На основе сопоставления спутниковых данных с гидрологическими разрезами солёности по глубине показана применимость соотношения зависимости глубины плюма от расстояния до морской границы плюма, что позволяет оценивать вертикальную структуру плюма по пространственному распределению поверхностной солёности в случае слабых ветров до 5 м/с. Показана возможность оценивания вертикальной скорости вовлечения как функции солёности верхнего слоя, стока реки и изменения площади области с заданной изохалиной. Рассчитана характерная величина скорости вовлечения $w_e = 1,22 \cdot 10^{-6} \text{ м/с}$. Данные поверхностной солёности, рассчитанные по спутниковой информации, открывают перспективу более детального изучения фронтогенеза и эволюции речных плюмов на северо-западном шельфе Черного моря.

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВНУТРЕННИХ ВОЛН ПО АНОМАЛИЯМ ВЫСОТЫ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА, ИЗМЕРЕННЫМ SWOT

Чешм Сиахи В. ¹✉, Кудрявцев В.Н. ^{1,2},
Шапрон Б. ³, Коллар Ф. ⁴

¹ РГГМУ, г. Санкт-Петербург

² МГИ, г. Севастополь

³ OceanDataLab, Локмарья-Плузана, Франция

⁴ IFREMER, Плузана, Франция

✉ vahid@rshu.ru

Ключевые слова: внутренние волны, SWOT, KaRIn, Амазонский шельф, аномалии высоты поверхности океана, линейная теория внутренних волн, смещения пикноклина.

Представлены результаты анализа наблюдения внутренних волн (BV) в районе Амазонского шельфа со спутника Surface

Water and Ocean Topography (SWOT), являющегося радиолокационным интерферометром Ка-диапазона (KaRIn). KaRIn наблюдает морскую поверхность в диапазоне углов падения от -4° до $+4^\circ$ с пространственным разрешением 250 м.

ВВ отчётливо проявляются в полях аномалий высоты поверхности океана (SSHA), регистрируемых SWOT, в виде периодических структур с длиной волны от 3 до 50 км и амплитудой SSHA до 15 см. Для восстановления смещений пикноклина по измеренным SSHA использовалась линейная теория ВВ и трёхслойная аппроксимация стратификации океана, моделирующая сезонный и главный пикноклины и абиссаль. На основе данной модели получены аналитические выражения для связи SSHA с амплитудой смещений пикноклина и описания профилей вертикальной скорости ВВ и дисперсионного соотношения.

Используя восстановленные вертикальные скорости и кинематические характеристики ВВ (длину волны и фазовую скорость), вычислялись вертикальные смещения слоёв в океане, вызванные прохождением ВВ. По результатам анализа восстановлены поля смещений пикноклина в наблюдаемых пакетах ВВ и одиночных ВВ. Установлено, что при измеряемой амплитуде SSHA порядка 15 см амплитуда вертикальных смещений главного пикноклина во ВВ может достигать 80 метров при длине волны около 10 км. Обсуждается возможность восстановления параметров вертикальной стратификации океана по наблюдениям кинематики пакетов ВВ, генерируемых полусуточным приливом.

Представленный подход расширяет потенциал спутниковых наблюдательных систем для изучения внутренней динамики океана, циркуляции и процессов вертикального переноса.

Результаты, представленные в данной работе, получены при поддержке Министерства науки и высшего образования России, Госзадание FSZU-2025-0005 в РГГМУ и FNNN-2024-0001 в ФГБУН ФИЦ МГИ, проектом ERC 856408-STUOD и Контрактом ESA № 4000135827/21/NL-Harmony Science Data Utilization and Impact Study for Ocean.

ПРОЯВЛЕНИЯ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В «ШЕРОХОВАТОСТИ» ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА ПО ДАННЫМ SWOT

Чешм Сиахи В. ^{1✉}, Кудрявцев В.Н. ^{1,2},
Шапрон Б. ³, Коллар Ф. ⁴

¹ РГГМУ, г. Санкт-Петербург

² МГИ, г. Севастополь

³ OceanDataLab, Локмарья-Плузане, Франция

⁴ IFREMER, Плузане, Франция

✉ vahid@rshu.ru

Ключевые слова: внутренние волны, Амазонский шельф, среднеквадратичный наклон поверхности, SWOT, взаимодействие поверхностных волн с течениями.

Представлены результаты исследования проявления внутренних волн (ВВ) на поверхности океана в районе Амазонского шельфа, полученные по данным миссии Surface Water and Ocean Topography (SWOT). SWOT предоставляет уникальную комбинацию полей контрастов мощности отраженного сигнала (УЭПР) и аномалий высоты поверхности океана, связанных с прохождением ВВ. Такая комбинация позволяет получить полное представление о физике формирования поверхностных проявлений ВВ.

В данной работе выполнен анализ проявления ВВ в УЭПР, измеряемой SWOT. Анализ основан на приближении геометрической оптики, где контрасты УЭПР обусловлены вариациями среднеквадратичного наклона поверхности (MSS). Вариации MSS, в свою очередь, связаны с трансформацией ветровых волн на течениях, индуцируемых ВВ на поверхности, что в конечном итоге приводит к их отображению в сигнале SWOT. SWOT-данные демонстрируют, что наибольшие контрасты УЭПР, вызванные ВВ, наблюдаются при слабом ветре (менее 5 м/с). Показано, что совпадение направления распространения ВВ с

направлением ветра также приводит к усилению контрастов MSS и УЭПР, что является следствием реализации механизма резонансного взаимодействия между ветровыми волнами и ВВ. Получены экспериментальные оценки модуляционной передаточной функции (МПФ), описывающей зависимость вариаций УЭПР от амплитуды скорости орбитальной скорости ВВ на поверхности (рассчитываемой по измеряемым аномалиям высоты поверхности океана, SSHA), длины волны ВВ и ее фазовой скорости, скорости ветра.

Данные измерений проинтерпретированы с использованием разработанной ранее модели формирования PCA изображения поверхностных течений (RIM). Сопоставление RIM с данными SWOT показало, что модель воспроизводит основные наблюдаемые особенности проявления ВВ и зависимость МПФ от скорости ветра и его направления относительно распространения ВВ.

Результаты, представленные в данной работе, были поддержаны Министерством науки и высшего образования России, Государственным заданием FSZU-2025-0005 в РГГМУ и FNNN-2024-0001 в ФГБУН ФИЦ МГИ, проектом ERC 856408-STUOD и Контрактом ESA № 4000135827/21/NL-Harmony Science Data Utilization and Impact Study for Ocean.

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН МЕТОДОМ ВЗАИМНО КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ МАССИВА ДРЕЙФУЮЩИХ БУЕВ

Шарафутдинова Т.К.^{1✉}, Свергун Е.И.¹, Зимин А.В.¹,
Астапкович А.М.²

¹ ИО РАН, г. Москва

² ООО «ГЕОСКАН», г. Санкт-Петербург

✉ sharafutdinova.taya@yandex.ru

Ключевые слова: короткопериодные внутренние волны, обработка сигналов, температура воды, корреляционная обработка.

Короткопериодные внутренние волны (КВВ) представляют собой специфическое явление в Мировом океане, требующее для оценки его характеристик применения разнесенных в пространстве групп датчиков. При этом используемые обычно методы анализа данных, полученных от удалённых друг от друга датчиков, часто основаны на визуальном анализе записей или их сочетании со статистическими характеристиками, например, скользящей дисперсией. Однако такие подходы имеют ограниченную эффективность в автоматизированных системах мониторинга, что затрудняет своевременное и точное выявление и анализ КВВ.

Целью работы является разработка методики и алгоритмов численной обработки для автоматической оценки параметров КВВ. Разработанная методика базируется на модели плоской волны и использует данные измерительной системы на основе массива дрейфующих буйев. Методика обеспечивает возможность оценки параметров КВВ: направления и скорости распространения. Ключевым элементом подхода является применение метода

взаимно корреляционных функций для определения времени задержки распространения фронта КВВ между точками измерений.

Выполнена оценка чувствительности методики к уровню шума по параметру отношение сигнал/шум для модели гауссового шума с использованием имитационного моделирования. На примере модельной задачи показано, что для модели гауссова шума применение метода взаимно корреляционных функций обеспечивает точность определения задержки не хуже 10 % для отношения сигнал/шум 1,75.

Оценка параметров скорости и направления выполнялась с использованием расчетной схемы в локальной системе координат. Получена система уравнений для скорости и угла распространения КВВ. Описано два варианта решения этой системы. Первый базируется на поиске минимума одномерной функции для уравнения угла распространения. Второй алгоритм использует интервальный метод одновременной оценки угла и скорости распространения КВВ. Интервальный метод обеспечивает получение точности решения системы уравнений.

Предлагаемый подход тестировался для обработки данных, представляющих собой изотермы на глубине залегания термоклина с трех дрейфующих буев «Волна-ДБ 01». Метод был применен к данным, полученным в июле 2024 г. в Карском море. Произведено сравнение результатов оценки параметров скорости и направления распространения КВВ с использованием численного метода и аналитического решения. Рассмотренные варианты решения показывают сходные результаты.

Разработанная методика демонстрирует высокую эффективность и устойчивость к шумовым воздействиям, что подтверждает перспективность внедрения метода в автоматизированных системах оценки анализа характеристик КВВ.

Работа выполнена в рамках государственного задания № FMWE-2024-0028.

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН В МОРСКОМ ЛЕДЯНОМ ПОКРОВЕ НА ОСНОВЕ СЕЙСМОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Шейкин И.Б. ✉, Смирнов В.Н.,
Знаменский М.С., Колабутин Н.В.

АНИИИ, г. Санкт-Петербург
✉ igor.sheikin@mail.ru

Ключевые слова: ледяной покров, волны зыби, фазовая и групповая скорость, триангуляция, экспедиция МОЗАИК.

Волны зыби распространяются во льдах Северного Ледовитого океана на тысячи километров, и их значимая высота может достигать 20 мм и более. Вызванное климатическими изменениями сокращение площади ледяного покрова Арктики стимулирует развитие волновой активности и изучение влияния поверхностных волн на динамические и кинематические характеристики дрейфа и состояние льдов. Мониторинг волновых полей Арктического бассейна становится актуальной задачей климатических проектов. Предлагаемая методика оценки вектора фазовой и групповой скорости поверхностных волн в морском ледяном покрове основана на сейсмических технологиях и является развитием традиционных методов триангуляции применительно к волновым процессам.

С помощью конфигурации из трех сейсмических регистраторов, установленных на поверхности ледяного поля на дистанции 600–700 м, были получены статистические оценки времени задержки фронта поверхностных волн, вектора фазовой и групповой скорости, длины волны, а также оценки методических погрешностей. В работе были использованы результаты наблюдений на ледяном поле МОЗАИК в период трансарктического дрейфа 2019–2020 гг. Методика измерений и расчеты были адаптированы для исследования природы волн зыби и их мониторинга в высоких широтах Северного Ледовитого океана. Полученные оценки показали, что направления векторов фазовой

и групповой скорости практически совпадают и волны зыби с периодом около 30 секунд и длиной около 1150 м поступают в центральную часть Арктического бассейна из Северной Атлантики через глубоководную часть пролива Фрама, пройдя подо льдом более чем 1000 км. Оценки фазовой и групповой скорости длинных волн составили около 38 и 21 м/сек, соответственно, что согласуется с теоретическими расчетами. Рассмотрены дисперсионные свойства волн зыби и представлены оценки дистанции до очага шторма. Обсуждаются вопросы оптимизации измерений. Область практического применения методики может быть значительно шире за счет ее адаптации для анализа изгибно-гравитационных и объемных волн.

АПВЕЛЛИНГИ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ КАЦИВЕЛИ (КРЫМ, ЧЕРНОЕ МОРЕ)

**Шокурова И.Г., Любчик А.И. ✉, Пластун Т.В.,
Касьяненко Т.Е., Симонова Ю.В.**

МГИ, г. Севастополь
✉ *sashalbchk@mail.ru*

Ключевые слова: апвеллинг, направление ветра, повторяемость ветра, температура морской воды, скорость ветра, Черное море.

У Южного берега Крыма летом часто наблюдается понижение температуры воды, вызванное подъемом более холодных вод из нижележащих слоев моря – апвеллингом. В данной работе выполняется статистика числа апвеллингов у пгт. Кацивели и анализируются ветровые условия их возникновения.

Используются данные измерений температуры воды, выполненные на Черноморском гидрофизическом подспутниковом полигоне ФГБУН ФИЦ МГИ. Это измерения температуры морской воды у берега в 1992–2021 гг. и данные термокос, установленных на океанографической платформе, за июнь–август 2013 и 2021–2024 гг. Анализ проводится с применением

ветрового индекса апвеллинга, основанного на расчете экмановского переноса воды от берега или к берегу, в зависимости от направления вдольберегового ветра по методу А. Bakun (1973). Индекс апвеллинга вычисляется по часовым данным о компонентах скорости ветра атмосферного реанализа ERA5 в узлах сетки, ближайших к Кацивели. Предполагается, что береговая линия направлена зонально, а положительные значения индекса соответствуют вдольбереговым ветрам западных направлений, переносу воды от берега и компенсационному подъему нижележащих вод (апвеллингу), а отрицательные значения – противоположным событиям.

Получено, что понижение температуры при апвеллинге начинается с резкого усиления скорости ветра (с ненулевой западной компонентой) в среднем до 5 м/с и выше. Это наглядно демонстрирует скачок положительных значений индекса, предшествующий появлению апвеллинга. Результаты исследования показывают, что апвеллинг формируется при западных ветрах, при этом максимальная активность наблюдается в июне и июле, когда повторяемость этих ветров высока. Проведено сравнение временной изменчивости величины и знака ветрового индекса апвеллинга с изменчивостью интенсивности и продолжительности экмановских апвеллингов. На межгодовых временных масштабах выявлена высокая корреляция между индексом апвеллинга и суммарным за месяц числом измерений с пониженной температурой воды (апвеллинг) по данным июня.

По данным термокос оценивалась скорость подъема вод при полных апвеллингах. В среднем в верхнем слое моря в пределах длины термокосы (18,5 м) скорость подъема вод во время апвеллинга составила около 1 м/час.

Показано, что резкое усиление западного ветра с высокими значениями индекса предшествует возникновению апвеллинга, что может позволить прогнозировать их появление.

Работа выполнена в рамках тем государственных заданий ФГБУН ФИЦ МГИ: FNNN-2024-0014 и FNNN-2024-0016.

РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО ВОЛНЕНИЯ ОДНОТИПНЫМИ БУЯМИ

Юровский Ю.Ю. ✉, Кудинов О.Б.

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

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

Приведены результаты натурных экспериментов по измерению параметров поверхностного волнения с использованием однотипных волноизмерительных буюв, созданных на базе легкодоступных инерциальных датчиков MPU-9250. Исследования проводились на Черноморском гидрофизическом подспутниковом полигоне МГИ РАН в 2024 году.

Первый эксперимент включал развертывание двух идентичных буюв диаметром 40 см: первый располагался вблизи Стационарной океанографической платформы (500 м от берега, глубина 30 м), второй – на расстоянии 30 м от берега (глубина 3 м). Параллельно с платформы выполнялись измерения струнными волнографами. В прибрежной точке дополнительно проводились эпизодические измерения с помощью буюа аналогичной конструкции, но с уменьшенным корпусом (диаметр 15 см). Наблюдения велись в течение трех суток при штормовом ветре восточного направления.

Сравнение спектров энергонесущих волн в районе платформы показало их совпадение в пределах доверительных интервалов для данных волнографа и 40-см буюа. Аналогичное соответствие зафиксировано между спектрами, полученными вблизи берега с использованием буюв диаметром 40 см и 15 см. При этом отмечено снижение энергии ветрового пика (частота 0,3 Гц) при приближении волн к берегу примерно в 2 раза, а энергии зыби (частота 0,2 Гц) – примерно в 10 раз.

Во втором эксперименте три 40-см буюа были размещены вдоль изобаты 30 м вблизи платформы на срок семь суток. Первый буй

был закреплен на бифилярном подвесе непосредственно с платформы, второй – установлен на якоре с полипропиленовым тросом, а третий – аналогично второму, но с эластичным амортизатором между тросом и буюм. Наилучшее соответствие с референтными измерениями волнографов продемонстрировал буй с амортизатором. Однако различия между всеми тремя буями оказались незначительными: стандартное отклонение высот значительных волн составило 6 см для буя без амортизатора и 5 см – с амортизатором.

Дополнительно представлены результаты лабораторных испытаний малой серии датчиков (10 буюв диаметром 15 см и 3 буя диаметром 40 см), направленных на оценку разброса заводских калибровочных параметров. Установлено, что основной вклад в погрешность измерений связан с методикой обработки данных, а не с вариациями параметров датчиков.

Результаты работы показывают, что разрабатываемые буи могут быть эффективно использованы для распределенных наблюдений поверхностного волнения в целях изучения механизмов трансформации волн на мелководье и настройки волновых моделей под конкретные акватории.

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

СЕКЦИЯ 2
«ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И
БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
В МОРСКИХ СИСТЕМАХ»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ЦИКЛОНА
ФАЛЬШИОН НАД ЧЕРНЫМ МОРЕМ

Барабанов В.С.

МГИ, г. Севастополь

✉ *sl0b0@yandex.ru*

Ключевые слова: численное моделирование, Черное море, Falshion, WRF, NEMO.

Циклон Falchion, наблюдавшийся в акватории Черного моря в августе 2021 г., в ряде работ рассматривается как квазитропический. На некоторых спутниковых снимках облачности для него заметен «глаз циклона». Прохождение этого циклона с юга на север вдоль восточного побережья Черного моря вызвало заметное изменение температуры поверхности моря, что видно по данным спутниковых наблюдений NOAA. Температура поверхности в восточной части моря 11.08.2021 была довольно высокой (26–27 °C), но уже 13.08.2021 в зоне прохождения мезоциклона она упала почти на 10 °C. Это явление, практически незаметное в массивах OISST (использующихся в прогнозах на основе модели WRF), заслуживает специального рассмотрения.

При моделировании перемещения этого циклона с использованием мезомасштабной модели WRF-ARW с горизонтальным шагом сетки 3 км обнаружили неожиданно сильные различия в результатах для двух вариантов задания начальных данных – из

массива GFS (брались только поля анализа) и массива GDAS. Причины этого несовпадения неясны (пространственное разрешение массивов было одинаковым), возможно, это связано с процедурой ассимиляции для GDAS.

Для воспроизведения морских течений использовалась модель NEMO версии 4. Начальные условия для моря (скорости течений, температура и соленость на 50 уровнях с разрешением 0,083°) брались из массива морского реанализа GLORYS12V1, представленного на сайте resources.marine.copernicus.eu и интерполировались на расчетную сетку модели с использованием разработанных программ. Организация взаимодействия атмосферного и морского блоков совместной модели следующая: каждые 2 часа от NEMO к WRF передаются температура поверхности моря и скорости течения на поверхности, а от WRF к NEMO – радиационные потоки тепла (коротковолновый и длинноволновый), потоки явного и скрытого тепла, напряжение трения ветра, поток влаги (разность между испарившейся влагой и выпавшими осадками).

Судя по карте завихренности приводного ветра, наблюдавшееся изменение температуры поверхности объясняется экмановской подкачкой.

Численные эксперименты показали, что текущая версия совместной модели дает близкие к наблюдениям результаты по времени начала понижения поверхностной температуры. В то же время наиболее важным фактором для корректного воспроизведения положения циклона в прогнозе является не уточненная температура поверхности, а корректное задание начальных условий.

АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ МОРЯ В БУХТАХ СЕВАСТОПОЛЯ ПО ДАННЫМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Белоконь А.Ю. ✉, Манилюк Ю.В., Юровский Ю.Ю.,
Багаев А.В., Лазоренко Д.И., Вержевская Л.В.

МГИ, г. Севастополь

✉ a.bazykina@mhi-ras.ru

Ключевые слова: сейши, связанные бухты, севастопольские бухты, модель ADCIRC.

С целью интерпретации данных натурных наблюдений, накопленных в 2024–2025 гг., выполнено математическое моделирование сейшевых колебаний в бухтах г. Севастополя.

Численные эксперименты проводились с использованием гидродинамической конечно-элементной модели ADCIRC (Advanced Circulation Model for Shelves Coasts and Estuaries). Применялась линеаризованная версия модели. Поскольку периоды сейш в бухтах Севастополя не превышают 1 часа, влияние вращения Земли не учитывалось. На твердых границах расчетных областей задавалось условие непротекания.

Моделирование выполнялось в два этапа. На первом этапе осуществлялась генерация волн (6 часов модельного времени): на жидкой границе расчетной области задавалось возмущение типа «красный шум». На втором этапе решалась задача о свободных колебаниях с начальными условиями, полученными на первом этапе (6 часов модельного времени). При этом на жидкой границе задавалось условие свободного прохождения волн. Рассчитанные временные ряды колебаний уровня моря в контрольных точках подвергались спектральному анализу для выявления наиболее энергонесущих периодов.

Расчетная область включала все бухты г. Севастополя и прилегающий сектор прибрежной зоны радиусом 8 км. Сетка сгущалась в районе бухт (размер треугольных элементов ~ 50 м). Шаг по времени составил 0,025 с. Данная конфигурация позволила исследовать сейшевые колебания с учетом взаимного влияния бухт системы друг на друга. Было получено пространственное распределение относительных амплитуд сейшевых колебаний уровня моря в системе севастопольских бухт.

Численное моделирование показало, что собственные моды вытянутых узких бухт активно проникают в соседние бухты связанной системы, в то время как моды бухты Круглой (квазикруглая акватория) практически не распространяются за ее пределы.

В малых бухтах (Песочная, Абрамова) преобладают моды крупных соседних бухт, проявляющиеся с высокой интенсивностью.

Результаты моделирования хорошо согласуются с натурными наблюдениями и позволяют выявить пространственную структуру колебаний уровня моря во всей системе севастопольских бухт.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-20076 <https://rscf.ru/project/24-27-20076/> и Соглашения с Департаментом образования и науки г. Севастополя № 86 от 19.06.2024 г.

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА В РАЙОНЕ КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА

Белокопытов В.Н. ¹✉, Воронцов А.А. ², Горячкин Ю.Н. ¹,
Годин Е.А. ¹, Шкаберда О.А. ¹

¹ МГИ, г. Севастополь

² ВНИИГМИ-МЦД, г. Обнинск

✉ belokopytov.vn@mhi-ras.ru

Ключевые слова: Керченский пролив, климат, температура, соленость, ветер, база океанографических данных.

Район Керченского пролива занимает особое место в формировании гидрологического режима значительной части Азово-Черноморского бассейна. На протяжении длительного времени он также является районом интенсивного хозяйственного использования, которое еще более возросло в последние десятилетия. В целях потенциального применения в прикладных задачах проводится формирование наиболее полного регионального комплексного массива данных судовых наблюдений (температура воды, соленость, течения) и данных гидрометеорологических наблюдений (характеристики ветра, волнения и др.) на станциях и постах морской береговой сети (Феодосия, Заветное, Керчь, Опасное, Мысовое, Анапа).

На основе систематизации и обработки информации сделаны предварительные выводы о статистически значимых изменениях гидрометеорологического режима в данном районе, произошедших в последние десятилетия. Для многолетнего хода температуры воды в районе Керченского пролива характерно потепление выше уровня межгодовой изменчивости в поверхностном слое моря, особенно в зимний период. Для летнего сезона эта тенденция прослеживается с конца 1990-х гг., для зимнего сезона – с 2015 г., при этом понижения температуры воды до точки замерзания морской воды уже не происходит. 30-летняя тенденция уменьшения солености до 2010 г. во всем

слое шельфовой зоны сменилась, как и во всем Черном море, на быстрое осолонение.

Ветровой режим за последние десятилетия изменился как в отношении направления ветра, так и скорости ветра. В отличие от конца XX-го века, экстремальные скорости ветра до 30 и более м/с практически не наблюдаются. Снизилась повторяемость штормовых ветров северо-восточного направления и возросла повторяемость западных ветров. Тенденция к снижению средней скорости ветра и высоты волн в период 1980–2005 гг. завершилась, их значения возросли, приблизившись к многолетним показателям.

Район предпроливной зоны Керченского пролива в осенний период остается наиболее интенсивным из шельфовых районов Крыма во всех диапазонах временной изменчивости гидрометеорологических элементов, благодаря сезонному возрастанию атмосферной синоптической активности в северо-восточной части Черного моря и водообмену с Азовским морем.

Информационные ресурсы, подготовленные для данного региона, рассчитанные по ним необходимые характеристики окружающей среды и проведенные на их основе обобщения нашли свое применение при планировании работ по ликвидации последствий недавних аварий нефтеналивных судов в Керченском проливе.

Работа выполняется в рамках Государственных заданий по темам FNNN-2024-0016 «Прибрежные исследования», FNNN-2024-0014 «Взаимодействие океана и атмосферы», а также договора № 2 от 15.11.2023 «О творческом сотрудничестве между ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» и ФГБУН ФИЦ МГИ».

ИЗМЕНЕНИЕ ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА НА ПОБЕРЕЖЬЕ ЮЖНОЙ КАМЧАТКИ

Василевская Л.Н. ¹✉, Лисина И.А. ¹,
Котович Н.Г. ¹, Василевский Д.Н. ²

¹ ДВФУ, г. Владивосток

² ДальНИИВХ, г. Владивосток

✉ vasilevskaya.ln@dvfu.ru

Ключевые слова: изменение атмосферных осадков, индекс засушливости, побережье южной Камчатки.

Ведущую роль в экономике Камчатского края играет рыбохозяйственный комплекс, на который значительное влияние оказывают участвовавшие неблагоприятные погодные условия.

Целью работы являлась оценка влажностного режима на побережье южной части Камчатки. Анализ осуществлялся по данным о среднемесячной температуре воздуха и месячных сумм осадков 4-х метеостанций (Ича, Соболево – запад, Петропавловск-Камчатский и Петропавловск, маяк – восток) с 1966 по 2024 гг.

Формирование опасных явлений погоды сопряжено с воздействием на южные районы Камчатки глубоких циклонов, которые активны в течение всего года. Однако картина сезонного распределения атмосферных осадков на западном и восточном побережьях несколько отличается: на западе больше всего осадков выпадает в период с июля по ноябрь (около 65 % от годовой суммы), на востоке с сентября по январь (около 45–55 %). Самым «влажным» на обоих побережьях является октябрь, в течение которого выпадает около 15 % от годовых осадков. Меньше всего осадков с охотоморской стороны полуострова выпадает в январе–апреле, а с тихоокеанской – в мае–июле.

Сравнительный анализ режимных характеристик осадков за 59-летний (1966–2024 гг.) и оперативный базовый период (1991–2020 гг.) показал, что на фоне уменьшения межгодовой изменчивости сумма осадков изменилась от 670–830 мм до 580–800 мм.

На более северной станции западного побережья (Ича) осадки уменьшаются во все месяцы, за исключением марта, сентября и декабря. В Соболево характер многолетней динамики несколько иной: стабильный рост осадков выявлен только в марте (на 4,2 мм/10 лет). На восточном побережье межгодовая изменчивость и суммы осадков за сравниваемые периоды практически не изменились: годовые суммы составляют 950–1200 мм. При этом в Петропавловске-Камчатском в январе–феврале происходит устойчивое уменьшение осадков на 12–15 мм/10 лет, а в Петропавловске, маяк, в апреле и ноябре атмосферные осадки стабильно увеличиваются на 7–12 мм/10 лет.

Атмосферная засушливость и засуха в течение теплого времени года (май–октябрь) изучалась с привлечением индекса засушливости (S_i) Д.А. Педя. Получены следующие выводы.

1. На западном побережье засушливость, как правило, наблюдалась в течение одного месяца, в 5 случаях она длилась 2 месяца подряд и лишь в 2023 г. (3 месяца подряд – с мая по июль) положительные аномалии температуры превышали 2°C , а осадки составляли 55–70 % от нормы. Сильная засуха ($S_i \geq 3$) наблюдалась в мае 2012 и 2014 гг. и в июне 2020 г., когда аномалия температуры достигала $+3,1^{\circ}\text{C}$, а выпавшие осадки составляли всего 32 % от нормы.

2. На восточном побережье засушливость наблюдалась 2 месяца подряд в 6 случаях, а 3 месяца подряд (июль–сентябрь) в 2021 г. Сильная засуха наблюдалась в мае 2002 и 2009 г., в июне 1998 г., в июле 2013 г. и в августе 2011 и 2012 гг.

3. В целом, на западном и восточном побережье начиная с 1990-х годов выявлена устойчивая тенденция повышения атмосферной засушливости, на западе – в мае–июле, а на востоке – в сентябре, что, безусловно, связано с повышением температуры воздуха и небольшим уменьшением атмосферных осадков. Это влечет за собой ухудшение экологического состояния региона – возрастают обмеление нерестовых рек и негативный прессинг на природные и хозяйственные комплексы.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FZNS-2024-0037 «Комплексный экологический мониторинг прибрежных морских и наземных экосистем Камчатки».

ИЗМЕНЕНИЯ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ХОЛОДНОГО ПРОМЕЖУТОЧНОГО СЛОЯ В ЧЕРНОМ МОРЕ ЗА ПОСЛЕДНИЕ ЧЕТВЕРТЬ ВЕКА

Воронцов А.А.✉, Булыгин А.М., Вишнев О.Г.

ВНИИГМИ-МЦД, г. Обнинск

✉ vorv10921@gmail.com

Ключевые слова: холодный промежуточный слой, Черное море, температура воды, данных наблюдений, АРГО.

Холодный промежуточный слой (ХПС) определяется как слой с пониженной температурой, располагающийся между сезонным и постоянным пикноклинами. В Черном море ХПС образуется в результате зимнего конвективного перемешивания в северо-западной шельфовой части моря, а также в центрах циклонических круговоротов в западной и восточной частях моря.

За период с 2005 по 2023 год температура ядра ХПС выросла в среднем на 0,5 °С. При этом в период 2020–2023 гг. средний минимум температуры воды в слое 10–200 м с августа по январь был выше 8 °С, то есть ХПС в «классическом» понимании, как слой с температурой менее 8 °С, в эти месяцы не наблюдался. Тем не менее промежуточный слой с минимумом температуры в зависимости от сезона на глубинах от 15 до более 100 м присутствует в большинстве месяцев, преимущественно в западной части моря. С началом весеннего потепления этот слой значительно уменьшается, часто до полного исчезновения. Незначительное обновление ХПС в Черном море наблюдалось в относительно холодные зимы 2017 и 2022 гг.

Ввиду ограниченного количества данных наблюдений, выполняемых в последние годы, сложно оценить вклад северо-западной шельфовой части моря в формирование ХПС. Тем не менее данные, получаемые с профилирующих буев в рамках программы АРГО, иллюстрируют наличие минимумов температуры ядра ХПС в зимне-весенний период в районе циклонического круговорота в центральной части моря, южнее Керченского пролива.

В последние годы с ростом температуры наблюдается подъем ХПС. Так, если в 2010-е годы глубина залегания ядра ХПС в центральной части моря составляла в среднем 40–60 м, то в 2020-х ядро ХПС поднялось до глубин 30–40 м.

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ПРИМОРСКОГО КРАЯ В ПЕРВЫЕ ТРИ ГОДА ТРЕТЬЕГО ДЕСЯТИЛЕТИЯ НЫНЕШНЕГО ВЕКА

Гайко Л.А. ^{1,2}

¹ *ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток;*

² *Дальрыбвтуз, г. Владивосток*

✉ *gayko@yandex.ru*

Ключевые слова: Японское море, аномалии температуры воды, аномалии температуры воздуха, климатическая норма, гидрометеорологические станции, Татарский пролив.

В продолжение исследований климатической изменчивости в прибрежной зоне Приморского края в данной работе рассматриваются особенности термического режима вдоль побережья Приморья в 2021, 2022 и 2023 гг. по данным наблюдений за температурой воды и воздуха на пяти гидрометеорологических станциях (ГМС) Приморского края: Посъет, Владивосток, Находка (юг края); Рудная Пристань и Сосуново (восточное побережье). Исследована изменчивость температуры обеих сред в эти годы относительно новой оперативной климатической нормы, рассчитанной за период 1991–2020 гг., рекомендованный ВМО как реперный при выявлении изменений климата в современный период. Для расчёта нормы были вычислены среднемесячные значения температуры воды и воздуха за 30-летний период (1991–2020 гг.). Целью работы является сравнение среднемесячной и среднегодовой температуры воды и воздуха на каждой станции за каждый год (2021, 2022 и 2023) с нормой и

между собой для выявления особенностей в поведении температуры в эти годы.

Очевидно, что распределение аномалий по годам и по станциям довольно разнятся. В первую половину всех трёх годов температура воды между ГМС распределена более-менее равномерно, отмечены практически только положительные аномалии, за исключением ГМС Рудная Пристань, где в 2021 и 2023 гг. с февраля по июль отмечены только отрицательные аномалии (до $-2,3^{\circ}\text{C}$ в 2021 г.), что, возможно, связано с активизацией холодного Приморского течения в районе станции в эти годы. Вторые половины всех трёх лет кардинально отличаются между собой. Если в 2021 и 2023 гг. с июля по декабрь практически на всех станциях отмечаются высокие аномалии (от $2,5^{\circ}\text{C}$ до $4,8^{\circ}\text{C}$ на РП в 2021 г.), то в 2022 г. с августа по октябрь практически на всех станциях отмечены отрицательные аномалии температуры воды (до $-4,5^{\circ}\text{C}$ в Находке). Это ещё раз подтверждает, что термический режим прибрежной зоны формируется под влиянием не только радиационных, но и адвективных факторов.

Если для температуры воды прослеживается изменчивость для каждой станции как бы по горизонтали, от месяца к месяцу, то для температуры воздуха характерна вертикальная изменчивость, то есть для всех станций в конкретном месяце. Так в течение трёх лет положительные аномалии в большей или меньшей степени отмечены в марте, апреле, мае и особенно в июле, а самым холодным стал декабрь. По годам эти аномалии отмечались: в 2021 г. на всех ГМС – в январе до $-2,5^{\circ}\text{C}$ (в Находке); в июле до $+3,9^{\circ}\text{C}$ (в Находке); в ноябре до $+5,8^{\circ}\text{C}$ (в Посьете). В 2022 г. небольшие отрицательные аномалии наблюдаются в июне, сентябре и октябре почти на всех станциях. В 2023 г. с февраля по октябрь наблюдаются только положительные аномалии с максимумом в марте ($+3,7^{\circ}\text{C}$).

Кумулятивные годовые аномалии по температуре воды составили: в 2021 году – $5,6^{\circ}\text{C}$; в 2022 году – $1,5^{\circ}\text{C}$; в 2023 году – $4,9^{\circ}\text{C}$; а по температуре воздуха соответственно $4,0^{\circ}\text{C}$, $2,6^{\circ}\text{C}$ и $4,5^{\circ}\text{C}$. Можно сделать вывод, что по температуре воды самым тёплым был 2021 г., а по температуре воздуха 2023 г.

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ГЛУБОКОВОДНЫХ ТЕЧЕНИЙ В ЧЕРНОМ МОРЕ В 2017 Г. НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

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

МГИ, г. Севастополь

✉ notthebees148@gmail.com

Ключевые слова: Черное море, моделирование, реанализ, циркуляция, глубоководные течения.

Черное море характеризуется уникальной вертикальной структурой гидрологических полей, в которой постоянный пикноклин блокирует передачу импульса от поверхностных слоев моря к глубинным. Дефицит данных измерений скорости течений под пикноклином создает значительные сложности в изучении глубоководной циркуляции. В настоящее время структура глубоководных течений и их изменчивость изучены весьма слабо, в отличие от более доступных для исследования поверхностных слоев с преобладанием циклонической циркуляции. В решении данного вопроса даже редкие глубоководные наблюдения скорости могут внести существенный вклад в понимание движения черноморских вод в нижних слоях моря при правильной их интерпретации.

Целью представленной работы стало исследование глубоководных, направленных противоположно Основному черноморскому течению (ОЧТ) нестационарных противотечений, зафиксированных в 2017 г. по двум наборам натурных наблюдений в разных районах Черного моря. Рассматривались находящиеся в открытом доступе данные буев-профилемеров Argo, а также представленные в открытой печати результаты годовых ADCP-измерений горизонтальных компонент скорости в нижней части материкового склона в северо-западной части бассейна на глубине 1700 м. Имеющиеся данные не могли показать полную трехмерную картину поля скорости и выявить источники противотечений. Использование результатов численного модели-

рования (данных гидрофизического реанализа CMEMS), в дополнение к натурным данным, позволило проанализировать трехмерную структуру гидрофизических полей и их изменчивость.

Результаты моделирования показали, что ключевую роль в перераспределении энергии в условиях резкой плотностной стратификации играют вихревые структуры. Так, на восточной границе бассейна взаимодействие вихрей с рельефом материкового склона приводит к формированию нестационарных течений, направленных противоположно поверхностной циркуляции и прослеживающихся до глубин 500–700 м. У северокавказского побережья в 2017 г. по данным Argo выявлено глубоководное противотечение, обусловленное эволюцией Кавказского антициклонического вихря. Энергия вихря, распространяясь в глубоководные слои вдоль резкого свала глубин, формировала узкое юго-восточное течение (до 12–15 см/с в ядре на горизонтах 150–250 м), направленное против ОЧТ.

Установлено также, что в северо-западной части материкового склона зафиксированный с помощью ADCP перенос глубинных вод на горизонте 1700 м в направлении, противоположном поверхностной циркуляции, является следствием движения глубоководных мезомасштабных вихревых структур, которые генерировали потоки в нижних слоях моря на временных интервалах порядка нескольких недель. Скорости в ближайшем к точке наблюдений модельном узле достигали 10 см/с (максимальные по наблюдениям составили 12–13 см/с).

Таким образом, результаты моделирования позволили проанализировать трехмерную структуру наблюдаемых глубоководных течений в разных районах моря и показать, что глубоководные нестационарные противотечения со скоростями, сопоставимыми по амплитуде с поверхностными, могут генерироваться мезомасштабными вихревыми структурами.

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

ОСВОЕНИЕ АРКТИКИ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛИЗАЦИИ

Горбанёв В.А.

МПГУ, г. Москва

✉ vlgorbanyov@gmail.com

Ключевые слова: Арктика, глобализация, окружающая среда, деятельность, арктические страны, неарктические страны, военная безопасность, комплексность, международное сотрудничество.

Вплоть до второй половины XX века исследование Арктики не было первостепенной задачей государств, однако к концу XX века интересы западных стран к Арктике усилились и Советский Союз вынужден был подтвердить свои интересы, предприняв активные действия.

Разделение Арктики на сектора ложится в фарватер ослабления процессов глобализации, которые были характерны в период между Первой и Второй мировыми войнами. Эти тенденции в значительной степени проявились в арктическом бассейне, где каждое государство пыталось закрепить за собой «кусок» Арктики.

После Второй мировой войны процесс глобализации получил новый импульс. В 1969 г. был создан Арктический совет. Ряд специалистов считают, что создание Совета в том числе направлено на недопущение возврата к секторальному принципу разделения Арктики. США и некоторые другие страны заинтересованы в том, чтобы максимально интернационализировать Арктику на подобии Антарктиды, и открыть доступ к ее ресурсам.

В 1970-х годах СССР вел активные научные исследования, геологоразведочные работы на прилегающем шельфе, обустроивал Северный морской путь. Создавалась прибрежная портовая инфраструктура, строились новые города и поселки.

Ратифицировав в 1997 г. новую Конвенцию ООН по морскому праву, Россия фактически отказалась от секторального раздела

Арктики и признала приоритет международных норм. В результате Россия потеряла примерно 1,7 млн км² Арктики; площадь российского шельфа составила 3,8 млн км².

В конце XX века глобализация получила «второе дыхание». Арктическому региону стали уделять значительно большее внимание, чем прежде.

Важнейшим фактором усиления в конце XX в. внимания многих, даже не арктических стран к Арктическому бассейну стала информация о наличии на шельфе Арктике 75 % всех мировых разведанных запасов углеводородов, причем 60 % этих запасов приходится на российский шельф. Контроль над арктическим пространством преобразовался в контроль над ресурсами.

В настоящее время российский шельф составляет 5 млн км².

Сегодня многие страны и не только европейские, и не только арктические поддерживают идею интернационализации Арктики. Эти интересы подогреваются перспективой потепления Арктики и таяния льдов.

Россия продолжила активные исследования Арктики, особое внимание уделяется совершенствованию Северного морского пути, где ведущую роль играет атомный флот.

Важную роль играют вопросы строительства поселков, зданий, трубопроводов в условиях вечной мерзлоты, которая подвергается таянию из-за потепления климата. Строительство требует учета специфических геологических и климатических условий.

Потепление климата, таяние вечной мерзлоты, нарушение ледяного покрова рек и озер, изменение ареалов обитания животных, снижение биоразнообразия приводят к нарушениям в экосистемах, оказывают серьёзное влияние на условия жизни коренных народов Севера, затрудняют традиционное оленеводство, охоту и рыболовство. Подобные изменения нередко приводят к вынужденному переселению коренных народов с их исконных земель.

Но не только Россия расширяет свою деятельность в Арктике. В регионе активно работают США и Канада, рассматривающие Арктику в качестве «потенциально конфликтного региона», поэтому они активизировали здесь свою военную деятельность.

В деятельности в Арктике активно участвует Норвегия. Она занимается разработкой природных ресурсов, развивает рыболовство, туризм и судостроение, занимается вопросами охраны окружающей среды, поддерживает коренные народы Арктики, проживающие на ее территории. Как член НАТО Норвегия расширяет свое военное присутствие в Арктике.

Президент США Д. Трамп недавно заявил о намерении приобрести Гренландию, поскольку контроль над Гренландией имеет ключевое значение для США в свете, как он сказал, нынешних угроз со стороны России и Китая.

Но не только арктические страны вовлекаются в процесс изучения и использования арктических пространств. Активно участвует в делах Арктики и Исландия.

Развивает свою деятельность в Арктике и Китай в качестве «приарктического государства» и основного заинтересованного лица в Арктике.

Такие страны как Индия, Южная Корея и Япония также проявляют растущий интерес к Арктике, в основном в контексте использования Северного морского пути и доступа к ресурсам.

В настоящее время процессы глобализации ослабли, но сама глобализация никуда не делась. Нетрудно видеть, что процессы глобализации имеют синусоидальный характер и сейчас мы находимся в стадии ослабления процессов глобализации. Однако на примере Арктического бассейна мы видим, что процесс глобализации даже не убывает, а наоборот усиливается.

Нетрудно видеть, что освоение Арктики в условиях глобализации и взаимозависимости носят комплексный характер. Поэтому можно сделать важный вывод: в условиях глобализации нельзя решать глобальную проблему освоения Арктики только с односторонних позиций.

Проблему освоения Арктики в условиях глобализации можно и нужно решать комплексно, поскольку все ее составные элементы и направления тесно переплетены и взаимосвязаны. Также точно можно заключить, что эту проблему можно и нужно решать только совместно силами разных заинтересованных государств путем тесного международного сотрудничества.

ПРИЗЕМНЫЙ ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ В КРЫМУ ПРИ ВЫХОДЕ НОЯБРЬСКИХ ЦИКЛОНОВ В ЧЕРНОЕ МОРЕ

Данова Т.Е. ✉, Баянкина Т.М.

МГИ, г. Севастополь

✉ danova8@mail.ru

Ключевые слова: Черноморский регион, средиземноморские циклоны, ноябрьские штормы, периоды потепления, Крымский полуостров.

Представлены исследования нестандартных процессов в системе океан–атмосфера, приводящие к реализации в Черноморском регионе катастрофических штормов. Для определения приземной погоды использовалась климатическая база «Расписание погоды» (<http://rp5.ru>) по станциям Крымского полуострова в даты прохождения циклонов: 11 ноября 2007 г., 11 ноября 2009 г. и 26–27 ноября 2023 г. Направление перемещения циклонов отслеживались по синоптическим приземным картам (<https://www.wetter3.de>) и спутниковым изображениям MODIS-Terra (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) (<https://worldview.earthdata.nasa.gov/>).

Исследование приземного термического режима на территории Крымского полуострова проведено за период 2006–2023 гг. Рассчитаны периоды потепления и похолодания в холодный сезон года (с ноября по март) для среднесуточных значений приземной температуры воздуха на станциях Крымского полуострова. Порог холода устанавливался на уровне 5 % процентиля, а порог тепла на уровне 95 % процентиля распределения температуры

Результаты расчетов показали, что в ноябре от 6 до 13 станций Крымского полуострова ежегодно отмечают периоды потепления. Минимальные значения наблюдаются в центральной части полуострова, а максимальные в береговой зоне. Именно для ноября характерны максимальные значения поступающего тепла в холодный период года, которые интерпретированы как фактор

избыточного тепла. Пространственное распределение фактора избыточного тепла носит черты орографии региона, максимальные значения характерны для береговых станций. Периоды потепления в ноябре имеют разную длительность, 66,5 % приходится на периоды потепления длительностью от 3 до 7 дней, подобная длительность периодов соответствует продолжительности процессов синоптического масштаба. 12 % периодов потепления имеют длительность от 8 до 10 дней, наиболее часто такие периоды наблюдаются на северо-востоке полуострова. На самые длительные периоды потепления от 11 до 20 дней приходится 21,5 % от всех случаев.

Проведенные исследования условий возникновения ноябрьских катастрофических штормов в Черноморском регионе показали, что сильнейшие ноябрьские штормы возникают в результате выхода средиземноморских циклонов, которые приносят в регион насыщенный влагой теплый воздух.

Ноябрь характеризуется резкими и значительными перепадами температуры воздуха, значительную роль в этом играют орографические особенности Крымского полуострова. Ярко выраженные перепады температуры подстилающей поверхности суши и моря способствуют интенсивному широтному перемешиванию воздушных масс с разными термическими и барическими характеристикам. Многолетние ряды приземной температуры воздуха на всех станциях Крымского полуострова отмечают в ноябре значимый тренд потепления.

Анализ значений приземной температуры воздуха показал, что по данным трехчасовых наблюдений на береговых станциях в момент прохождения штормов 11.11.2007, 11.11.2009 и 26–27.11.2023 максимальные значения температуры воздуха превышали порог тепла на уровне 95 % процентиля. В случае со штормом 11.11.2009 на всех береговых станциях отмечалось превышение порога тепла на уровне 95 % процентиля по среднесуточным температурам воздуха.

Полученные результаты позволили выявить особенности катастрофических штормов в Черноморском регионе, которые могут быть использованы в прогностической практике.

ТИПИЗАЦИЯ И ПРОГНОЗ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ В МОРЯХ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА: ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПОДХОД

Дейнего И.Д.^{1,2}✉, Захарова Е.В.¹, Котилевская А.М.¹

¹ ООО «Арктический научный центр», г. Москва

² ИО РАН, г. Москва

✉ deinego182@gmail.com

Ключевые слова: морской лед, стохастический процесс, формула Ито, спутниковые данные, Арктика.

Современные климатические изменения обостряют вопрос разработки эффективных методов анализа и прогноза ледовых условий в Арктике. В данной работе представлен стохастический подход к типизации ледовой обстановки в морях Северного Ледовитого океана (СЛО) на основе формулы Ито. Изменение концентрации морского льда в единицу времени рассматривается как одномерный стохастический процесс в каждой пространственной ячейке, для которого определяются параметры дрейфа и диффузии. Это позволяет описывать вероятностную динамику и выделять устойчивые сценарии сезонной эволюции ледового покрова.

В работе были использованы спутниковые данные проекта AMSR-2, охватывающие многолетний период. На основе анализа временных рядов изменений концентрации льда построены вероятностные характеристики, которые легли в основу выделения типичных сценариев – устойчивых последовательностей состояний льда. Проведена типизация сценариев по сезонам, интенсивности изменений и устойчивости.

Особое внимание уделено анализу пространственной связанности процессов: исследованы корреляции между сценариями в соседних акваториях СЛО, что позволяет учитывать синхронные или последовательные трансформации ледового покрова в крупных регионах.

Предложенный метод может быть применен для кратко- и среднесрочного прогноза ледовых условий, оценки вероятностей

переходов между сценариями, навигационного планирования в условиях неопределённости.

Таким образом, стохастическая типизация ледовых условий на основе формулы Ито и спутниковых данных представляет собой универсальный инструмент для анализа, визуализации и прогноза пространственно-временной динамики морского льда.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИРКУЛЯЦИИ ЧЕРНОГО МОРЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СХЕМ, ОБЛАДАЮЩИХ ДИСКРЕТНЫМИ КВАДРАТИЧНЫМИ ИНВАРИАНТАМИ

Демышев С.Г., Дымова О.А. ✉

МГИ, г. Севастополь

✉ *olgadym@yahoo.com*

Ключевые слова: численное моделирование, консервативные схемы, поле скорости, данные наблюдений.

В работе рассмотрены различные способы аппроксимации нелинейных горизонтальных слагаемых в уравнениях движения жидкости на примере использования вихреразрешающей модели МГИ для моделирования циркуляции Черного моря. Проведено три прогностических эксперимента, в которых применялись консервативные схемы, обеспечивающие выполнение закона сохранения энергии (1 эксперимент), потенциальной энтропии (2 эксперимент) и одновременно энергии и потенциальной энтропии (3 эксперимент). Цель работы – оценить эффективность работы схем на основе сопоставления результатов расчетов между собой и с данными наблюдений.

Расчеты выполнены с пространственным разрешением 1,6 км и учетом атмосферного форсинга SKIRON для периода февраль – декабрь 2016 г. Получены особенности в структуре поля течений при различных аппроксимациях нелинейных слагаемых в уравнениях движения. Валидация результатов экспериментов проведена на основе измерений температуры, солёности и скорости течений, выполненных в рейсах НИС «Профессор Водя-

ницкий» в июле, октябре и декабре 2016 г. Данные измерений предоставлены Банком океанографических данных МГИ. Были рассчитаны среднеквадратические отклонения (СКО) модельных температуры и солёности от натурных измерений. При сравнении отклонений температуры и солёности для различных расчетов не выявлено систематического изменения величин СКО при использовании различных схем аппроксимации нелинейных членов в уравнениях движения.

Был проведен сравнительный анализ модельных и измеренных полей скорости течений на полигоне в окрестностях Крыма, а также сопоставление с картами геострофических течений, реконструированных по данным спутниковой альтиметрии (представлено Морским порталом МГИ), для всего бассейна. Получено, что в целом все три расчета дают близкие картины течений, в которых воспроизводятся основные элементы, зафиксированные по натурным данным. Наиболее похожие с наблюдениями результаты дают эксперименты 2 и 3. Однако с течением времени проявляются качественные различия в структуре полей, которые проявляются в интенсивности и расположении отдельных вихрей и течений.

Анализ изменения со временем кинетической энергии течений и компонентов ее бюджета показал, что наименьшая средняя по объему кинетическая энергия получена при использовании схемы, обеспечивающей сохранение одновременно энергии и потенциальной энтропии (3 эксперимент). Оценки компонент бюджета кинетической энергии циркуляции свидетельствуют, что в эксперименте 3 имеет место более интенсивный переход энергии из кинетической в доступную потенциальную энергию посредством работы силы плавучести, что свидетельствует о бароклинной неустойчивости, а также увеличение потерь энергии вследствие вертикального трения.

Результаты работы показали, что использование консервативной схемы с двумя дискретными квадратичными инвариантами дает лучшее описание процесса обмена энергией между движениями разных масштабов. Подтверждением этому служит поведение средней по объему кинетической энергии в третьем эксперименте, величина которой была наименьшей среди аналогичных данных в трех расчетах.

Работа выполнена в рамках госзадания по теме № FNNN-2024-0001 (шифр «Океанологические процессы»).

ВЛИЯНИЕ СИНОПТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА АДВЕКТИВНЫЕ ПОТОКИ ВОДЫ И ТЕПЛА В ПЕЧОРСКОМ МОРЕ

Дешова Д.В.^{1✉}, Гордеева С.М.^{1,2}

¹ РГГМУ, г. Санкт-Петербург

² ИО РАН, г. Москва

✉ d.deshova@rshu.ru

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

В проведенном ранее исследовании была рассмотрена роль атмосферы в тепловом балансе поверхности Печорского моря. Выявлено, что компоненты теплового баланса (коротковолновое и длинноволновое излучения, скрытый и явный турбулентные потоки тепла) и атмосферные параметры (атмосферное давление, скорость ветра) слабо связаны с остаточным тепловым потоком (разность между поступающими и уходящими адвективными потоками тепла через границу региона), что может быть связано с синоптическим масштабом изменчивости рассматриваемых характеристик. Их влияние в полугодовом усреднении нивелируется их разнонаправленным действием.

В данном исследовании рассматривается влияние синоптических условий на адвективные потоки воды и тепла в Печорском море.

Для среднесуточных данных атмосферного давления над Печорским морем (границы: по долготе 50° в. д. на западе, по широте 71° с. ш. на севере и в проливе Карские Ворота) из реанализа ECMWF ERA5 службы Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) с разрешением сетки широта-долгота 0,25° × 0,25° за период 2004–2006 гг. (годы не являются аномальными) был проведен анализ главных компонент, который выявил три основных компоненты: первая – фоновая, характеризующая 96,76 % от общей дисперсии; вторая характеризует широтный градиент давления с осью на 55,5° в. д. (1,81 % от общей дисперсии); третья компонента характеризует меридиональ-

ный градиент давления с осью на широте $69,5^\circ$ с. ш. (1,33 % общей дисперсии). Зимой отмечается увеличение меридионального градиента давления, а летом – широтного градиента.

Для выявления вкладов главных компонент в адвективные потоки на каждой из границ Печорского моря (западная, северная и Карские Ворота) рассматривалась множественная линейная регрессия (МЛР). Для оценки вкладов выполнялась пошаговая процедура методом исключения переменных. Дисперсия адвективных потоков на западной границе и в Карских Воротах описывается изменчивостью главных компонент на 86 % в обоих случаях. При этом основной вклад вносит третья главная компонента: на западе – 70 % и в проливе – 76 %. Поток через северную границу определяется главными компонентами лишь на 17 %, из которых 13,6 % приходится на вторую главную компоненту.

Таким образом, меридиональный градиент давления с осью на $69,5^\circ$ с. ш. является драйвером потока воды через западную границу Печорского моря в пролив Карские Ворота. Усиление потока отмечается в основном в осенне-зимний период. Уменьшение градиента давления приводит к ослаблению потока (весна–лето).

АНАЛИЗ АТМОСФЕРНОГО ФОРСИНГА ERA5 ЗА ПЕРИОД 2011–2021 ГГ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКОГО РЕАНАЛИЗА ЧЕРНОГО МОРЯ

Дымова О.А. ✉, Миклашевская Н.А.

МГИ, г. Севастополь

✉ olgadym@yahoo.com

Ключевые слова: Черное море, атмосферный форсинг ERA5, гистограмма повторяемости, скорость ветра, потоки тепла и влаги.

В полузамкнутых бассейнах с узкими мелководными проливами, к числу которых относится Черное море, водообмен с

Мировым океаном ограничен, вследствие чего структура их циркуляции существенно зависит от атмосферных условий. Поэтому для ретроспективного анализа циркуляции таких морей необходим тщательный выбор данных о внешнем воздействии, особенно о ветровом напряжении. Проведенные авторами ранее расчеты и сравнение атмосферных форсингов SKIRON и ERA5 показали, что для ретроспективного анализа гидрофизических полей Черного моря целесообразно использовать атмосферный реанализ ERA5. Кроме того, сопоставление с доступными наблюдениями показало, что данные о скорости ветра в ERA5 близки к реальности.

В данной работе проведен анализ атмосферных данных ERA5 за период 2011–2021 гг. над Черным морем. С этой целью были построены гистограммы повторяемости ветров определенных скоростей и направлений по месяцам и гидрологическим сезонам за весь рассматриваемый период. Выявлено, что наибольшую повторяемость (13–21%) во все сезоны имеют ветра северо-восточного направления, что согласуется с климатическими оценками. Такая структура полей ветра способствует формированию циклонической циркуляции вод в верхнем деятельном слое. Также высокой повторяемостью (около 10 %) в зимний и весенний сезоны обладают ветра, направления которых лежат между северным и западным румбами. Наибольшая повторяемость ветров со скоростью выше 6 м/с отмечена в летний сезон.

Анализ помесечной повторяемости ветров показал, что в отличие от сезонной изменчивости, не во все месяцы рассматриваемого периода СВ ветер является преобладающим. Так, в январе наибольшую повторяемость (12,6 %) имеет ветер западного направления, в июне (20,7 %) – ветер ЗСЗ направления. В декабре наибольшей повторяемостью обладает ветер СЗ направления (13,5 %), в то время как повторяемость ветра СВ направления едва достигает 3 %, что является минимальным значением за все месяцы периода наблюдений. В январе–апреле и в ноябре–декабре на гистограмме с достаточно высокой повторяемостью (7–15 %) присутствуют ветра почти всех направлений, а в период с апреля по октябрь ветра восточного, южного и юго-западного направлений практически отсутствуют, при этом преобладают ветра между ССЗ и СВ румбами (10–15 %).

Для дальнейшего анализа все имеющиеся данные атмосферного форсинга были осреднены по площади моря, а затем по времени за каждый месяц рассматриваемого периода. Была исследована временная изменчивость и тренды средних и максимальных величин скорости ветра, потоков тепла и влаги.

По абсолютной величине временная изменчивость средних по пространству суммарных потоков тепла (сумма явного, скрытого потока тепла и потока длинноволновой радиации) и влаги (осадки минус испарение) демонстрирует положительные тренды. Получено, что за исследуемый период имело место увеличение потока тепла из моря в атмосферу, уменьшение количества осадков и увеличение скорости испарения.

Средние и максимальные по пространству значения модуля скорости ветра имеют небольшой положительный тренд (0,07 м/с и 0,2 м/с за 11 лет соответственно). Наиболее сильные ветры характерны для осенне-зимних сезонов.

Работа выполнена в рамках госзадания по теме № FNNN-2024-0001 (шифр «Океанологические процессы»).

**РАСЧЕТ ПОЛЕЙ ТЕЧЕНИЙ ЛЕТОМ 2017 Г.
В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ КРЫМА С ОТКРЫТЫМИ
ГРАНИЦАМИ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ МГИ
С ВЫСОКИМ РАЗРЕШЕНИЕМ (ОКОЛО 500 М)
С УСВОЕНИЕМ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ**

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

МГИ, г. Севастополь
✉ naevstigneeva@yandex.ru

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

Поля скорости течений были восстановлены в зоне Крымского участка шельфа с пространственным разрешением ~500 м

по горизонтали и 27 горизонтов по вертикали на основе гидродинамической модели, разработанной в Морском гидрофизическом институте, данных наблюдений по температуре и солёности в 95-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» с 14 июня по 5 июля 2017 г., а также спутниковых данных о температуре поверхности моря.

Расчетная область с тремя открытыми границами была расположена между $33,37\text{--}36,46^\circ$ в. д. и $43,99\text{--}45,15^\circ$ с. ш. Батиметрия бассейна построена с использованием массива глубин EMODnet. Коэффициенты турбулентной вязкости и диффузии по вертикали рассчитывались в соответствии с параметризацией Филандера–Пакановски. Для коэффициентов горизонтальной турбулентной вязкости и диффузии выбраны следующие значения $\nu^H = 5 \cdot 10^5 \text{ см}^2/\text{с}$, $\kappa^H = 3 \cdot 10^5 \text{ см}^2/\text{с}$. Для задания атмосферного форсинга выбраны данные атмосферного реанализа ERA5. Спутниковые данные центра морских исследований Copernicus использовались для задания температуры на поверхности моря. Данные гидрологической съемки на НИС «Профессор Водяницкий» в летний сезон 2017 г. (температура и солёность морской воды до глубины 1000 м, измеренные с помощью комплекса SBE 911plus) взяты из Банка океанографических данных Морского гидрофизического института. Для усвоения данных гидрологической съемки применялась процедура ассимиляции, основанная на фильтре Калмана с учетом неоднородности и неизотропности ошибок оценок полей температуры и солёности.

Численный расчет и анализ полей скорости течений в зоне Южного берега Крыма проведены для периода 13.06.2017 – 05.07.2017. Отмечено ослабление потока Основного Черноморского течения (ОЧТ) вдоль Крымского побережья и формирование вихрей разных масштабов. Антициклоническое вихревое образование у юго-восточного берега Крыма с радиусом около 35 км между $34,5^\circ$ и $35,5^\circ$ в. д. наблюдалось в течение всего расчета и перемещалось в сторону юго-запада. При обтекании ОЧТ береговой линии в верхнем слое квазипериодически формировался циклонический вихрь с радиусом около 15 км вблизи м. Аю-Даг (время жизни 3–4 дня), а также малые вихри вблизи м. Меганом. В связи с усилением ветрового воздействия с

1 по 5 июля развились интенсивные течения, и вихревые образования в этот период в верхнем слое воды были выражены слабее.

Отмечено соответствие полученных полей результатам расчета с разрешением $\sim 1,6$ км, однако ряд вихревых образований в эксперименте с более грубым разрешением был выражен слабее или отсутствовал (например, циклонический вихрь вблизи м. Аю-Даг и малые вихри на востоке области), а также в верхнем слое наблюдалось некоторое усиление вдольбереговых течений в эксперименте с разрешением ~ 500 м. За счет мелкого шага сетки и более детальной топографии дна в глубинных слоях уточнена структура поля течений.

Полученные модельные поля течений не противоречат данным инструментальных измерений, согласно которым наблюдались потоки западного направления (то есть ОЧТ) и фиксировался антициклон у юго-восточного берега Крыма.

Исследование выполнено в рамках государственного задания по теме № FNNN-2024-0012 (шифр «Оперативная океанология»).

РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ ОНЛАЙН-ДОСТУПА К ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИМ ДАННЫМ ФГБУН ФИЦ МГИ ЧЕРЕЗ САЙТ БОД МГИ

Жук Е.В. ✉, Белокопытов В.Н.

МГИ, г. Севастополь

✉ alenixx@gmail.com

Ключевые слова: Черное море, онлайн доступ к данным, база океанографических данных, web-интерфейс.

Для обеспечения сотрудников ФГБУН ФИЦ МГИ океанографическими данными в онлайн режиме развивается информационная система доступа к данным с использованием web-технологий на базе клиент-серверной архитектуры. Система пополнения и доступа к данным разработана с использованием паттерна проектирования MVC на базе фреймворка Django.

Информационная система включает два основных интерфейса. Первый реализует функционал онлайн доступа к данным для пользователей, второй – функции работы с базой данных (БД) для администратора с занесением новой океанографической информации в БД, проверки на дубли, постановку флагов качества.

Таким образом, в состав системы входят две БД с аналогичной структурой, разработанной с использованием принципа раздельного хранения метаданных и данных. Метаданные включают основные характеристики океанографических станций, такие как координаты, время, рейс. Данные – измеренные гидрологические и гидрохимические параметры на определенной глубине. БД реализованы на СУБД PostgreSQL.

Пользовательский интерфейс для доступа к данным разработан с использованием фреймворка Vue.js и его расширения PrimeVue. Для построения графиков используется библиотека PlotJS. Картографический сервис реализован с помощью OpenLayers.

Работа выполнена в рамках темы госзадания ФГБУН ФИЦ МГИ FNNN-2024-0014 «Взаимодействие океана и атмосферы».

СТАТИСТИЧЕСКИЕ СВЯЗИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ТЕРМОХАЛИННОЙ СТРУКТУРЫ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ С ПОВЕРХНОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ И УРОВНЕМ МОРЯ

Жук Е.В. ✉, Белокопытов В.Н.

МГИ, г. Севастополь

✉ alenixx@gmail.com

Ключевые слова: Черное море, термохалинная структура, регрессионная модель, спутниковые данные.

Развитие спутниковых наблюдений обеспечивает получение на регулярной основе данных о состоянии поверхности океана, в частности об уровне моря и температуре поверхности. Это дает

потенциальную возможность воспроизводить вертикальное распределение температуры и солености по данным дистанционного зондирования.

На основе данных спутниковых и контактных измерений за период 1993–2023 гг. были получены параметры множественной линейной регрессии, которые позволяют рассчитывать термохалинные поля Черного моря до глубины 300 м по оперативным данным спутниковых альтиметров и радиометров. Анализ корреляционно-регрессионной структуры выявил общие для всего Черного моря статистические зависимости и их региональные особенности для районов северо-западного шельфа, Основного Черноморского течения, западного и восточного циклонического круговоротов, Батумского антициклонического вихря.

Корреляционная связь поверхностной температуры с температурой воды во всем слое вод положительна и быстро убывает с глубиной. Коэффициенты регрессионных зависимостей солености от уровня моря отрицательны для всего моря, кроме района северо-западного шельфа. Статистическая зависимость температуры воды от уровня моря имеет более сложное распределение – в основном пикноклине она меняет знак с положительного на отрицательный. Подобную форму имеет также вертикальное распределение регрессионного коэффициента для солености, но смена знака в пикноклине при этом не происходит.

Основные региональные различия регрессионных кривых связаны с вертикальными движениями вод, обусловленными общей циркуляцией моря. Они отражают различное вертикальное положение основного пикноклина в центре и на периферии моря. Минимумы распределения регрессионных коэффициентов, зависящих от альтиметрических данных, в ОЧТ и Батумском антициклоне расположены в среднем на 30 м глубже, чем в центральной части моря.

Работа выполнена в рамках темы госзадания ФГБУН ФИЦ МГИ FNNN-2024-0014 «Взаимодействие океана и атмосферы».

ОСОБЕННОСТИ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ТЕПЛО- И ВЛАГООБМЕНА В РЕГИОНАЛЬНОЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МОРСКОГО ЛЬДА

Завьялов Д.Д. ✉, Соломаха Т.А.

МГИ, г. Севастополь
✉ zavyalov.dd@mhi-ras.ru

Ключевые слова: теория Монина–Обухова, параметризация, турбулентные потоки, морской лед.

Исследование термической сезонной динамики толщины снежно-ледяного покрова проведено с помощью нестационарной термодинамической модели морского льда. В основе алгоритма определения турбулентных потоков импульса, явного и скрытого тепла в региональной модели морского льда лежит полуэмпирическая теория Монина–Обухова. Численные эксперименты по воспроизведению сезонного хода толщины льда в вершине Таганрогского залива проведены для зимних сезонов 2007/08 – 2017/18 годов, метеорологические условия которых существенно различаются. В расчетах использовались как постоянные коэффициенты сопротивления, тепло- и влагообмена, так и полученные с учетом стратификации приземного слоя атмосферы и шероховатости подстилающей поверхности.

Показано, что в условиях продолжительных холодов и наличия ледяного покрова в течение почти всего сезона выбор какого-либо из рассмотренных видов параметризации турбулентного взаимодействия с подстилающей поверхностью не вносит существенных различий в определение максимальной сезонной толщины льда, а также дат замерзания и очищения. Учитывая инерционность развития ледовых процессов и тот факт, что доля реализации устойчивой атмосферы в исследуемом регионе не превышает 10–15 %, а ее продолжительность составляет от нескольких часов (ночное выхолаживание) до суток (при интенсивном таянии), определение коэффициентов обмена с использованием различных алгоритмов не оказали существенного влияния на термическую эволюцию ледяного покрова. Однако в

условиях крайней неустойчивости снежно-ледяного покрова зависимость результатов моделирования от способа определения коэффициентов турбулентного обмена может быть весьма заметной. Наиболее удовлетворительные результаты воспроизведения сезонных изменений толщины ледяного покрова найдены при использовании как постоянных коэффициентов турбулентного обмена $CH = CE \approx 1,7 \cdot 10^{-3}$, так и коэффициентов, полученных с учетом стратификации атмосферы при величине геометрической шероховатости льда ~ 8 см.

ОСОБЕННОСТИ ПРИЛИВНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ЯПОНСКОМ МОРЕ

Ильин В.И.^{1,2}✉, Архипкин В.С.¹, Медведев И.П.²

¹ МГУ, Москва

² ИО РАН, Москва

✉ vsevolod_ilin@mail.ru

Ключевые слова: Японское море, приливы, сезонная изменчивость, численное моделирование, ADCIRC.

Японское море, окраинное море Тихого океана, связано с соседними бассейнами через четыре пролива: Татарский, Лаперуза, Цугару и Корейский. Такое географическое положение формирует уникальные приливные особенности, включая расположение амфидромических точек в проливах и значительные вариации амплитуд приливов, достигающие более двух метров в северной части Татарского пролива, тогда как в центральных районах моря амплитуды существенно ниже. Сложная батиметрия и меняющиеся гидродинамические условия обуславливают выраженную сезонную изменчивость приливов, особенно в Татарском проливе.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью изучения приливных явлений для решения научных и прикладных задач. Приливы оказывают значительное влияние на течения, перенос осадков и береговую эрозию, что требует точного анализа их сезонной динамики и особенностей

формирования, особенно в проливах. Цель работы – анализ сезонной изменчивости приливных гармоник M2, S2, K1, O1 и оценка вклада собственных и индуцированных приливов в Японском море с использованием натурных данных и численного моделирования, а также проведение других численных экспериментов.

Для анализа использовались часовые данные с российских станций (Де-Кастри, Углегорск, Невельск, Рудная пристань, Владивосток, Посыет) и японских станций (Вакканаи, Отару, Отаруко, Мацумае) из базы данных GESLA за 1983–1987 гг. Гармонический анализ выполнен с помощью библиотеки Python UTide методом наименьших квадратов для расчета месячных амплитуд и фаз гармоник M2, S2, K1, O1. Спектральный анализ по методу Блэкмена–Тьюки позволил оценить распределение энергии колебаний уровня моря. Численное моделирование проводилось с использованием модели ADCIRC на триангуляционной сетке с переменным шагом (150 м у берега, до 25 км в открытом море). Цифровая модель рельефа дна базировалась на данных GEBCO-2022 и навигационных картах, а граничные условия включали приливные колебания из FES2014 и данные реанализа ERA5 (давление на уровне моря, концентрация льда, скорость ветра). Численные эксперименты позволили оценить вклад собственных и индуцированных приливов, а также влияние проливов на приливную динамику, особенно Татарского и Корейского.

Результаты показали, что максимальные амплитуды гармоник M2 и S2 наблюдаются в Татарском проливе с увеличением к северу, тогда как амплитуды K1 и O1 относительно равномерны. Сезонная изменчивость подтверждается годовыми колебаниями амплитуд и фаз. Спектральный анализ выявил доминирование гармоники M2 в Де-Кастри и вклад процессов с периодами более 100 часов во Владивостоке. Моделирование на ADCIRC воспроизвело пространственно-временное распределение приливов, включая миграцию амфидромических точек.

Полученные результаты демонстрируют различные особенности приливных явлений в Японском море и важность учета сезонных колебаний для различных научных и прикладных задач.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 24-17-00313.

ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ В ВОДАХ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ С РАЗЛИЧНЫМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

Карпелянский А.О. ✉, Мизюк А.И.

МГИ, г. Севастополь
✉ akarpelyanskiy@mail.ru

Ключевые слова: мезомасштабные вихри, автоматическая идентификация и трекинг вихрей, параметр Окубо–Вейсса, Северная Атлантика, численное моделирование циркуляции.

В настоящей работе выполнен подробный анализ геометрии и динамики мезомасштабных вихрей в северной части Атлантического океана, ограниченного координатами: $6,6^{\circ} - 51^{\circ}$ с. ш. и $98,4^{\circ} - 1,4^{\circ}$ з. д., реконструированных по результатам экспериментальной системы прогнозов Мирового океана ФГБУН ФИЦ МГИ. Численное моделирование циркуляции вод Северной Атлантики выполнено с усвоением данных для двух пространственных разрешений: вихредопускающего ($1/4^{\circ}$, ≈ 24 км) и вихреразрешающего ($1/12^{\circ}$, ≈ 8 км). Временной период – с 1 января 2022 г. по 31 декабря 2024 г.

Процедура идентификации и трекинга океанических вихревых структур выполнена на основе анализа параметра Окуба–Вейсса и относительной завихренности течений. Реализованная процедура автоматической идентификации позволяет получить массивы данных пространственного положения, скоростей дрейфа, знака, размеров и других геометрических характеристик в исследуемой акватории. Это позволяет получать карты пространственного распределения, а также статистический анализ связей между их геометрическими и кинематическими характеристиками. На основе реализованного алгоритма трекинга вихрей получены траектории их перемещения, определено время

жизни, а также уточнены районы наиболее частого возникновения и исчезновения уникальных вихрей.

Результаты анализа демонстрируют ряд широко известных особенностей. Наиболее часто вихри генерируются в акватории и на периферии течения Гольфстрим. Наиболее продолжительные треки вихрей наблюдаются в западной и юго-западной частях региона: вблизи Гвианского течения, в бассейне Карибского моря и водах Мексиканского залива, а также вдоль Гольфстрима. Отмечается уменьшение радиуса вихревых структур с ростом широты. Скорость дрейфа при этом однозначной зависимости от широты не показала. Самые крупные и долгоживущие вихри являются антициклонами.

Использование в анализе результатов с высоким пространственным разрешением, как и ожидалось, позволяет идентифицировать заметно больше вихревых структур. Качественно уточнены области генерации и диссипации вихрей. Значительное их число имеют размеры в интервале 30–40 км и скорости дрейфа до 10–15 см/с. Стоит отметить, что скорости дрейфа в большинстве радиусных диапазонов увеличиваются по мере увеличения размеров вихрей, как для циклонов, так и для антициклонов.

В докладе также представлены предварительные результаты обобщения процедуры идентификации для анализа трехмерной структуры вихревых образований и их визуализации.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ КООРДИНАТ И МОМЕНТА ВРЕМЕНИ ВЫБРОСА ЗАГРЯЗНЕНИЙ ТОЧЕЧНОГО ИМПУЛЬСНОГО ИСТОЧНИКА В АЗОВСКОМ МОРЕ

Кочергин В.С. ✉, Кочергин С.В.

МГИ, г. Севастополь

✉ vskocher@gmail.com

Ключевые слова: модель переноса, сопряженные уравнения, идентификация источников загрязнения, Азовское море.

Экологическая обстановка в акватории Азово-Черноморского бассейна приводит к необходимости создания таких систем мониторинга окружающей среды, которые позволяют оценивать ее состояние в районах техногенного воздействия. Применение современной вычислительной техники дает возможность получения такой информации о состоянии исследуемого объекта. Решение задач переноса загрязнений различного характера в море возможно на основе методов математического моделирования. Особо актуальной и важной задачей является определение координат и момента времени выброса загрязнений от точечного импульсного источника. Задача решается на основе интегрирования серии сопряженных задач. В работе рассматривается алгоритм идентификации местоположения и момента времени выброса мгновенного точечного источника загрязнения. Задача решается для акватории Азовского моря. Результаты расчетов при различном ветровом воздействии являются входной информацией при интегрировании модели переноса пассивной примеси и сопряженной задачи. В работе показана возможность идентификации местоположения и момента выброса мгновенного точечного источника загрязнения при помощи решения серии сопряженных задач.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГЛУБИННЫХ И ПРИДОННЫХ ВОД В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТРОПИЧЕСКОЙ АТЛАНТИКИ

Крашенинникова С.Б.^{1,3✉}, Бабич С.А.²,
Демидов А.Н.³, Бабич М.С.¹

¹ИнБЮМ, г. Севастополь

²МГИ, г. Севастополь

³МГУ, г. Москва

✉ svetlanabk@mail.ru

Ключевые слова: переносы, температура воды, соленость, водные массы, тропическая Атлантика.

В работе исследовалась межгодовая изменчивость и линейные тренды переносов массы, термохалинные характеристики глубинных и придонных вод через разрез 4–8° с. ш. тропической Атлантики с использованием данных контактных ретроспективных наблюдений WAGHC (1986–2016 гг.), данных измерений 60-го рейса НИС «Академик Иоффе» (октябрь 2022 г.), реанализа GLORYS12v1 (1993–2023 гг.) и данных проекта MOVE (2000–2021 гг.). С помощью спектрального анализа выделены типичные периоды (0,5; 1; 2–3; 6–8; 11 лет) изменчивости переносов и термохалинных характеристик Североатлантических глубинных (САГВ) и антарктических донных вод (ААДВ) с учетом их разделения по долготе и глубине в западной части тропической Атлантики.

Установлено, что распространение САГВ от 16 до 4° с. ш. происходит за 6–8 лет.

Усиление переноса САГВ в южном направлении на 16° с. ш. получено по данным MOVE и на 4–8° с. ш. по реанализу GLORYS12v1 за 2000–2021 гг., при этом выявлено его ослабление на этих же широтах за более длительный период 1993–2023 гг. Потепление и осолонение САГВ в районе Гвианского разреза за период 1993–2023 гг. получено как по данным контактных наблюдений, так и по реанализу.

Увеличение переноса ААДВ в этом районе в северном направлении установлено по ренализу за 1993–2023 гг. Многолетняя тенденция к охлаждению и опреснению ААДВ на разрезе через 4–8° с. ш. получена по большинству ретроспективных данных, что подтвердилось разницей термохалинных полей по данным измерений рейса АИ60 и среднего многолетнего массива WAGHC. Однако по реанализу за 1993–2023 гг. получен противоположный результат.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 23-17-00032, а также по теме госзадания ФГБУН ФИЦ МГИ № FNNN-2024-0014 (Бабич С.А.), по которой была выполнена подготовка данных реанализа.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ СУБМЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ В СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТИ YOLO11 С ОБУЧЕНИЕМ ПО МОДЕЛИ NEMO

Кубряков А.А. ✉, Добродий В.А., Мизюк А.И.

МГИ, г. Севастополь

✉ arskubr@ya.ru

Ключевые слова: нейросети, YOLO11, NEMO.

В данной работе представлен подход к автоматизированной идентификации субмезомасштабных вихрей, основанный на использовании нейросетевой архитектуры YOLOv11, обученной на синтетических данных, полученных из численного моделирования океанических процессов с помощью модели NEMO. В качестве ключевого этапа была реализована система генерации обучающего массива, в основе которой лежит применение метода Окубо–Вейса для автоматического выделения вихревых структур на полях скорости модели с разрешением 1 км для Черного моря за период 2009–2011 гг. В каждом случае, где были зафиксированы вихри, из модели извлекались соответствующие участки полей температуры, солёности и дивергенции, что

позволило сформировать более 100 000 изображений для последующего обучения нейросети.

Предложенный алгоритм показал высокую эффективность в распознавании субмезомасштабных вихрей как в синтетических полях численного моделирования, так и в реальных спутниковых изображениях высокого разрешения, включая данные Landsat и Sentinel-2. Особенность метода заключается в том, что, несмотря на обучение на данных моделирования, разработанная конфигурация демонстрирует устойчивую способность выявлять вихревые структуры в полях оптических и температурных параметров, присутствующих на спутниковых снимках, включая регионы Черного моря и Арктики.

Разработанный инструмент был применён для анализа пространственно-временной изменчивости субмезомасштабной динамики в Чукотском море по 111 спутниковым изображениям Landsat за период 2015–2024 гг. Результаты подтверждают применимость предложенного метода для широкомасштабного мониторинга вихревой активности на основе спутниковых данных.

СТАТИСТИКА МЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ ДЛЯ ШЕЛЬФА ЧЕРНОГО МОРЯ

Лемешко Е.Е.

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

Ключевые слова: синоптические и мезомасштабные вихри, альтиметрия, реанализ, спутниковые методы, численное моделирование, Черное море, MODIS, SWOT.

На основе методов автоматической идентификации мезомасштабных вихрей по данным численного моделирования с разрешением ~ 1 км и спутниковых данных альтиметра SWOT были определены характеристики вихрей для различных районов шельфа Черного моря. В результате получены оценки влияния

потокaов плавучести, связанных с захватом вихрями распресненных шельфовых вод, на их структуру, интенсивность, эволюцию и пути распространения распресненных вод. В итоге получены предварительные закономерности влияния вихревой динамики на кросс-шельфовый обмен, вентиляцию вод шельфа, перенос взвешенных и биогенных веществ. Полученные результаты помогут развить оптимальные системы комплексного мониторинга океана и могут использоваться для других шельфовых районов морей Российской Федерации.

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

АТЛАНТИЧЕСКОЕ ТЕПЛО И ГРЕНЛАНДСКИЙ ЛЕД

Лис Н.А. ✉, Чернявская Е.А.

АНИИИ, г. Санкт-Петербург

✉ *naty_vyazik@mail.ru*

Ключевые слова: Гренландское море, Атлантическая рециркуляция воды, морской лед, теплосодержание.

В условиях ускоренных климатических изменений в Арктике Северо-Европейский бассейн (СЕБ) играет критическую роль как ключевой регион взаимодействия Атлантического и Арктического океанов. Этот район, включающий Норвежское, Гренландское и Баренцево моря, служит основным каналом проникновения теплых атлантических вод (АВ) в Арктику, формируя сложные обратные связи, влияющие на ледовый режим. В результате корреляционного анализа площади старых льдов в Гренландском море и теплосодержанием в верхнем 300-метровом слое южной части Норвежского моря были выявлены противоречивые тенденции: в северо-восточной части Гренландского моря (ГМ) наблюдается стабилизация многолетнего льда при увеличении притока АВ в Норвежское море (НМ). Данный феномен, обусловленный региональной океанической динамикой, требует углубленного изучения.

В работе использованы данные реанализа ORAS5 (Ocean Reanalysis System 5) за период 1997–2023 гг. в узлах сетки ($0,25^\circ \times 0,25^\circ$) о теплосодержании верхнего слоя океана (0–300 м). Площадь старых припайных льдов в Гренландском море получена из электронного архива лаборатории ледового режима и прогнозов ААНИИ с месячной дискретностью для зимнего сезона (январь–апрель) за 1997–2022 гг.

В работе предложена гипотеза, объясняющая парадоксальную связь между усилением притока АВ в НМ и стабилизацией льда в ГМ через каскад процессов, опосредованных рециркуляцией в проливе Фрама.

Рециркуляция атлантических вод в проливе Фрама [1] выступает ключевым звеном в отрицательной обратной связи: каскадный механизм, начинающийся с усиления меандрирования Западно-Шпицбергенского течения (ЗШТ), приводит к рециркуляции до 30 % атлантических вод, что вызывает изоляцию тепла под галоклином [2] и, как следствие, активизацию Восточно-Гренландского течения, обеспечивая сохранение многолетнего льда с лагом 3–4 года [3]. Данный процесс подчеркивает важность региональной океанической динамики для прогнозирования ледовых условий в условиях меняющегося климата.

1. Morozov E. G., Frey D. I. Currents and Tides in the Fram Strait and Greenland Sea // *Oceanology*. – 2024. – V. 64. – №. 5. – P. 658–669.

2. Willcox E. W. et al. An updated view of the water masses on the Northeast Greenland shelf and their link to the Laptev Sea and Lena River // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. – 2023. – V. 128. – №. 4. – C. e2022JC019052.

3. Luo M., Zhou C., Li M. Sea ice volume variability and its influencing factors in the Greenland Sea during 1979–2022 // *Acta Oceanologica Sinica*. – 2025. – P. 1–15.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ФИТОПЛАНКТОНА ЧЕРНОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ РАСЧЕТОВ ТРЕХМЕРНОЙ ЧИСЛЕННОЙ ФИЗИКО- БИОХИМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ BFM+NEMO

Лишаев П.Н. ✉, Кубряков А.А., Кубрякова Е.А.

МГИ, г. Севастополь

✉ pavellish@mail.ru

Ключевые слова: численное моделирование, фитопланктон, NEMO, BFM, биогеохимия.

В работе представлены результаты исследования функционирования первичного звена экосистемы Черного моря – фитопланктона. В модельных исследованиях рассмотрены основные функциональные группы водорослей, которые определяют, в основном, динамику фитопланктона и первичную продуктивность рассматриваемого бассейна, а именно крупные и мелкие диатомовые водоросли, динофлагелляты и кокколитофориды. Разрешение модели по пространству составляет 10 км. Период расчета 2008–2011 гг. Используемая модель BFM включает изменчивость элементов углеродного, азотного и фосфорного циклов. В модели включены окислительно-восстановительные реакции с учетом кислорода, сероводорода и марганца. Особенности пространственной и временной изменчивости концентрации хлорофилла *a* и кислорода согласуются с данными контактных измерений и буев-профиломеров Био-Арго.

Результаты моделирования позволили воспроизвести особенности временной и пространственной изменчивости концентрации кокколитофорид. В соответствии с данными буев Био-Арго и спутникового зондирования максимум цветения кокколитофорид приурочен к концу весны – началу лета (май–июнь). Летнее цветение наиболее распространено в центральной части Черного моря, затем максимальные величины с течением времени смещаются в области континентального склона.

Моделирование экосистемы Черного моря позволяет оценить пространственную изменчивость биологических и химических компонент, связанную с различными динамическими процессами.

Настройка трехмерной модели NEMO+BFM для Черного моря выполнена в рамках гос. задания FNNN-2024-0012 «Оперативная океанология», исследование влияния динамических факторов на изменчивость фитопланктона выполнено в рамках гранта РФФ №23-17-00056.

НОВАЯ ВЕРСИЯ РЕАНАЛИЗА ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ЧЕРНОГО МОРЯ

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

МГИ, г. Севастополь
✉ artem.mizyuk@mhi-ras.ru

Ключевые слова: Черное море, гидрофизические поля, реанализ, NEMO, ассимиляция данных.

В работе дается описание особенностей проведения новой версии реанализа гидрофизических полей Черного моря. В качестве модели циркуляции используется региональная конфигурация вод Эвксинского каскада (BAMS24) на базе комплекса численного моделирования динамики океана NEMO.

Инициализация полей выполняется на основе адаптационного расчета. При этом начальные поля в бассейнах Черного и Мраморного морей задаются на основе температуры и солености из продуктов глобального анализа службы CMEMS. Для Азовского моря поля температуры и солености построены посредством объективного анализа наблюдений *in situ* из объединенного массива

обработанных данных по Черному морю службы CMEMS и океанографической базы SeaDataNet (Европейской инфраструктуры управления океанскими и морскими данными) (<https://www.seadatanet.org/>).

Атмосферное воздействие задается на основе полей реанализа ERA5 Центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF), имеющих пространственное разрешение $0,25^\circ$ и временное разрешение 1 ч. При проведении реанализа учитываются расходы 16 рек Эвксинского каскада. Посредством постановки граничных условий на открытой границе в Мраморном море учитывается водообмен со Средиземным морем.

Процедура проведения реанализа основана на ассимиляции трехмерных полей температуры и солёности моря, полученных на базе процедуры совместного анализа аномалий альтиметрического уровня и профилей температуры и солёности. Предварительно измерения температуры и солёности были отфильтрованы по оригинальной методике Ратнера Ю.Б. Это позволило реконструировать поля термохалинных характеристик в слое глубже главного термоклина более качественно по сравнению с ранними версиями процедуры. В верхних слоях поля были восстановлены на основе многомерной регрессии, предложенной ранее Белокопытовым В.Н. и Жук Е.В.

Результаты валидации термохалинных характеристик показали улучшение точности в верхних слоях. Дополнительно рассмотрены результаты реанализа с усвоением нового продукта температуры поверхности Черного моря из системы Коперник.

РЕЖИМ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ В РАЙОНЕ Г. СУДАКА (КРЫМ)

Михайличенко С.Ю. ✉, Харитонов Л.В.,
Алексеев Д.В., Фомин В.В.

МГИ, г. Севастополь
✉ liham1984@rambler.ru

Ключевые слова: ветровые волны, волновой климат, математическое моделирование, модель SWAN, береговая зона, Черное море, Судак, Крым.

Проведено исследование статистических характеристик и пространственной структуры ветрового волнения в прибрежной акватории г. Судак (Республика Крым) методами статистического анализа и математического моделирования.

На основе данных реанализа ветрового волнения, полученных с использованием спектральной модели SWAN и полей приземного ветра ERA-Interim и ERA5 за период 1979–2019 гг., проведены расчеты режимных характеристик волнения в береговой зоне исследуемого района. Выявлено, что волнение с высотами значительных волн менее 0,5 м и средними периодами 2,5–3,5 с составляет 49 % всех случаев; повторяемость волн с высотами 1,0 м и более 2,5 м – 8 % и 1 % соответственно. Для исследуемого района наиболее вероятны штормовые волны, приходящие от востока-юго-востока (повторяемость 14 %) и юго-юго-запада (повторяемость 14 %). Среднее многолетнее значение продолжительности штормов составляет 14,2 суток, суммарное значение по годам варьируется от 5,5 до 172,4 суток. Наиболее продолжительные штормовые ситуации возникают с декабря по январь, минимальная продолжительность штормов отмечается в июне–июле. Определены высоты, периоды и длины волн в системе расчетных штормов, возможных 1 раз в n лет.

На основе модели SWAN с высоким пространственным разрешением ($\sim 2 \times 2$ м) выполнено математическое моделирование волновых полей для штормов 4 %-ной режимной обеспеченности

для 8 основных румбов направлений ветра. Для повышения точности математического моделирования волновых полей использовался 5-шаговый метод вложенных сеток. Получены пространственные распределения высоты значительных волн, среднего направления волнения и скорости придонных волновых течений. Выявлено, что наиболее интенсивное волнение в исследуемом районе возникает при ветрах юго-западного, южного и юго-восточного направлений, что вызвано максимальными разгонами ветра. При этом расчетные высоты значительных волн на изобате 10 м составили ~ 5 м, у оконечности бун на набережной г. Судака – ~ 2 м. В восточной части исследуемой области при юго-восточном и восточном ветрах образуется зона волновой тени от мыса Алчак. Во всех рассмотренных случаях, кроме действия ветра от севера, в береговой зоне фронты волн разворачиваются параллельно изобатам, что связано с рефракцией. Северный ветер приводит к образованию волн, направленных от берега на юго-восток. Максимальные придонные орбитальные скорости образуются в береговой зоне у мыса Алчак и могут достигать >3 м/с.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания № FNNN-2024-0016.

ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ У ПОБЕРЕЖЬЯ МАРОККО И ИХ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ

Мищенко А.С. ✉, Хаймина О.В.

РГГМУ, г. Санкт-Петербург
✉ *micchenkova01@gmail.com*

Ключевые слова: Канарский апвеллинг, пространственное разделение, квазипериодичность, ENSO, промысловая динамика, прогностическое моделирование.

В процессе комплексного изучения системы Канарского архипелага была идентифицирована нетипичная пространственная

структура в распределении гидрохимических параметров в пределах двух очаговых зон Канарского апвеллинга. Дальнейшее исследование позволило обосновать целесообразность трехсекторной дифференциации акватории, что соотносится с концептуальными подходами П.П. Чернышкова (2006) и В.Н. Малинина (2002).

Исследование базируется на анализе многолетних рядов океанологических параметров: температура и солёность поверхностного слоя (1993–2021 гг.), концентрации растворенного кислорода и минерального фосфора (1993–2021 гг.), температура поверхности океана (ТПО) (1965–2021 гг.), промышленная статистика в зоне Марокко (1958–2021 гг.), индекс Южного колебания (SOI) (1951–2021 гг.).

Верифицирована обоснованность трехсекторного разделения акватории Канарского апвеллинга посредством выявления статистически достоверных различий в долговременной динамике гидрологических и гидрохимических параметров между выделенными секторами.

Посредством кластерного анализа выявлены устойчивые группы термических режимов, специфичные для каждого сектора и сезона. Анализ долговременной изменчивости ТПО выявил очевидную квазипериодичность гидрологических аномалий с характерным временным масштабом 12–13 лет, что подтверждается наличием сходных океанографических условий в 1970, 1979, 1992, 2007 и 2019 годах. Аналогичные процессы наблюдались для Перуанского апвеллинга и были связаны с явлением Эль-Ниньо.

Установлена корреляционная связь между многолетними рядами вылова основных промысловых объектов и индексом Южного колебания (SOI), что может свидетельствовать о существенном влиянии ENSO на экосистему Канарского апвеллинга.

На основании выявленных закономерностей с использованием нейросетевого подхода разработана прогностическая модель термического режима исследуемой акватории, позволяющая прогнозировать аномальные годы с нетипичным распределением характеристик. Данный инструмент способствует оптимизации промыслового усилия и своевременной корректировке промысловой стратегии в условиях изменяющихся океанологических параметров.

КОРРЕЛЯЦИОННАЯ СТРУКТУРА ПОЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И УРОВНЯ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЬНЫХ И СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ С РАЗЛИЧНЫМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

Морозова М.И. ✉, Григорьев А.В.

ГОИН, г. Москва
✉ *mmi1998@mail.ru*

Ключевые слова: Черное море, регион Новороссийск–Геленджик, корреляционная структура, поля температуры и уровня моря.

Корреляционные функции полей являются основой алгоритмов ассимиляции данных натурных наблюдений в численных моделях, основанных на вероятностных подходах – фильтра Калмана и оптимальной интерполяции. В настоящее время наиболее массовыми и регулярными по времени являются спутниковые наблюдения над температурой поверхности моря (SST) и уровнем (SSH). Эти данные в течение многих лет используются для их ассимиляции в численных моделях Черного моря. При этом степень корректности использования данных спутниковой альтиметрии (SSH) для корректировки профилей и полей солёности в прибрежных водах моря вызывает сомнения, в первую очередь, по причине отсутствия автотемпературности профилей солёности на малых глубинах, в отличие от глубоководной области моря.

Для оценки эффективности ассимиляции в численных моделях была выбрана северо-восточная область Черного моря, включающая в себя район подспутникового Полигона «Геленджик» (ЮО ИО РАН им. П.П. Ширшова). Результаты наблюдений на Полигоне, выполняемые как зондирующими, так и буксируемыми приборами, позволяют получать данные контактных наблюдений над гидрофизическими характеристиками вод и на их основе оптимизировать алгоритмы ассимиляции.

В качестве моделей гидродинамики использовался комплекс численных моделей – общесейсмической (МГИ РАН, NEMO проекта Copernicus, горизонтальное разрешение ~ 5 км), региональной северо-восточной области RuReM (базовый алгоритм POM, горизонтальное разрешение ~ 1 км) и локальной региона Новороссийск–Геленджик (POM, горизонтальное разрешение ~ 150 м). Модели совмещены по технологии вложенных сеток, т. е. в качестве начальных и граничных условий для моделей мелкого масштаба задаются данные из моделей более крупного.

Для расчета корреляционных функций полей SST и SSH использовались площадные, интерполированные на сеточные модельные области, и трековые данные спутников Modis Terra, Aqua (шаг исходных данных порядка 10 км), а также продукт SWOT (шаг по горизонтали < 2 км). Рассчитывались корреляционные функции температуры на поверхности T и уровня моря L по региональной и локальной моделям на выбранных пространственных сетках по соответствующим данным SST и SSH и по данным треков. Периоды расчетов – июль 2016 г. и июнь 2022 г. Летние месяцы были выбраны, поскольку в это время года в Черном море хорошо выражена синоптическая динамика вод, находящая свое отражение в термохалинных полях и полях уровня. 2016 – год длительной работы зондирующего комплекса Аквалог, 2022 год – период проведения эксперимента по прибрежной оперативной океанографии на Полигоне «Геленджик».

Полученные корреляционные функции соответствуют гидрофизическим процессам в районе исследований. В частности, радиусы корреляции для глубоководной и шельфовой зон моря различны и составляют соответственно ~ 50 и ~ 25 км. Их аналитические аппроксимации могут быть использованы в алгоритмах ассимиляции данных SST и SSH в численных моделях гидродинамики с мезо- и субмезомасштабным пространственным разрешением.

ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ШТОРМА ФЕВРАЛЯ 2020 Г. В ЧЕРНОМ МОРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛЕЙ SWAN-SWASH

Морозова С.М.^{1✉}, Мысленков С.А.^{1,2}

¹ МГУ, г. Москва

² ИО РАН, г. Москва

✉ sofya-morozova-2001@mail.ru

Ключевые слова: Черное море, ветровое волнение, моделирование, SWAN, SWASH.

Информация о параметрах ветрового волнения остается востребованной в ряде задач: мореплавании, морском промысле, прибрежном строительстве, науке и т. д. Поэтому надежное прогнозирование необходимо для безопасного судоходства и минимизации рисков при проведении прибрежных работ в открытом море. Для моделирования волн в прибрежных районах используются различные виды волновых моделей в зависимости от задачи. В данной работе проведены модельные расчеты для нескольких стадий развития шторма 4–5 февраля 2020 г. в Черном море с использованием связки моделей SWAN-SWASH. В качестве района исследования был выбран участок побережья в районе мыса Малый Утриш со сложным рельефом дна.

На первом этапе в модели SWAN были проведены расчеты на трех вложенных сетках с разрешением 10 км, 2 км и 400 м. Затем из расчетов на открытых границах домена SWASH извлекались волновые спектры. Далее модель SWASH запускалась с учетом спектров на входных границах и подробного рельефа дна (шаг сетки 1 м) для района Утриша для воспроизведения нелинейных процессов при подходе волн к берегу. Моделирование каждой стадии шторма в SWASH длилось по 3 минуты с шагом 0,05 секунд. По результатам моделирования были построены схемы распространения индивидуальных волн в домене для анализа воздействия рельефа дна на различные волновые спектры.

Результаты по модели SWASH по высоте и периоду были сопоставлены с данными волнового буя, установленного к северо-западу от мыса Малый Утриш.

ОСОБЕННОСТИ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ В МОРЯХ РОССИИ

Мысленков С.А.

МГУ, г. Москва
✉ stassas@yandex.ru

Ключевые слова: ветровые волны, моделирование волнения, моря России, WAVEWATCHIII.

В связи с изменениями климата меняется и ветро-волновой режим морей, омывающих Россию, что делает актуальными исследования ветровых волн включающие последнее десятилетие. Данная работа базируется на данных спектральной волновой модели WAVEWATCHIII. При моделировании использовались данные о ветре и концентрации льда из реанализа NCEP/CFSR/CFSv2 с 1979 по 2021–2023 гг. Вычисления проводились на неструктурных вычислительных сетках с высоким пространственным разрешением в прибрежной зоне. Расчеты выполнены для всех морей России. Оценки качества моделирования выполнялись на основе прямых и спутниковых данных наблюдений.

По данным моделирования для каждого из морей построены карты распределения основных характеристик волнения: высоты волн, периода и длины волн. Карты построены для распределения среднесноголетних, максимальных значений и 95-го перцентиля по каждому параметру. Также для акватории каждого из морей выполнен анализ случаев штормового волнения по методике Peak Over Threshold.

Средкватратическая ошибка для модели составляет 0,2–0,3 м. Наиболее высокие значения по высоте волны наблюдаются в Беринговом, Баренцевом и Охотском морях. Согласно расчетам

повторяемости случаев штормового волнения практически во всех морях, кроме Черного и Баренцева, наблюдается положительный тренд. Полученные статистические данные доступны в сети интернет через специальный веб-атлас ветрового волнения.

ТУРБУЛЕНТНЫЕ ПОТОКИ ТЕПЛА И ИМПУЛЬСА В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Новикова Е.В.¹✉, Репина И.А.^{1,2,4}✉,
Артамонов А.Ю.¹, Гавриков А.В.^{1,3}

¹ИФА РАН, г. Москва

²МГУ, г. Москва

³ИО РАН, г. Москва

⁴Московский центр фундаментальной и прикладной
математики, г. Москва

✉ elvnov@rambler.ru

✉ repina@ifaran.ru

Ключевые слова: пограничный слой атмосферы, турбулентные потоки, метод ковариации пульсаций, прибрежная зона.

Турбулентные процессы в пограничном слое атмосферы являются основным механизмом обмена массой и энергией между атмосферой и поверхностью. Традиционно в современных моделях используются упрощенные схемы расчета энергообмена с поверхностью, основанные на теории подобия Монина–Обухова, которая предполагает горизонтальную статистическую однородность подстилающей поверхности, однако это предположение нарушается в прибрежной зоне, где происходит резкое изменение характеристик подстилающей поверхности, из-за чего возникают значительные горизонтальные градиенты. Поэтому для изучения статистических характеристик турбулентности пограничного слоя атмосферы в прибрежной зоне необходимы экспериментальные данные.

В работе были использованы данные измерений метеорологической мачты, расположенной на берегу Балтийского моря в Калининградской области на научно-практической базе Балтийского университета им. И. Канта. Мачта работала с июля 2023 г. по февраль 2025 г., имеет высоту 57 м и оборудована пятью уровнями измерений. Благодаря наличию высокочастотных и высокоточных данных о трех компонентах скорости ветра, измеренных акустическим анемометром, установленным на мачте, удалось рассчитать статистические характеристики турбулентности и потоки тепла и импульса по методу турбулентных пульсаций, который является наиболее точным. Наличие метеорологических данных на нескольких высотных уровнях метеорологической мачты позволило рассчитать потоки тепла и импульса по потоково-градиентному методу и оценить его точность для прибрежной зоны, однако результаты показали, что для подстилающей поверхности с такой сложной структурой лучше использовать «прямой» метод турбулентных пульсаций. В работе также был проведен анализ зависимостей статистических характеристик турбулентности, таких как зависимость нормализованных стандартных отклонений компонент скорости ($\phi_a = \sigma_a / u^*$) от локального параметра устойчивости Мони́на–Обухова ($\zeta = z/L$), а также зависимость коэффициента сопротивления (CD) от скорости ветра, при потоках ветра с моря и с суши. Было показано, что эти зависимости имеют более выраженную структуру при морских ветрах, так как поверхность моря является более однородной по сравнению с поверхностью суши. Анализ данных показал различие структуры атмосферного пограничного слоя над сушей и над морем.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 24-17-00155.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЭКВАТОРИАЛЬНЫХ ОКЕАНСКИХ ВОЛН В КЛИМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИВМ РАН

Онопrienко В.А. ✉, Яковлев Н.Г.

ИВМ РАН, г. Москва

✉ vonopr@ya.ru

Ключевые слова: экваториальные волны, моделирование океана.

Точное моделирование распространения экваториальных волн Кельвина (характерное время ~2–3 месяца) с минимальной диссипацией критически важно для воспроизведения механизмов запуска Эль-Ниньо в климатических моделях. В работе исследуется воспроизведение собственных мод экваториальных волн океаническим блоком климатической модели ИВМ РАН с использованием тестовой конфигурации бароклинной волны Мацуно. Основное внимание уделено анализу влияния выбора разностной схемы аппроксимации уравнений динамики океана на точность численных решений.

Проведенный анализ показал, что исходная полностью неявная по времени разностная схема приводит к значительному затуханию экваториальных волн. Для улучшения качества воспроизведения волновой динамики предложены и реализованы модификации: 1) переход к схеме Кранка–Никольсон для интегрирования по времени; 2) применение триадного метода аппроксимации силы Кориолиса, сохраняющего глобальную кинетическую энергию и энстрофию. Показано, что данные модификации существенно увеличивают время жизни собственных экваториальных мод океана в модели.

Полученные результаты подчеркивают важность аппроксимации уравнений динамики для моделирования экваториальной волновой динамики и предлагают пути повышения адекватности океанической компоненты модели ИВМ РАН в контексте прогноза Эль-Ниньо.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДУЛЯЦИИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ТУРБУЛЕНТНОГО ОБМЕНА ЦИРКУЛЯЦИЯМИ ЛЕНГМЮРА В ВОЛНОВОМ СЛОЕ МОРЯ

Павлов М.И. ✉, Чухарев А.М.,
Павленко О.И., Хлыстов В.А.

МГИ, г. Севастополь
✉ mixail.pavlov.1993@mail.ru

Ключевые слова: вертикальный турбулентный обмен, волновой слой моря, скорость диссипации энергии, экспериментальные исследования, циркуляции Ленгмюра, турбулентное число Ленгмюра.

Атмосферный приводный слой и приповерхностный слой океана представляют собой подслои пограничных слоев, примыкающих к границе раздела «воздух–вода», и играющих важнейшую роль в формировании турбулентных потоков. Турбулентность в верхнем пограничном слое океана оказывает значительное воздействие на потоки тепла, импульса и газов, которыми обмениваются океан и атмосфера. Кроме того, она является ключевым фактором в процессах вертикального перемешивания. В последнее время достаточно много внимания уделяется циркуляциям Ленгмюра (ЦЛ), которые пока изучены недостаточно.

В теоретических моделях влияние ЦЛ на вертикальный турбулентный обмен некоторыми авторами описывается через LES-моделирование (large-eddy simulation). Модели турбулентного обмена при скоростях ветра 1–6 м/с, и незначительном волнении показывают существенно заниженные значения, и могут расходиться с экспериментальными данными на 2–3 порядка. По мнению ряда исследователей, такое расхождение может быть обусловлено влиянием ЦЛ.

Для разработки более достоверной параметризации ЦЛ и возможности ее встраивания в модели турбулентности на стационарной океанологической платформе в период с 2019 по 2024 гг. исследовалось влияние ЦЛ на вертикальный турбулентный обмен. С применением широкого набора аппаратуры в приповерхностном слое моря проведены измерения основных гидрофизических полей, включая их пульсационные характеристики. На основе измерений вертикальной компоненты скорости W в зонах конвергенции были определены зависимости параметров ЦЛ от скорости ветра V_{10} . Анализ натурных измерений позволил установить связь параметров ЦЛ с характеристиками поверхностного волнения через турбулентное число Ленгмюра La_t . Также были определены зависимости скорости диссипации турбулентной энергии ε в волновом слое от параметров ЦЛ. Выявлены два различных режима развития ЦЛ, которые в разной степени влияют на ε .

В диапазоне скоростей ветра 1–6 м/с основные различия в параметрах ЦЛ для этих режимов могут быть описаны следующими соотношениями: $La_{t2} \approx La_{t1}/1,5$; $W_2 = 3,3 \cdot W_1$; $\varepsilon_2 \approx 2 \cdot \varepsilon_1$. Для второго режима увеличение скорости ветра не приводит к разрушению ЦЛ, а способствует их дальнейшему развитию, что, в свою очередь, приводит к более интенсивной турбулизации волнового слоя, в отличие от первого режима, где усиление волнения приводит к разрушению ЦЛ. Полученные результаты могут быть использованы для улучшения моделей, прогнозирующих распределение коэффициентов турбулентного обмена в перемешанном слое при слабых и умеренных ветрах.

ОСОБЕННОСТИ ЦИРКУЛЯЦИИ В ЧЕРНОМ МОРЕ, ВЫЗВАННЫЕ ПЛАНЕТАРНЫМ И ТОПОГРАФИЧЕСКИМ В-ЭФФЕКТОМ

Павлушин А.А.

МГИ, г. Севастополь
✉ *pavlushin@mhi-ras.ru*

Ключевые слова. Черное море, численное моделирование, крупномасштабная циркуляция, планетарный β -эффект, топографический β -эффект, волны Россби, сохранение потенциального вихря.

Численное моделирование с использованием двухслойной вихреразрешающей модели позволило выявить ряд особенностей циркуляции в Черном море, которые возникают из-за широтной изменчивости параметра Кориолиса (планетарный β -эффект) и изменения глубины моря (топографический β -эффект).

Согласно теории, в движущейся жидкости планетарный и топографический β -эффекты могут порождать длинные долгопериодные волны Россби. Эти волны относятся к классу градиентно-вихревых волн и образуются в соответствии с принципом сохранения потенциального вихря. В океане этот принцип хорошо выполняется для движений синоптического и большего масштабов.

В результате сохранения потенциального вихря любое морское течение с меридиональной составляющей стремится перемещаться в западном направлении в виде планетарной волны Россби. В Черном море это приводит к максимальному распространению Основного Черноморского течения (ОЧТ) на запад. Смещению на запад восточной ветви ОЧТ препятствует ветер с циклонической завихренностью, который наиболее интенсивен в восточной части моря.

Топографические волны Россби формируются, только если течение распространяется над наклонным дном поперек изобат. В глубоководном слое Черного моря моделирование выявило несколько мест интенсивного образования топографических волн

Россби. Одна область находится на востоке моря севернее Трабзона, другая – юго-западнее Крыма, третья – южнее Керченского пролива.

Еще одна особенность, связанная с планетарным β -эффектом, проявилась при сравнении результатов численных экспериментов с разными значениями параметра β . Оказалось, что при увеличении β ОЧТ более интенсивно меандрирует вдоль северо-восточного и северного берега, чем вдоль южного.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме FNNN-2024-0012.

СЛЕДЫ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ В АНОМАЛИЯХ ВЫСОТЫ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА

Пиваев П.Д.^{1,2}✉, Кудрявцев В.Н.^{2,1}

¹МГИ, г. Севастополь

²РГГМУ, г. Санкт-Петербург

✉ pivaev.pavel@gmail.com

Ключевые слова: тропические циклоны, высота поверхности океана, бароклинная мода, баротропная мода.

Тропические циклоны (ТЦ) оставляют «следы» на поверхности океана в виде аномалий высоты поверхности океана (ВПО), которые хорошо наблюдаются спутниковыми альтиметрами. В работе исследуется формирование таких аномалий с помощью упрощенной модели бароклинной и баротропной реакции океана на движущиеся ТЦ. Аномалии ВПО модулируются в следах ТЦ, наблюдавшихся в различных районах Мирового океана с 2010 по 2020 год. Расчёты показывают, что существенный вклад в аномалии ВПО вносят первая и вторая бароклинные моды, а вклад третьей бароклинной моды имеет второстепенное значение. Относительный вклад баротропной моды существенно зависит от локальной глубины океана и тем больше, чем меньше его глубина, однако роль этой моды в формировании наблюдаемых альтиметрами аномалий ВПО

можно считать пренебрежимо малой из-за короткого времени жизни баротропного возмущения. Параметризации спутниковых альтиметрических измерений аномалии ВПО могут быть воспроизведены суперпозицией первых трех бароклинных мод, описывающих реакцию океана на прохождение ТЦ, причём для этого необходимо использовать коэффициент сопротивления морской поверхности, имеющий приблизительно постоянное значение $2,25 \cdot 10^{-3}$ при ураганных ветрах.

Работа выполнена в рамках государственного задания FNNN-2024-0001 в ФГБУН ФИЦ МГИ и государственного задания FSZU-2025-0005 в РГГМУ.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ МЕТЕОЦУНАМИ В РАЙОНЕ БАЛЕАРСКИХ ОСТРОВОВ

Пилик Д.И.^{1,2}✉, Рабинович А.Б.², Архипкин В.С.¹

¹ МГУ, г. Москва

² ИО РАН, г. Москва

✉ dariapilik12@mail.ru

Ключевые слова: метеоцунами, Балеарские острова.

Явление метеоцунами встречается во многих прибрежных районах Мирового океана, однако есть регионы, где оно носит регулярный характер и может приводить к серьезным последствиям. В районе Балеарских островов на о. Менорка в бухте Сьутаделья метеоцунами (локальное название «риссага») наблюдается ежегодно с мая по сентябрь, и раз в 4–5 лет на фоне данного явления происходят аномальные подъемы уровня, приводящие к гибели людей и разрушениям прибрежной инфраструктуры.

Для детального изучения событий риссага в рассматриваемой бухте Институтом Балеарских островов был проведен эксперимент LAST-97. В период с мая по сентябрь 1997 г. шесть датчиков

придонного давления фиксировали колебания уровня на шельфе и непосредственно в самой бухте с дискретностью 1 минута. Одновременно с этим три микробарографа, установленные на суше, фиксировали ход атмосферного давления с дискретностью 30 секунд. Во время измерений было зарегистрировано 8 событий риссага разной интенсивности. Максимальная высота волны достигала 120,4 см при скачке атмосферного давления около 4,5 мбар.

Работа посвящена изучению трансформации длинных волн при подходе к берегу и их связи с резкими изменениями атмосферного давления. На основе спектрального анализа колебаний уровня на каждой станции были выявлены периоды трех основных мод для бухты Сьютаделья: 10,5 мин – нулевая мода Гельмгольца; 4,2 мин – первая мода; 2,4 мин – вторая мода. Данные значения были подтверждены в результате решения задачи на собственные значения для данной бухты. Были рассмотрены спектральные особенности отдельных событий и выявлены их отдельные типы по характеру изменения энергии во время прохождения атмосферных возмущений.

Для более детального изучения природы событий риссага особое внимание было уделено изучению записей атмосферного давления. На их основе были рассчитаны и выявлены наиболее благоприятные направление и скорость распространения атмосферных возмущений, при которых формировались сильнейшие из зарегистрированных волны метеоцунами.

ДОЛГОПЕРИОДНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕРМОХАЛИНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АЗОВСКОГО МОРЕЯ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ С ВЫСОКИМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

Пузина О.С. , Мизюк А.И.

МГИ, г. Севастополь
 *oksana_puzina@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: Азовское море, численное моделирование, реанализ, NEMO.

В работе представлены результаты численного моделирования Азовского моря и прилегающей к нему части Чёрного моря за 2000–2021 гг. Для вычислений использовался модельный комплекс NEMO. Пространственное разрешение конфигурации составляет $1/96^\circ$ ($\approx 1,4$ км). Топография дна на сетке построена на основе данных цифрового массива рельефа EMODNet. Вертикальное разрешение выполнено с использованием z-координаты с дробным шагом на 11 неравномерно распределённых горизонтов, так, чтобы в Азовском море было 7 горизонтов. Поля начальных условий и данных на открытой границе были подготовлены на основе расчета бассейнов Эвксинского каскада. Такой расчет имеет пространственное разрешение $1/24^\circ$. Параметризация вертикального турбулентного перемешивания выполнена посредством модели k- ϵ . Продукт ERA5 от ECMWF использовался в качестве граничных условий на поверхности с пространственным разрешением $1/4^\circ$ и временным разрешением 1 час. Для Азовского моря учитываются наблюдения объемного стока Дона и Кубани.

Региональная модель учитывает данные спутниковой температуры поверхности Азовского моря (ТПМ) на регулярной сетке, уровня обработки L4, предоставляемые службой морских прогнозов CMEMS. Отметим, что численный расчет проводился без

учёта модели морского льда с использованием специальной коррекции поверхностных граничных условий для теплового потока.

Благодаря высокому разрешению модель воспроизводит вихревые структуры в Азовском море. Эти образования часто возникают на границе фронтогенеза, где пресная вода Таганрогского залива встречается с солёными водами центральной части моря. У Керченского пролива регулярно наблюдается образование соленых линз. Они возникают из-за пульсационного проникновения более соленых вод Черного моря в Азовское. Выделяется поток пресных вод из реки Кубань, который под воздействием ветра может достигать расстояния до 100 километров. При этом наблюдаются его меандрирование и образование вихревых и грибовидных структур. Вышеописанные процессы способствуют перемешиванию водных масс с разной солёностью.

За период 2000–2007 гг. солёность вод Азовского моря по результатам моделирования снижается. Тренд отрицательный, а его скорость составляет 0,44 ‰ в год. За этот период солёность упала с 10,7 ‰ до 7,6 ‰. За 2008–2021 гг. ситуация изменилась. Солёность начала расти и тренд стал положительным. Его скорость увеличилась до 0,25 ‰ в год. К 2021 г. солёность выросла с 7,6 ‰ до 11,3 ‰. Скорость изменчивости солёности в этот период выше, чем в 2000–2007 гг. В целом, временная изменчивость солёности в Азовском море соответствует полиному 4 порядка.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания FNNN-2024-0012.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ АРХИВА ДАННЫХ EASYCORA ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА МОРСКИХ ПРОГНОЗОВ ФГБУН ФИЦ МГИ

Ратнер Ю.Б. ✉, Мизюк А.И., Холод А.Л.

МГИ, г. Севастополь

✉ yubrat@gmail.com

Ключевые слова: буи-профилемеры, архив данных, валидация, достоверность, профили температуры и солёности, интрузии, ассимиляция данных.

На основе результатов работ, выполняемых по теме «Оперативная океанография», создается новое программное обеспечение обработки информации архива данных EASYCORA Европейской службы мониторинга морской среды. Архив EASYCORA содержит данные судовых контактных измерений, стационарных прибрежных платформ и данные буюв-профилемеров ARGO за период 1990–2022 гг. Их объем и качество позволяют решать задачи повышения достоверности экспериментальных морских прогнозов ФГБУН ФИЦ МГИ в Черном море и исследовать ряд процессов, происходящих в морской акватории.

Предложен способ выделения особенностей профилей температуры, солёности и плотности морской воды опирающийся на предположение о существовании так называемых равновесных (фоновых) профилей. Эти профили имеют минимальное число особых точек, интервалов их изменения (роста/убывания). При этом достигается максимальная степень устойчивости водных масс с ростом глубины и минимально возможные величины среднеквадратичного отклонения получаемых равновесных профилей от исходных. Предполагается, что при отсутствии возмущающих воздействий со стороны атмосферы и других процессов, происходящих во внешней по отношению к морской акватории среде, реальные профили температуры, солёности и плотности воды стремятся именно к таким фоновым профилям. Для их получения используются геометрические методы анализа кривых и

методы изогеометрической сплайн-аппроксимации данных измерений.

Показано, что на основе применения предлагаемого способа обработки данных наблюдений обеспечивается реальная возможность улучшения достоверности результатов валидации морских прогнозов. Это иллюстрируется валидацией результатов численных расчётов полей температуры и солёности морской среды за 30-летний период.

Разрабатываемые алгоритмы и программное обеспечение используются для расширения объёмов информации об интрузиях мраморноморских вод в акватории Чёрного моря. Уточняются представления о частоте их возникновения и наиболее вероятных районах их распространения. Эта дополнительная информация позволит в дальнейшем улучшить точность морских прогнозов.

На основе восстановления равновесных профилей температуры и солёности морской воды рассматриваются вопросы, связанные с поиском направлений и возможностей улучшения методов ассимиляции данных.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОВОДНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ: ОТ МИКРОМАСШТАБНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ДО ПАРАМЕТРИЗАЦИЙ В КЛИМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ

Репина И.А.^{1,2} ✉

¹ ИФА РАН, г. Москва

² МГУ, г. Москва

✉ repina@ifaran.ru

Ключевые слова: проводной слой атмосферы, турбулентный обмен, параметризации, коэффициенты обмена.

Современные методы исследования проводного слоя атмосферы охватывают широкий диапазон процессов – от микро-масштабной турбулентности до крупномасштабных взаимодействий с подстилающей поверхностью. Этот слой,

непосредственно контактирующий с земной поверхностью, играет ключевую роль в обмене импульсом, теплом, влагой и газами между атмосферой и поверхностью, что делает его изучение критически важным для климатического моделирования.

Для оценки турбулентных потоков в приземном слое атмосферы используется теория подобия Мони́на–Обухова, прямые и косвенные методы измерений. Информация, накопленная в результате экспериментов, служит основой для построения схем расчета характеристик локального тепло- и массообмена на основе стандартных гидрометеорологических измерений, а также является основой для предоставления граничных условий, необходимых для объединения моделей атмосферной и океанической циркуляции. В докладе будет представлен обзор методов измерений и косвенных оценок турбулентных потоков, а также параметризаций для расчета потоков тепла, влаги, импульса и газообмена в приземном (приводном) слое атмосферы, полученных в результате комплексных экспериментов. Будут представлены схемы отдельных параметризаций и рассмотрены способы задания коэффициентов обмена и динамического и термического параметров шероховатости для различных фоновых условий. Дана классификация подсеточных процессов и методов их параметризаций, в том числе способов построения турбулентных замыканий.

Основной акцент предполагается сделать на теоретическом и экспериментальном исследовании следующих процессов:

- тепло- и газообмен атмосферы и океана;
- турбулентный обмен над термически и орографически неоднородной морской поверхностью, включая прибрежные зоны и ледяной покров.

Работа выполнена при поддержке РНФ, грант № 24-17-00155.

ЦИРКУЛЯЦИЯ В АТМОСФЕРЕ АТЛАНТИКО-ЕВРОПЕЙСКОГО СЕКТОРА И ПОВЕРХНОСТНАЯ ТЕМПЕРАТУРА В РЕГИОНАХ ЧЕРНОГО МОРЯ И ВОСТОЧНОГО СРЕДИЗЕМНОМОРЬЯ В ДЕСЯТИЛЕТИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ СТРАТОСФЕРНОГО ПОЛЯРНОГО ВИХРЯ

Сизов А.А., Баянкина Т.М. ✉, Башарин Д.В.

МГИ, г. Севастополь

✉ *bajankina-t@mail.ru*

Ключевые слова: стратосферный полярный вихрь, аномалия скорости ветра, аномалия давления, аномалия температуры, вектор аномалии скорости ветра, аномалия общей облачности.

Экстремальные зимние состояния стратосферного полярного вихря, длящиеся в течение нескольких лет, перестраивают циркуляцию атмосферы в Атлантико-Европейском секторе. В группы лет (десятилетие) ослабленного полярного вихря над Гренландией формируется область аномально высокого давления (Гренландский блокинг), а в юго-восточной части Северной Атлантики – область низкого давления.

В районе Гренландского блокинга антициклоническое движение воздуха в нижней тропосфере ослабляет приземный западный перенос. Циклоническое движение воздуха в юго-восточной части Северной Атлантики ослабляет северо-восточный пассат. Одновременно ослабевает Гольфстрим, температура его вод понижается, но увеличивается приток атлантических вод в Полярный бассейн.

В тропической Атлантике ослабление северо-восточного пассата приводит к формированию положительной аномалии поверхностной температуры. Уменьшается перенос теплого воздуха из тропиков Северной Атлантики в район Средиземного и Черного морей. Этот перенос осуществляется, главным образом, в средней тропосфере на уровне 700 гПа и хорошо выделяется в поле аномалий зональной компоненты скорости ветра, температуры воздуха и общей облачности.

Аномалии этих характеристик в виде широтных полос показывают, что более теплый воздух поступает из тропиков в районы восточного Средиземноморья и Черного моря. Максимальная скорость переноса общей облачности располагается в широтной полосе субтропиков. В результате в восточном Средиземноморье и в Черном море формируется преимущественно положительная аномалия температуры морской поверхности, а над восточной частью Черного моря располагается область более теплого воздуха.

В годы усиления стратосферного полярного вихря циркуляция атмосферы и процессы формирования гидрометеорологических характеристик и их аномалий противоположны описанным выше.

ВЛИЯНИЕ ТУРБУЛЕНТНОЙ ВЯЗКОСТИ И ДИФфуЗИИ НА ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ОБМЕН, ОБУСЛОВЛЕННЫЙ ВНУТРЕННИМИ ВОЛНАМИ

Слепышев А.А.^{1, 2} ✉, Носова А.В.¹

¹ МГИ, г. Севастополь

² Филиал МГУ в г. Севастополе

✉ slep55@mail.ru

Ключевые слова: внутренние волны, турбулентная вязкость и диффузия, волновой поток импульса, стоков дрейф.

Вертикальный обмен в океане является крайне важным механизмом для функционирования экосистемы океана, связывающий физические, химические и биологические процессы морской экосистемы. Вертикальный обмен обеспечивает перенос массы, тепла, соли, растворенных газов и биогенных элементов между слоями водной толщи. Детальное изучение процессов вертикального обмена позволяет более точно осуществлять прогнозы и мониторинг распространения в океанской среде различного рода антропогенных загрязнений.

Одним из ключевых механизмов, обеспечивающих вертикальный перенос в океане является турбулентность. Исследования

показывают, что в основной толще устойчиво стратифицированного океана главная роль в генерации тонкой структуры и микроструктуры гидрофизических полей принадлежит внутренним волнам. Для поддержания уже сгенерированной турбулентности может быть достаточным условие наличия сдвигового течения или внутренней волны без обрушения.

На данный момент имеется значительный прогресс в описании и оценке вклада мелкомасштабной турбулентности и внутренних волн в вертикальное перемешивание [Озмидов Р.В., 1968; Longuet-Higgins, 1970; Blumberg and Mellor, 1983; Wunsch C., Ferrari R., 2004; Reissmann et al., 2009]. Чтобы глубже понять механизмы, влияющие на вертикальные потоки в океане и их роль в экосистеме, необходимо более детально рассмотреть влияние на них турбулентной вязкости и диффузии. Внутренние волны при учете турбулентной вязкости и диффузии затухают [LeBlond P.H., 1966; Слепышев А.А., 2015]. Фазовый сдвиг между колебаниями вертикальной и горизонтальной компонент скорости при учете турбулентной вязкости и диффузии отличен от $\pi/2$, поэтому вертикальный волновой поток импульса отличен от нуля. Вертикальная составляющая скорости стокова дрейфа, вносящая важный вклад в перенос веществ по вертикали, также имеет ненулевое значение при учете турбулентной вязкости и диффузии.

Представляет интерес исследовать влияние турбулентной вязкости и диффузии на поток импульса и скорость стокова дрейфа. Для этого сравниваются вертикальный волновой поток импульса при постоянных коэффициентах горизонтального турбулентного обмена с потоком при коэффициентах обмена, зависящих от масштаба явления по закону «4/3», а также с коэффициентами горизонтального обмена при учете стратификации. За масштаб явления принимается длина внутренней волны. Учет зависимости коэффициентов обмена от стратификации приводит к увеличению их значений в области пикноклина. Получено, что при учете зависимости по закону «4/3» декремент затухания, вертикальный волновой поток импульса и вертикальная составляющая скорости стокова дрейфа по абсолютной величине выше, чем при постоянных коэффициентах обмена. Учет стратификации вносит дополнительный вклад в их значения. При этом изменения коэффициентов обмена не оказывают влияния на

дисперсионные кривые и горизонтальную составляющую скорости стока дрейфа.

ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ПЕРЕНОС ИМПУЛЬСА ВНУТРЕННИМИ ВОЛНАМИ В НЕТРАДИЦИОННОМ ПРИБЛИЖЕНИИ

Слепышев А.А.^{1,2} ✉, Разувай Т.А.¹

¹ МГИ, г. Севастополь

² Филиал МГУ в г. Севастополе

✉ slep55@mail.ru

Ключевые слова: внутренние волны, субинерционные волны, вертикальный волновой поток импульса, сила Кориолиса.

В приближении Буссинеска рассматриваются свободные внутренние волны в однородно стратифицированной жидкости при учете вращения Земли. В нетрадиционном приближении при однородной стратификации изолинии частоты фиксированной моды внутренних волн описываются кривыми второго порядка в плоскости горизонтальных волновых чисел. Дисперсионное соотношение при учете горизонтальной компоненты угловой скорости вращения Земли при постоянной частоте волны сводится к каноническому уравнению для кривых второго порядка. Если частота волны больше инерционной, но меньше частоты плавучести, то изолинии частоты – эллипсы в плоскости горизонтальных волновых чисел. В традиционном приближении эти эллипсы превращаются в окружности с радиусом, равным большей полуоси эллипса. Если частота волны равна частоте плавучести, то изолинии частоты в нетрадиционном приближении – прямые линии, параллельные направлению на восток. В традиционном приближении этих прямых нет, т. к. частота волны не может достигнуть частоты плавучести. Если частота волны больше частоты плавучести, но меньше максимально возможной,

то изолинии частоты в нетрадиционном приближении – гиперболы. В традиционном приближении их нет, т. к. частота волны не может быть больше частоты плавучести.

При отсутствии течений в нетрадиционном приближении вертикальные волновые потоки импульса отличны от нуля и зависят от направления распространения волны. Потоки максимальны по модулю в том случае, когда волна распространяется на север или на юг. В традиционном приближении потоки импульса не зависят от направления распространения волны.

При сопоставлении вертикальных потоков импульса у распространяющихся на север внутренних и субинерционных волн первой моды с одинаковой амплитудой и длиной волны получено, что поток импульса $\overline{u'w}$ у субинерционной волны может быть аномально высок при сильной стратификации и может быть сравнимым или превышать соответствующий турбулентный поток. С ослаблением стратификации у субинерционной волны этот поток ослабевает, а у внутренней волны усиливается. Поток импульса $\overline{v'w}$ больше по модулю у внутренней волны и с ослаблением стратификации ослабевает.

МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ АДВЕКТИВНОГО ТЕПЛОМАССООБМЕНА СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА И ЕГО ОТДЕЛЬНЫХ ЧАСТЕЙ С СОПРЕДЕЛЬНЫМИ БАССЕЙНАМИ ПО ДАННЫМ ОКЕАНСКИХ РЕАНАЛИЗОВ

Соколов А.А.¹✉, Иванов В.В.², Смирнов А.В.¹

¹ ААНИИ, г. Санкт-Петербург

² МГУ, г. Москва

✉ a.sokolov@aari.ru

Ключевые слова: Северный Ледовитый океан, Арктический бассейн, адвективный тепломассоперенос.

Адвективный теплообмен между Северным Ледовитым океаном (СЛО) и сопредельными водными бассейнами

(Атлантическим и Тихим океанами) является одной из трех компонент, определяющих его тепловой и солевой балансы, наряду с энергообменом с атмосферой и фазовыми переходами. Поступление теплых и соленых вод из умеренных широт является основным адвективным источником тепла и соли для СЛО, в значительной степени определяющим его гидрологический режим.

В настоящей работе была выполнена оценка и анализ средне-многолетних гидрофизических характеристик тепломассопереноса (1993–2023 гг.) через отдельные проливы, связывающие Арктический бассейн (АБ) СЛО с сопредельными водными бассейнами, и суммарных бюджетов тепла и соли АБ. В качестве источника данных выступил реанализ Global Ocean Ensemble Physics Reanalysis (GLORYS12V1), разработанный Copernicus Marine Environment Service (CMEMS), который представляет из себя компиляцию из 3 океанских реанализов (URL: <https://doi.org/10.48670/moi-00024>).

Данные массива GLORYS12V1 представлены на регулярной сетке с шагом $1/4^\circ$ на 75 стандартных уровнях в глобальном масштабе. В качестве отсчетных значений, необходимых при вычислении потоков тепла и соли, были взяты значения температуры и солёности равные $-1,8^\circ\text{C}$ и 34,8 ЕПС.

Исследование показало, что основной сток из АБ СЛО в Северо-Европейский бассейн (СЕБ) проходит через пролив Фрама и составляет 2,29 Св. Средний многолетний поток воды в СЕБ через северные, южные и восточные жидкие границы равен 18,75 Св. Сток воды из СЕБ через эти же границы составил 19,5 Св.

По оценкам тренда установлено, что за 31 год общий поток воды в южной части СЕБ уменьшился на 0,23 Св. Наиболее существенное усиление потока выявлено для Датского пролива – 1 Св. В целом, усиление потока воды отмечается для всех рассмотренных границ СЕБ.

Общий среднемноголетний поток тепла, поступающий в СЕБ из Северной Атлантики и АБ составил 220,8 ТВт. Среднемноголетний поток тепла в южной части СЕБ составил 204,16 ТВт. Основное поступление тепла из АБ в СЕБ осуществляется через пролив Фрама и составляет 59,88 ТВт. Поток тепла, проходящий через жидкую границу Баренцева моря, составил 89,3 ТВт. По

оценкам тренда оказалось, что за 31 год общий поток тепла в СЕБ возрос на 12,09 ТВт.

Наиболее интенсивный поток тепла на север прослеживается в западной части АБ. Среднемноголетний поток тепла в западной части АБ составил 86,06 ТВт. Основной заток тепла проходит через восточную часть пролива Фрама и определяется Западно-Шпицбергенским течением. По оценкам тренда оказалось, что за исследуемый период общий поток тепла в западной части АБ увеличился на 10 ТВт. В восточной части АБ основное поступление тепла и массы осуществляется через Берингов пролив, а основной сток через проливы Канадского Арктического архипелага. Среднемноголетний общий поток тепла, поступающий через восточную часть АБ в СЛО, составил 0,79 ТВт. За 31 год он увеличился на 1 ТВт.

АДВЕКТИВНЫЙ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОС ЧЕРЕЗ ЗАПАДНУЮ ГРАНИЦУ БАРЕНЦЕВА МОРЯ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА ORAS5

Соколов А.А. ✉, Смирнов А.В.

АНИИИ, г. Санкт-Петербург

✉ a.sokolov@aari.ru

Ключевые слова: Баренцево море, адвективный тепломассоперенос, океанский реанализ.

Баренцево море является связующим звеном между Северной Атлантикой и Арктикой, что делает его одним из ключевых регионов для мониторинга климатических процессов. Приток океанических вод тесно связан с изменением концентрации морских льдов в Баренцевом море и в Арктике в целом. Ледовитость моря влияет на экономическую деятельность региона: промысел, навигацию, добычу полезных ископаемых. Адвекция океанического и атмосферного тепла является важнейшей составляющей термического баланса Арктического бассейна. Усиленное поступление атлантических вод в Баренцево море оставляет

свободной ото льда акваторию моря в зимний период, что приводит к изменению циркуляции атмосферы и к аномально холодным периодам на европейской территории России и в Западной Европе. Поступление тепла через западную границу моря является ключевым внешним фактором, определяющий ледовый режим Баренцева моря. Для обоснованного прогноза ожидаемых изменений в морском ледяном покрове и безопасного ведения хозяйственной деятельности в Баренцевом море необходимо четкое понимание закономерностей внутригодовой и межгодовой изменчивости тепломассопереноса через эту границу.

В работе исследован адвективный тепломассоперенос через западную границу Баренцева моря за период 1993–2023 гг. на основании данных реанализа ORAS5 (Ocean Reanalysis System 5), который представляет собой глобальный океанский реанализ, разработанный Европейским центром среднесрочных прогнозов погоды (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF) и находится в открытом доступе. Для анализа взаимодействия океана и атмосферы в регионе исследования были использованы компоненты скорости ветра из атмосферного реанализа ECMWF ERA5 за 1993–2023 гг.

Данные массива ORAS5 представлены на регулярной сетке с шагом $1/4^\circ$ на 75 стандартных уровнях в глобальном масштабе. В качестве отсчетных значений, необходимых при вычислении потоков тепла и соли, были взяты значения температуры и солёности равные $-1,8^\circ\text{C}$ и 34,8 ЕПС.

По результатам расчетов установлено, что поток тепла через южную часть разреза (о. Медвежий – м. Нордкапп) составляет 60 ТВт при переносе объема вод в 2,1 Св. В южной части разреза выделяются три ветви течений с увеличенным потоком тепла. Значимое увеличение тепломассопереноса со временем происходит в южной и центральной ветви, что определяется трендами как в скоростях течения, так и в температуре воды.

Общий поток тепла в бассейн Баренцева моря составляет 61 ТВт и имеет значимый положительный тренд с величиной 0,03 ТВт/мес. Оценка тренда показала, что за 31 год поток тепла в южной части разреза увеличился на 11 ТВт, а в северной части – на 3 ТВт. Таким образом, акцент в переносе тепла в Баренцево море значительно смещен к южной части исследуемого разреза.

Показано, что сезонный ход потока тепла в Баренцевом море практически полностью определяется внутригодовой изменчивостью скорости течения, вызванной ветровым воздействием.

**«ЭПОХА КЕЛДЫША»: ТРИУМФАЛЬНОЕ
СОТРУДНИЧЕСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР И НАСА
В КОСМОСЕ. К 50-ЛЕТИЮ ПРОЕКТА «СОЮЗ» –
«АПОЛЛОН»**

Сушкевич Т.А.

ИПМ РАН, г. Москва

✉ *tamaras@keldysh.ru*

Ключевые слова: Келдыш, космос, ЭПАС, АН СССР, НАСА.

В 2025 г. три важные юбилейные даты: 100 лет Академии наук СССР, 80 лет Великой Победы в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг., 50 лет советско-американской Программы «Союз»–«Аполлон» (ЭПАС–ASTP). О Программе ЭПАС–ASTP необходимо помнить, чтобы по достоинству оценить триумф «Эпохи Келдыша» и значимую роль учёных и лично М.В. Келдыша в снижении напряженности советско-американских отношений в годы разрядки «холодной войны» и в должной мере воспринимать роль международного научно-технического сотрудничества в космических проектах.

Цель доклада – в связи с 50-летним юбилеем советско-американского эпохального проекта «Союз»–«Аполлон», за которым следил весь мир, на основе документов и фото-фактов показать ключевую роль математика М.В. Келдыша в открытии космической эры – новой эры человечества и международного сотрудничества в космосе и в ЭПАС–ASTP. Необходимо обратить внимание на крайне важную «историческую память» в науке, образовании, культуре – историю отечественной цивилизации, без которой нет ни суверенитета, ни идентификации и будущего у нации и народа!

Необходимо отметить, что за два месяца до окончания ЭПАС 19 мая 1975 г. М.В. Келдыш покинул пост Президента АН СССР по состоянию здоровья; и. о. Президента был назначен вице-президент академик В.А. Котельников, директор ИРЭ АН СССР,

который завершал проект от имени АН СССР. Этот инцидент привел большинство публицистов и СМИ к искажению истории ЭПАС, когда из проекта исчезла ключевая роль М.В. Келдыша и замалчивается участие сотрудников «Института Келдыша», в том числе в баллистических расчетах.

М.В. Келдыш обладал уникальным даром стратега космических исследований – председатель МНТС по КИ при АН СССР в ранге министра и генерала, Президент АН СССР, главный теоретик космонавтики, главный математик страны.

Единственный математик, получивший три Звезды Героя, Мстислав Всеволодович Келдыш (10.02.1911–24.06.1978) – величайший гений за всю историю цивилизации: при жизни осуществил мечты человечества и свои «формулы» реализовал в первых космических полетах и СССР был впереди планеты всей:

- первого спутника (04.10.1957) и первого человека (12.04.1961);

- первых АМС на Луну (02.01.1959 «Луна-1»; 04.10.1959 «Луна-3» достигла поверхности; 12.09.1959 «Луна-2» фотографирование обратной стороны);

- Венеру (12.02.1961–19.05.1961 «Венера-1»; 12.11.1965–27.02.1966 «Венера-2»; 16.11.1965–01.03.1966 «Венера-3» достигла поверхности);

- Марс (в 1960–1969 гг. девять зондов в направлении Марса; в 1971 г. исследовательский зонд «Марс-2» первым добрался до поверхности планеты);

- первой Долговременной орбитальной станции (ДОС) «Салют» (19.04.1971);

- «Стыковка» «Союз»–«Аполлон» с «рукопожатием» командиров экипажей над Эльбой 17.07.1975 – триумф СССР и лично М.В. Келдыша – организатора эпохального сотрудничества АН СССР и НАСА в космосе!

Никто никогда не сможет превзойти рекорд гения русского математика М.В. Келдыша в мировой истории и эпохальное цивилизационное общечеловеческое достижение – открытие космической эры и покорение космоса! При М.В. Келдыше создана инновационная технология «Математика – производительная сила» – залог успеха в космосе.

Первая советско-американская Программа ЭПАС была подготовлена и реализована по инициативе и при активном участии академика М.В. Келдыша со стороны СССР, а со стороны США

– NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) – Национального управления США по аэронавтике и исследованию космического пространства, Агентства, принадлежащего правительству США и занимающегося авиационными, космическими и астрофизическими исследованиями. В архиве Мемориального Музея-кабинета М.В. Келдыша хранится убедительное свидетельство признания исключительной роли М.В. Келдыша в Программе ЭПАС – фотография старта корабля «Аполлон» с автографом: *«Академику Келдышу. Без вашего одаренного воображением руководства «Аполло-Союз» был бы невозможен. С нашим величайшим уважением и огромным почтением. Джеймс Флэтчер и Джордж Лоу (руководители NASA) 15 июля 1975 года».*

Второе важное достижение ЭПАС – это совместная научная Программа по изучению последствий военных действий с использованием (испытанием) разных видов оружия и методов и средств ведения войны на окружающую среду и климат. Были получены первые в истории космонавтики панорамные съемки порядка 30 тыс. км с поляризацией излучения над Вьетнамом, где заканчивалась 20-летняя война (1955–1975), в том числе с использованием «экологического» и «климатического» оружия и бомб с напалмом, вызывающих мощные пожары.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФРАКТАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОСТИ КАК МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Тындыкарь Л.Н. ✉, Макшанов А.В.

ГУМРФ, г. Санкт-Петербург

✉ tyndykarln@gumrf.ru

Ключевые слова: прогнозирование, фрактальная размерность, Каспийское море, флуктуации, хаотические процессы, шум мерцания.

Флуктуации – это явление, которое можно наблюдать в различных областях. Применительно к уровенному режиму

Каспийского моря эти колебания могут быть вызваны различными природными факторами, такими как климатические изменения, тектонические движения земной коры и гидрологические процессы.

Одним из признаков того, что может произойти «сбой», являются вторичные эффекты, которые возникают из-за изменений в хаотичности наблюдаемого процесса.

Уровень хаотичности можно оценить с помощью фрактальной геометрии. Однако для этого необходимо усреднять показатели хаотичности по достаточно длинным отрезкам ряда, что может противоречить ограничениям на прогнозирование.

Флуктуации уровня Каспийского моря могут приводить к неожиданным изменениям в экосистеме региона, а также оказывать влияние на инфраструктуру, сельское хозяйство и экономику прибрежных стран. В связи с этим при мониторинге подобных нестабильных систем возникают задачи, требующие оперативного контроля динамики показателей хаотичности:

- уменьшение ширины окна при одновременном снижении разброса оценок;
- выявление показателей хаотичности, которые изменяются монотонно при накоплении нестабильности;
- применение системы оценки параметров для создания общей характеристики части ряда;
- выявление участков, на которых наблюдается «мерцающий шум», что может указывать на внезапное изменение процесса.

Обобщенные характеристики динамических систем могут быть использованы в процедурах кластеризации, анализа прецедентов и краткосрочного прогнозирования.

Оценка фрактальной размерности является классическим «точечным» методом, базирующимся на вычислении расстояний от произвольной точки до всех элементов анализируемого набора данных. Он может быть использован для анализа временных рядов, таких как уровень воды в Каспийском море, и выявления закономерностей, которые могут быть полезны для прогнозирования.

Анализ фрактальной размерности для прогнозирования уровня Каспийского моря позволяет решить следующие задачи.

1. Анализ исторических данных. С помощью фрактальной размерности можно проанализировать исторические данные об уровне воды в Каспийском море и выявить закономерности, которые могут быть использованы для прогнозирования будущих изменений. Например, можно определить, насколько быстро и в каком направлении изменяется уровень воды, а также выявить периодические колебания.

2. Выявление аномалий. Фрактальная размерность может помочь выявить аномальные изменения уровня воды, которые могут быть связаны с экстремальными погодными условиями или другими факторами. Это может быть полезно для разработки мер по снижению рисков, связанных с изменениями уровня воды.

3. Прогнозирование изменений уровня воды. На основе анализа исторических данных можно разработать модель, которая будет использовать фрактальную размерность для прогнозирования будущих изменений уровня воды. Например, модель может учитывать сезонные колебания, влияние климатических изменений и другие факторы.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОГНОЗОВ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ АЗОВСКОГО МОРЯ

Тюлькин Р.В. ✉, Дианский Н.А., Фомин В.В.

ГОИН, г. Москва
✉ *roma.tyulckin@ya.ru*

Ключевые слова: web-интерфейс, визуализация, гидрофизические поля, Азовское море, прогноз.

В настоящей работе представлены современные подходы к визуализации гидрофизических полей на примере Азовского моря. Основное внимание уделяется разработке и внедрению средств, обеспечивающих наглядное представление результатов численного моделирования, таких как скорость течений, температура воды, солёность и уровень моря.

Показано, что использование современных технологий позволяет как оперативно обрабатывать большие массивы прогностических данных, так и предоставлять их Потребителю в наиболее удобном виде. Для этого в технологии отображения были реализованы возможности применения анимации, векторных и скалярных слоёв, а также механизмы взаимодействия пользователя с прогностическими картами в реальном времени с использованием клиент-серверной архитектуры.

Результаты демонстрируются на примере модуля визуализации, разработанного для отображения краткосрочных прогнозов гидрофизических полей Азовского моря, полученных на основе действующей в ФГБУ «ГОИН» технологии прогноза гидротермодинамических характеристик Азовского моря. Отдельное внимание уделено вопросам производительности, масштабируемости, а также перспективам дальнейшего развития системы визуализации в рамках оперативного мониторинга.

ВЕТРОВОЛНОВЫЕ ПОЛЯ И ПОТОКИ ДОННЫХ НАНОСОВ В ПРИКЕРЧЕНСКОМ РАЙОНЕ ЧЕРНОГО МОРЕА В ПЕРИОД ШТОРМА 15–17 ДЕКАБРЯ 2024 Г.

**Фомин В.В. ✉, Харитонов Л.В., Шокуров М.В.,
Барабанов В.С., Лазоренко Д.И., Белоконь А.Ю.,
Алексеев Д.В., Иванча Е.В., Полозок А.А.**

МГИ, г. Севастополь
✉ fomin.dntmm@gmail.com

Ключевые слова: ветровое волнение, течения, математическое моделирование, шторм, мазут, Керченский пролив, Черное море.

Над Азово-Черноморским регионом 15–17 декабря 2024 г. прошел сильный шторм, приведший к крушению двух российских нефтяных танкеров «Волгонефть-212» и «Волгонефть-239» в южной части Керченского пролива. Танкеры перевозили около 9,2 тыс. т мазута, который частично вытек и был перенесен ветровыми и волновыми течениями на большие расстояния,

достигнув берегов Керченского пролива, Анапской пересыпи, Южного берега Крыма, Севастополя и западного берега Крыма. Значительная часть «тяжелого» мазута осела на дно и при определенных условиях мазутосодержащие донные отложения могут стать источником вторичного загрязнения побережья.

Для исследования возможных направлений распространения мазутосодержащих донных отложений проведено математическое моделирование ветроволновых полей и формируемых волнами течений в Прикерченском районе в период возникновения и развития аварийной ситуации, а также для различных вероятных градаций скорости и направления ветра.

С этой целью на основе атмосферной модели WRF-ARW и массива GDAS выполнены расчеты состояния атмосферы в период шторма. С высоким пространственным разрешением получены поля приземного ветра и атмосферного давления, выявлены мезомасштабные особенности атмосферных процессов. Атмосферная циркуляция в регионе в этот день определялась прохождением над Черным морем холодного фронта крупного среднеширотного циклона со струей сильного юго-западного ветра от Стамбула на северо-восток до Керченского пролива. Конфигурация поля ветра была благоприятна для развития ветровых волн с юго-запада на северо-восток. Луч разгона волн был практически максимальным для Черного моря (более 1000 км).

Далее с использованием полученного атмосферного форсинга, а также для разных градаций скорости и направления ветра на основе совместной модели SWAN+ADCIRC на неструктурированной расчетной сетке со сгущением в прибрежной зоне проведены численные расчеты параметров волн и течений в Прикерченском районе. Получены поля высот и периодов волн, их направлений, скоростей и направлений ветроволновых течений, уровня моря.

Для отдельных участков береговой зоны Прикерченского района проведены расчеты потоков донных наносов в период развития штормовой ситуации. Определены направления этих потоков и области их интенсификации. Выявлены участки побережья Прикерченского района, которые могут пострадать от выноса мазутосодержащих донных отложений со дна на при разных ветроволновых условиях.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания FNNN-2025-0002.

ВОЛНОВОЙ КЛИМАТ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ЧЕРНОГО МОРЯ, ПОДВЕРГШЕЙСЯ ЗАГРЯЗНЕНИЮ ПОСЛЕ АВАРИИ 15 ДЕКАБРЯ 2024 Г.

**Харитонов Л.В. ✉, Лазоренко Д.И.,
Алексеев Д.В., Белоконь А.Ю., Иванча Е.В.,
Полозок А.А., Фомин В.В.**

МГИ, г. Севастополь
✉ kharitonova.dntmm@gmail.com

Ключевые слова: ветровые волны, математическое моделирование, модель SWAN, Черное море, береговая зона, Керченский пролив, Крым, Анапская пересыпь.

После крушения 15 декабря 2024 г. двух российских нефтяных танкеров класса «Волгонепфть» произошел разлив нефтепродуктов. В последующие дни различные фракции мазута достигали берегов Крыма и Краснодарского края. Наиболее пострадала береговая зона Прикерченского района и Анапской пересыпи. Загрязнения были обнаружены также в районах юго-восточного, южного и западного берегов Крыма, часть мазута проникла в Азовское море. По мере распространения мазута происходила его адсорбция частицами взвеси, смешение с донными наносами и седиментация «тяжелых» фракций. Загрязнение, осевшее на дно в береговой зоне, может быть выброшено на берег под действием штормов различной силы и направлений.

Для анализа вероятности потенциально возможных повторных выбросов мазута на берег проведено исследование ветроволнового режима прибрежных районов Прикерченского района Черного моря. Были выбраны 8 точек в береговой зоне от мыса Анапский (г. Анапа, Краснодарский край) до мыса Чауда

(Ленинский район, Республика Крым). Для них на основе реанализа ветрового волнения, полученного с использованием спектральной модели SWAN и полей приземного ветра ERA-Interim и ERA5, сформированы ряды параметров ветра и волнения за 1979–2024 гг. Выполнен статистический анализ оперативных и экстремальных характеристик волнения в каждой точке. Определены высоты, периоды и длины волн в системе расчетных штормов, возможных 1 раз в n лет.

Для района южной части Керченского пролива, где произошла авария, наибольшую повторяемость (33 %) имеют ветры северо-восточных румбов. Максимальная повторяемость сильных ветров (> 15 м/с) соответствует румбам северо-восток и восток-северо-восток. Наибольшие высоты волн формируют ветры юго-западных румбов. Наиболее продолжительные штормовые ситуации (более 7 сут) происходят в период с ноября по март. Для шторма возможного 1 раз в 25 лет расчетные значения высот волн составляют 8,3 м; периодов – 11,6 с; длин волн – 150 м. За последние годы наиболее экстремальными были штормовые ситуации 9–11 ноября 2007 г. и 26–27 ноября 2023 г. Шторм 15–17 декабря 2024 г. по индексу мощности шторма был более чем в 2,5 раза слабее двух, упомянутых выше.

В целом для исследованного района прибрежной зоны Черного моря по данным ретроспективных расчетов за 1979–2024 гг. выявлено, что наибольшие волны приходят из открытого юго-западного сектора моря.

Проведены оценки влияния волнового режима на динамику донных отложений. Выявлены глубины, с которых мазутосодержащие донные наносы могут выбрасываться на берег под воздействием волнения различной силы и направления.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания FNNN-2025-0002.

ВАЛИДАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РЕТРОСПЕКТИВНЫХ АНАЛИЗОВ ПОЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И СОЛЕННОСТИ В АКВАТОРИИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Холод А.Л. ✉, Коротаев Г.К., Мизюк А.И., Ратнер Ю.Б.

МГИ, г. Севастополь

✉ antonholod@mail.ru

Ключевые слова: Черное море, ретроспективный анализ, натурные измерения, температура, соленость, валидация, точность.

Выполнена валидация двух ретроспективных анализов (реанализов) полей Черного моря, подготовленных в ФГБУН ФИЦ МГИ и службой мониторинга морской среды CMEMS, на основе сопоставления с данными натурных измерений. Для сопоставления использованы два массива: данные буев-профилемеров ARGO и данные измерений, полученные на НИС «Профессор Водяницкий» за период времени с 2015 по 2019 гг.

Сопоставление осуществлялась на основе подсистемы валидации, разработанной в ФГБУН ФИЦ МГИ. Данные реанализов представлены на регулярной сетке по пространству, на заранее определенных глубинах и приписаны к определенному моменту времени – 12 часов каждого дня. При этом данные натурных измерений представляют собой точечные измерения, их глубины в общем случае не совпадают с глубинами рассматриваемых реанализов. Поэтому необходимо каким-либо образом осуществлять сопоставление этих разнородных данных. Для устранения временного рассогласования был задан параметр временной рассогласованности – 12 часов. На основе этого параметра выбирались те профили, которые были измерены в промежуток времени ± 12 часов от рассматриваемых полей реанализов. Для устранения пространственной рассогласованности использовался метод нахождения ближайшего узла к точке проведения натурных измерений. Далее осуществлялась линейная интерполяция по вертикали данных натурных измерений профилей температуры и солености на вертикальные горизонты модели. Таким образом формировалась совместная выборка данных, на

основе которой выполнялся расчет статистических характеристик. В качестве основных статистических характеристик использовались статистики среднего и среднеквадратичного отклонений данных реанализов относительно данных натурных измерений.

Результаты валидации на основе данных буев ARGO показали, что реанализ CMEMS имеет меньшие величины ошибок среднеквадратичного отклонений (СКО) по сравнению с реанализом МГИ как в поле температуры, так и в поле солёности, за исключением верхнего 15-ти метрового слоя в солёности, где величина СКО по реанализу CMEMS довольно велика и примерно в два раза превышает СКО реанализа МГИ.

Результаты валидации на основе данных НИС «Профессор Водяницкий» имеют абсолютно другой характер. Видно, что величины СКО для полей температуры и солёности имеют меньшие величины для реанализа МГИ по сравнению с реанализом CMEMS на всем интервале глубин. Среднее отклонение в поле температуры в реанализе МГИ в два раза меньше в верхнем 35- метровом слое и не превышает $0,25^\circ$. Глубже средние отклонения для обоих реанализов уменьшаются и близки к нулю. Средние отклонения в поле солёности для обоих реанализов не превышают 0,1 %.

Таким образом, точность воспроизведения полей температуры и солёности, полученная путем сопоставления с независимой выборкой данных натурных измерений, полученных на НИС «Профессор Водяницкий», отличается от аналогичных оценок, полученных на основе сопоставления с данными буев-профилемеров ARGO. Полученные результаты отражают то обстоятельство, что при сопоставлении с данными контактных измерений буев ARGO величины ошибок для реанализа CMEMS оказываются заниженными по сравнению с результатами, полученными при использовании независимой выборки, т. к. данные буев ARGO усваивались при выполнении реанализа CMEMS.

СГОННО-НАГОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ В ЧУКОТСКОМ И ВОСТОЧНО-СИБИРСКОМ МОРЯХ ПО ДАННЫМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Хорошева А.С.^{1✉}, Архипкин В.С.¹, Куликов М.Е.²

¹ МГУ, г. Москва

² ИО РАН, г. Москва

✉ horoschevaanfisa@yandex.ru

Ключевые слова: сгоны, нагоны, Восточно-Сибирское море, Чукотское море, сгонно-нагонные колебания.

Восточно-Сибирское и Чукотское моря являются частью Северного морского пути (СМП). Он используется для транспортировки полезных ископаемых, которые разрабатываются в Якутии и на Чукотке. Помимо этого, Восточно-Сибирское и Чукотское моря обладают потенциалом для добычи нефти и газа. Изучение сгонно-нагонных колебаний уровня в морях Восточной Арктики имеет важное значение для безопасного судоходства, что актуально в условиях интенсивного использования СМП и развития хозяйственной деятельности в Арктике. Полученные данные могут быть использованы при проектировании и строительстве в прибрежной зоне.

Анализ литературы показал, что нагоны в Восточно-Сибирском и Чукотском морях исследованы недостаточно из-за нехватки натурных данных. Численное моделирование для изучения сгонно-нагонных колебаний использовалось только для Чукотского моря, где основное внимание было сосредоточено на американском побережье.

Цель исследования – выявить особенности сгонно-нагонных колебаний в Восточно-Сибирском и Чукотском морях по данным численного моделирования высокого разрешения. Для достижения поставленной цели при написании работы решались следующие задачи:

- 1) создание цифровой модели рельефа дна для района исследования;
- 2) построение неструктурной расчётной сетки и адаптация модели ADCIRC к району исследования;
- 3) сравнение результатов моделирования с натурными данными;
- 4) моделирование колебаний уровня моря с использованием реанализа ERA5 (ветер, атмосферное давление и концентрация льда) за август–сентябрь 2010–2024 гг.

В работе применялась двумерная версия гидродинамической модели ADCIRC высокого разрешения. Неструктурная триангуляционная расчетная сетка содержит 130 444 узлов. Шаг сетки изменяется от 25 м у побережья до 18 000 м на открытой границе. Для цифровой модели рельефа дна были использованы морские навигационные карты и база батиметрических данных GEBCO 2023.

Была проведена валидация модели на основе натурных данных, в результате которой были получены коэффициент корреляции 0,95–0,97 и среднеквадратическое отклонение 6,2–15 см.

Было получено, что максимальные нагоны в Восточно-Сибирском море и на восточном побережье Чукотского моря наблюдаются при ветрах, дующих с моря по нормали к берегу.

По результатам моделирования были построены карты с максимальной величиной нагонов и сгонов в каждой точке расчётной сетки за 15-летний период. Наибольшие нагоны за август–сентябрь 2010–2024 гг. наблюдались в Колымском заливе. Максимальные сгоны происходили на западном побережье Чукотского моря и в Колымском заливе.

Наибольшее количество нагонов, высота которых была больше 0,5 м, и сгонов за август–сентябрь 2010–2024 гг. произошло в Колымском заливе, в Колючинской губе и в устье реки Индигирки.

ОСНОВНЫЕ ПАТТЕРНЫ КРУПНОМАСШТАБНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ТПО МОРЕЙ СЕВЕРО-ЕВРОПЕЙСКОГО БАСЕЙНА

Чернявская Е.А. ✉, Лис Н.А.

АНИИИ, г. Санкт-Петербург

✉ *cherni_ka@mail.ru*

Ключевые слова: Температура поверхности океана (ТПО), Северо-Европейский бассейн (СЕБ), ЕОФ-анализ, реанализ ERA5, Атлантическая меридиональная циркуляция (АМОС).

Температура поверхности океана (ТПО) является ключевым климатическим параметром, регулирующим энергообмен между океаном и атмосферой и влияющим на ледовый режим. В морях Северо-Европейского бассейна (СЕБ: Баренцево, Норвежское, Гренландское) наблюдается значительное потепление, что усиливает арктическую амплификацию и воздействует на стабильность Атлантической меридиональной циркуляции (АМОС).

В исследовании проводится анализ разложения данных ТПО из реанализа ERA5 (1950–2024 гг., разрешение $0.25^\circ \times 0.25^\circ$) на естественные ортогональные функции (ЕОФ) для выявления доминирующих пространственных паттернов изменчивости ТПО всей акватории СЕБ.

Для объяснения физического смысла мод также применялся корреляционный анализ главных компонент (ГК) с потоками тепла через ключевые створы (Фареро-Шетландский пролив, пролив Фрама, жидкая граница Баренцева моря) и климатическими индексами (NAO, Арктический диполь, АМО).

Результаты показали, что три ведущие моды объясняют 99,3 % общей дисперсии ТПО. Первая мода (98,4 %) отражает общий тренд потепления, повторяя конфигурацию среднего поля ТПО, и связана с адвекцией атлантических вод. Вторая мода (0,66 %) демонстрирует широтно-ориентированные аномалии и

описывает перераспределение тепла между Норвежской котловиной, Баренцевым морем и потоком через пролив Фрама. При этом во временной изменчивости ГК2 отмечается переход к отрицательным значениям после 2004 г., что совпадает с периодом значимого ослабления АМОС.

Третья мода (0,25 %) отражает меридиональный диполь в изменчивости ТПО между глубоководными частями Гренландского и Норвежского морей (положительный полюс) и шельфовой зоной Баренцева моря (отрицательный полюс), связанный, вероятно, с изменениями ветрового режима или региональной атмосферной циркуляции, влияющей на вертикальные процессы (апвеллинг/даунвеллинг) и дальность проникновения атлантических вод на восток Баренцева моря.

ПРИМЕНЕНИЕ ДВУМЕРНОЙ МОДЕЛИ ПЕРЕМЕШАННОГО СЛОЯ ДЛЯ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ МЕЗОМАСШТАБНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ВЕТРА ВО ВРЕМЯ МОРСКИХ ХОЛОДНЫХ ВТОРЖЕНИЙ

Чечин Д.Г. ✉, Шестакова А.А.

ИФА РАН, г. Москва

✉ *chechin@ifaran.ru*

Ключевые слова: холодные вторжения, конвективный пограничный слой, мезомасштабная изменчивость скорости ветра, энергообмен атмосферы и океана.

Морские холодные вторжения представляют собой адвекцию холодного воздуха над сравнительно теплой морской поверхностью. Вследствие большой разности температуры поверхности океана и воздуха потоки тепла на поверхности океана во время холодных вторжений достигают экстремально больших значений. Энергообмен атмосферы и океана также зависит от скорости приводного ветра. Последняя в определенной мере модулируется

мезомасштабными циркуляциями, среди которых выделяются циркуляции ледового бриза, зон конвергенции, роликовые циркуляции и мезомасштабные циклоны.

В работе рассматривается вопрос применимости двумерной интегральной модели пограничного слоя для воспроизведения ряда мезомасштабных циркуляций в холодных вторжениях. В сравнении с данными наблюдений и результатами более полной трехмерной негидростатической модели, интегральная модель пограничного слоя хорошо описывает рост и прогрев конвективного пограничного слоя, а также влияние связанной с этим бароклинности в пограничном слое на скорость приводного ветра. Вместе с тем, сравнение с трехмерной моделью демонстрирует также недостатки однослойного представления атмосферы. В частности, недоучет динамического взаимодействия перемешанного слоя с вышележащими слоями приводит к завышенному отклику скорости в пограничном слое на прогрев. Модель перемешанного слоя также демонстрирует качественное согласие с результатами трехмерной модели в отношении воспроизведения линий конвергенции.

Можно сделать вывод, что модель перемешанного слоя является полезным приближением, позволяющим исследовать генезис и характеристики ряда мезомасштабных циркуляций.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 24-17-0015, а также при поддержке темы государственного задания «Диагноз и моделирование процессов взаимодействия пограничных слоев атмосферы и гидросферы» №125020501524-9.

ВЕРИФИКАЦИЯ НЕСТАЦИОНАРНОЙ МОДЕЛИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ДЛЯ ВЕРХНЕГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ МОРЯ

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

МГИ, г. Севастополь

✉ alexchukh@mail.ru

Ключевые слова: верхний пограничный слой, турбулентный обмен, натурные измерения, скорость диссипации, структурные функции.

Очень широкий спектр физических процессов и явлений вблизи границы океан–атмосфера создает существенные трудности при модельном представлении взаимодействия двух сред. Турбулентный обмен в верхнем пограничном слое моря сильно зависит от гидрометеорологических условий и меняется значительно образом под влиянием различных факторов.

В современных моделях турбулентного обмена для указанного слоя обычно не полностью учитываются существующие механизмы генерации, что приводит к ограниченной применимости таких моделей. На основании большого массива натурных данных, собранных в течение ряда лет сотрудниками отдела турбулентности ФГБУН ФИЦ МГИ на стационарной океанографической платформе, разработана нестационарная модель турбулентности, в которую введен не учитываемый ранее механизм генерации турбулентности когерентными структурами в основном течении. Этот механизм параметризуется с помощью структурной функции, которая характеризует приток кинетической энергии к турбулентности. По глобальному спектру структурного параметра, рассчитанного с помощью вейвлет-анализа, выявлен доминирующий период колебаний интенсивности генерации турбулентности, который, по всей видимости, связан с

существованием когерентных структур соответствующего масштаба в прибрежных морских течениях. Наличие таких структур подтверждается формой Фурье-спектров пульсаций скорости, наклон которых в соответствующем диапазоне частот заметно отличается от классического колмогоровского спектра.

Натурные измерения характеристик турбулентности в приповерхностном слое моря позволяют определять скорость диссипации турбулентной энергии на различных горизонтах и сопоставлять экспериментальные данные с различными моделями. Для сопоставления брались хорошо известные модели и проводился сравнительный анализ модельных и экспериментальных данных при различных гидрометеорологических условиях.

Предложенная нестационарная модель существенным образом улучшает соответствие экспериментальным данным при слабых ветрах и в штилевую погоду, в то время как остальные модели в этих случаях показывают сильно заниженные величины скорости диссипации. При умеренных и сильных ветрах модель также удовлетворительно описывает распределение скорости диссипации по глубине, что свидетельствует о ее универсальности.

Относительный вклад механизма генерации турбулентности субмезомасштабными когерентными структурами меняется в зависимости от гидрометеорологических условий: при слабых ветрах этот вклад является значительным, с ростом скорости ветра доминирующими механизмами становятся сдвиг скорости дрейфового течения и обрушения волн.

МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ И СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЙ В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ И ИХ СВЯЗЬ С СЕВЕРОАТЛАНТИЧЕСКИМ КОЛЕБАНИЕМ

Шокурова И.Г.^{1✉}, Крашенинникова С.Б.²,
Башарин Д.В.¹, Чернышова Е.Д.¹, Бабич С.А.¹

¹ МГИ, г. Севастополь

² ИнБЮМ, г. Севастополь

✉ igshokurova@mail.ru

Ключевые слова: Североатлантическое колебание, Северная Атлантика, температура воды, скорость течений, зональная и меридиональная компоненты скорости течений.

В работе анализируется статистическая связь поверхностной температуры воды и скорости течений в Северной Атлантике с Североатлантическим колебанием (NAO) на основе корреляционного анализа. В районах с высокими значениями коэффициентов корреляции анализируются тренды многолетней изменчивости аномалий температуры, модуля и компонент скорости течений. Используются среднемесячные данные о температуре воды и скорости течений на горизонте 5 м океанического реанализа ORAS4 и данные индекса NAO (NOAA) за январь–февраль 1958–2017 гг. Отмечено, что области с положительными значениями коэффициентов корреляции между температурой воды и индексом NAO находятся в северо-западной части субтропического круговорота, а с отрицательными значениями – в районе субполярного круговорота и у западных берегов Африки в районе Канарского апвеллинга. Расположение этих областей соответствует известной трипольной структуре первой моды температуры поверхности океана в Северной Атлантике, выделяемой по многолетним данным. Положительную связь с NAO имеют скорости Гольфстрима, Северо-Атлантического, Лабрадорского и Восточно-Гренландского течений. При усилении NAO увеличивается зональный перенос в восточном направлении в субполярном регионе и в системе Гольфстрим –

Северо-Атлантическое течение, а меридиональный перенос в северном направлении в центральной части субполярного региона ослабевает. В Субтропическом круговороте высокие корреляции компонент скорости течений с индексом НАО отмечаются в его восточной и южной частях, и они свидетельствуют об усилении круговорота. Обратная ситуация наблюдается при ослаблении НАО. Наряду с положительным трендом индекса Североатлантического колебания, многолетние изменения меридиональных и зональных компонент скорости течений в отмеченных районах имеют значимые тренды. Полученные результаты свидетельствуют о продолжительных тенденциях изменения направления переносов воды, связанных с Североатлантическим колебанием и оказывающих влияние на климат, в частности на климат Арктики.

Работа выполнена в рамках тем государственных заданий ФГБУН ФИЦ МГИ (FNNN-2024-0014) и ФИЦ ИнБЮМ (№ 124030100137-6).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИБРЕЖНЫХ АПВЕЛЛИНГОВ ВБЛИЗИ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА В МАЕ 2010 ГОДА

Яровая Д.А. ✉, Ефимов В.В.

МГИ, г. Севастополь
✉ darik777mhi-ras@mail.ru

Ключевые слова: мезомасштабное совместное моделирование море–атмосфера, модель *NOW*, апвеллинг, Черное море, Южный берег Крыма.

Цель работы – исследовать с помощью мезомасштабной совместной модели реальные случаи апвеллинга, наблюдавшиеся в конце мая 2010 г. вблизи Южного берега Крыма (ЮБК). Для этой цели использовалась модель море–атмосфера *NOW (NEMO-OASIS-WRF)* с разрешением 1 км. Воспроизведено наблюдавшееся на спутниковых снимках появление трех областей с пониженной температурой поверхности моря (ТПМ) – вблизи

Ялты, вблизи Феодосии и в Керченском проливе – в конце мая 2010 г. Обнаружено, что на глубине 10 м понижение температуры вод не было ограничено тремя указанными областями, а произошло вдоль всего восточного побережья Крыма, т. е. вдоль побережья по большей части имел место неполный апвеллинг, который только в трех областях достиг поверхности моря и проявился в полях ТПМ.

По результатам моделирования подробно рассмотрено возникновение двух областей с пониженной ТПМ – в районе Ялты и в районе Феодосии. Подтверждено, что понижение ТПМ вблизи Ялты и Феодосии произошло именно вследствие апвеллинга, т. к. уменьшение температуры поверхностных вод сопровождалось одновременным увеличением их солёности и совпало по времени с усилением соответствующей компоненты скорости прибрежного ветра – направленной по нормали к берегу в районе Ялты и вдольбереговой в районе Феодосии.

Продemonстрировано основное преимущество динамической регионализации при совместном моделировании: показано, что атмосферный блок модели *NOW* воспроизвел мелкомасштабную структуру приповерхностного поля ветра в районах Ялты и Феодосии, в частности, усиление прибрежного ветра над морем до значительных скоростей (12–15 м/с), которое отсутствует в исходных данных атмосферного реанализа.

Установлено, что ялтинский апвеллинг можно отнести к сгонному типу, т. к. его развитие сопровождалось усилением ветра, направленного с суши на море. Феодосийский апвеллинг – экмановского типа, т. к. вызван сильным вдольбереговым юго-западным ветром. Выявлено главное различие в структуре апвеллингов: в ялтинском апвеллинге подъем вод был сосредоточен в более узкой зоне, непосредственно примыкавшей к берегу, а в феодосийском – подъем происходил в основном на удалении ~ 15 км от берега и скорость подъема вод не достигала таких больших значений, как в ялтинском.

Получено, что совместное мезомасштабное моделирование позволяет подробно рассмотреть структуру и развитие реального апвеллинга возле ЮБК, что было бы невозможно сделать, используя только данные наблюдений.

СЕКЦИЯ 3 «ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИБРЕЖНОЙ И ШЕЛЬФОВОЙ ЗОН МОРЯ»

ИЗМЕРЕНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В АТМОСФЕРЕ НАД ВОДАМИ ЧЕРНОГО МОРЯ В 135-ОМ РЕЙСЕ НИС «ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ»

Артамонов А.Ю.^{1,2}✉, Медведев Е.В.², Мукосеев И.Н.²

¹ ИФА РАН, г. Москва

² МГИ, г. Севастополь

✉ sailer@ifaran.ru

Ключевые слова: углекислый газ, потоки парниковых газов, взаимодействие океана и атмосферы.

В связи с увеличивающейся средней мировой температурой в последние годы возрастает и актуальность изучения изменений климатически активных газов. Натурные измерения содержания углекислого газа выявили пространственно-временную неоднородность интенсивности и направленности потока углекислого газа на границе океан–атмосфера. Дальнейшие исследования авторов дадут более глубокое понимание изменений в карбонатном равновесии шельфа крымского и кавказского побережья Черного моря.

Получение новых данных необходимо для выявления региональных особенностей глобальных климатических изменений и экологического мониторинга побережья Черного моря. Эти данные в дальнейшем будут использоваться при параметризации в моделях деятельного слоя моря и приводного слоя атмосферы.

Подробные исследования пространственной структуры концентраций углекислого газа и интенсивности его потоков на границе двух сред в приповерхностном слое атмосферы проводились в ходе 135-го рейса НИС «Профессор Водяницкий». Работы выполнялись в весенне-летний период (23 мая – 15 июня) 2025 г.

вдоль побережья Южного берега Крыма и Кавказа в пределах территориальных вод России. Измерения концентраций CO_2 , паров H_2O и метеопараметров (скорость и направление ветра, температура и влажность, давление) осуществлялись на протяжении всего рейса – при движении судна, в дрейфе, на станциях и в период стоянок у берега. Для измерений использовался газоанализатор $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ открытого типа со встроенным 3D анемометром (Integrated $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ Open-Path Gas Analyzer and 3D Sonic Anemometer (IRGASON)) производства Campbell Scientific, США, который был установлен на носовой мачте судна на высоте 10,4 м. По этим высокочастотным данным, используя метод турбулентных пульсаций (Eddy Covariance), рассчитывались потоки CO_2 , явного и скрытого тепла, момент импульса, динамическая скорость ветра.

Кроме того, проводились измерения содержания CO_2 дифференциальным, недисперсионным инфракрасным газоанализатором Li-7000 производства LI-COR, США. Воздухозаборник прибора был установлен на пеленгаторной палубе, на высоте аналогичной IRGASON. Газоанализатор является прибором закрытого типа. Кроме того, производилось потоковое вымораживание пробы воздуха, чтобы максимально снизить влияние влаги на значения CO_2 , и регулярная калибровка по стандарту.

Предварительный анализ полученных данных показал существенную пространственную изменчивость измеренных параметров, обусловленную заметными сезонными колебаниями и синоптическими вариациями в системе океан-атмосфера. На особенности пространственных распределений также оказывает влияние несинхронность выполнения работ.

Показано, что концентрации CO_2 изменялись от 420 до 453 мд по средним 30 мин IRGASON и 430 до 480 мд по измерениям на станциях Li-7000. Максимальные концентрации CO_2 наблюдались в ночное время при ветрах с берега. В целом диапазон концентрации атмосферного CO_2 находился в пределах естественной изменчивости этих параметров

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФГБУН МГИ FNNN- 2025-0001 «Мониторинг концентрации CO_2 в поверхностном слое вод и атмосфере во внутренних морях России» (Шифр: «Карбоновый полигон»), и РНФ 24-17-00155.

ГЕОРАДАРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРАТИГРАФИИ ПЛЯЖА И ОЦЕНКА ОБЪЕМА ПЕСЧАНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ЗАПАДНОГО БЕРЕГА КРЫМА

Багаев А.В. ✉, Нуриев С.А.

МГИ, г. Севастополь

✉ a.bagaev1984@mhi-ras.ru

Ключевые слова: георадар, Крым, пляжи, ГИС.

Песчаные пляжи Западного Крыма являются ценным рекреационным и природоохранным ресурсом, подверженным интенсивной эрозии. Традиционные методики оценки запасов пляжеобразующего материала (бурение, шурфы) обладают локальным характером и высокой трудоемкостью. В данной работе представлены результаты применения георадиолокации (GPR) для решения двух взаимосвязанных задач: исследования внутренней стратиграфической структуры пляжей и оценки общего объема песчаных отложений на ключевых участках западного побережья Крыма. Метод GPR обеспечивает высокодетальное, неразрушающее и оперативное картирование подповерхностных слоев.

Выполнен анализ данных георадарного обследования пляжей западного и юго-западного Крыма, полученных в 2022–2023 гг. с помощью георадара «ОКО-3».

В программе GeoScan32 и средствами ЯП Python построены профили вертикального распределения слоев осадков на основе сопоставления данных измерений с результатами контрольной шурфовки. Затем данные с георадарных разрезов были экспортированы в виде вертикальных профилей с пространственным шагом 10 м, с сохранением глубины залегания нижней границы слоя пляжного материала. Эти данные были импортированы в ГИС QGIS, выполнена привязка к местности и построены ограничивающие район исследований векторные полигоны

«пляжей». С помощью интерполяции методом IDW (обратно взвешенные расстояния) построены карты распределения запасов осадочного материала для 11 пляжей. Выполнено сравнение с данными 2022 г. для 6 пляжей (в пределах перекрывающихся полигонов).

Глубина слоя пляжного материала для обследованных пляжей составляла в среднем около 1,5 м. При разбросе в 0,2 м это дает расхождение в оценке толщины слоя от 1,3 до 1,7 м (расхождение около 0,4 м).

Использованный нами подход допускает расхождение в оценке запасов пляжного материала до $0,4 \cdot 900 = 360 \text{ м}^3$ на каждые 100 м пляжа (или на каждые 5000 м^2).

Например, для пляжа «Орловка-Юг» (г. Севастополь) площадь полигона, на котором проводилась интерполяция данных, составила $34\,648 \text{ м}^2$, т. е. погрешность оценки запасов материала составляет около $6,9 \cdot 360 = 2500 \text{ м}^3$. Таким образом, можно сделать вывод, что запас песка на этом пляже в 2022 г. составлял $19\,079 \pm 2500 \text{ м}^3$, а в 2023 г. составил $20\,745 \pm 2500 \text{ м}^3$, что при использованном методе оценки не позволяет судить о существенном изменении этих запасов.

Для песчано-гравийного пляжа «Немецкая балка» (г. Севастополь) площадь полигона составляла $11\,095 \text{ м}^2$, значит погрешность оценки составила около 800 м^3 . Таким образом, запасы материала составляли в 2022 г. $2\,771 \pm 800 \text{ м}^3$, а в 2023 г. $6\,762 \pm 800 \text{ м}^3$, что все же дает прирост около 2400 м^3 даже при оценке снизу.

Исследование выполнено в рамках госзадания по теме ФГБУН ФИЦ МГИ FNNN-2024-0016 «Прибрежные исследования».

ДИНАМИКА ИСКУССТВЕННОГО ПЛЯЖА НАБЕРЕЖНОЙ ИМ. ТЕРЕШКОВОЙ (Г. ЕВПАТОРИЯ)

Багаев А.В. ✉, Удовик В.Ф., Горячкин Ю.Н.

МГИ, г. Севастополь
✉ a.bagaev1984@mhi-ras.ru

Ключевые слова: искусственный пляж, набережная Терешковой, Евпатория, мониторинг, рельеф пляжа, динамика.

Интенсивное освоение побережья западного Крыма предполагает реализацию масштабных проектов по преобразованию береговой зоны, включающих, в том числе, создание искусственных пляжей. Мониторинговые исследования динамики рельефа создаваемых искусственных пляжей, а также примыкающих участков береговой зоны под воздействием природных и антропогенных факторов имеют важное научное и практическое значение.

В начале 2024 г. в период завершения реконструкции набережной им. Терешковой в г. Евпатории была закончена отсыпка щебня различных размерных фракций и окончательно сформирован исходный строительный профиль искусственного пляжа. Согласно проектной документации простирающийся вдоль набережной искусственный пляж длиной около 1250 м создан в качестве волногасящего элемента в составе системы берегозащиты, включающей также три надводных волнолома и практически непрерывную волноотбойную стенку набережной, отделяющую променад от пляжа. Тыльная граница пляжа имеет вид ломаной линии из 4 секций, повторяющей контур набережной. Боковые границы пляжа образованы двумя искусственными мысами, сформированными из каменных набросок с достаточно плотной укладкой материала.

Работы по организации полигона для мониторинговых наблюдений за переформированием рельефа пляжа вдоль набережной им. Терешковой были произведены сотрудниками МГИ РАН 20 марта 2024 г. Для проведения повторных инструментальных

измерений ширины и профилей пляжа на местности была закреплена система из 30 контрольных створов.

Представленные в работе результаты основаны на материалах натуральных наблюдений, полученных в ходе четырех экспедиций ФГБУН ФИЦ МГИ, проведенных в различные сезоны 2024 г. и весной 2025 г. При проведении первого полевого выезда произведена высокоточная съемка исходного рельефа искусственного пляжа с использованием ГНСС-приемника геодезического класса в режиме РТК.

Сравнительный анализ позволил получить количественные оценки ширины полосы волновой переработки и произошедшие здесь изменения плано-высотных отметок пляжа и положения линии уреза воды. Зафиксировано образование устойчивого основного штормового вала и ступенчатая структура поверхности в приурезовой полосе, которая сопровождается изменением состава наносов. Отмечается тенденция к сокращению общей площади пляжа, очевидно обусловленная первичным перераспределением отсыпанного материала в полосе сопряжения суши-море. Первоначально плавная линия уреза в дальнейшем приобрела достаточно сложный характер с образованием коротких участков с резким ее смещением в сторону берега, что наиболее вероятно связано со строительством трех волноломов, эффективность которых еще на этапе представления проекта вызывала сомнения у специалистов в области береговедения. В секторе, примыкающем к восточной границе пляжа, произошло образование мезомасштабной формы рельефа в виде узкой лагуны с понижением профиля пляжа до отметок уровня моря.

Результаты исследований могут быть использованы для оценки эффективности системы берегозащиты набережной им. Терешковой и при разработке проектов создания искусственных пляжей на побережье западного Крыма.

Работы выполняются в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ по теме № FNNN-2024-0016.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ АРКТИЧЕСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Богатова Д.М.

МГУ, г. Москва

✉ aleksyutina@geogr.msu.ru

Ключевые слова: Карское море, категориальные данные, мерзлые грунты, корреляционный анализ, метод случайного леса, факторный анализ, дисперсионный анализ.

Климатические изменения, происходящие в арктическом регионе, существенно влияют на процессы, связанные с криолитозоной, что делает задачу прогнозирования изменений береговой линии особенно сложной. Современные методы обработки данных и алгоритмы машинного обучения представляют собой перспективные инструменты для моделирования динамики арктического побережья.

В рамках исследования был выбран участок западного берега Байдарацкой губы Карского моря протяжённостью 4 км, расположенный между островами Левдиев и Торасавей. На начальном этапе была сформирована база данных, включающая сведения о динамике береговой линии в разные годы, литологическом составе, геоморфологическом уровне и преобладающем мерзлотном процессе, способствующем разрушению берега в конкретных точках побережья. За исключением величины отступления берега, остальные параметры представляли собой категориальные данные и также использовались в анализе.

В исследовании применялись современные методы анализа данных, включая корреляционный, факторный и дисперсионный анализ, а также алгоритм случайного леса. Использование этих методов позволило определить природные факторы, оказывающие наибольшее влияние на скорость разрушения береговых уступов, а также выделить зоны с повышенным риском интенсивных изменений и характерными средними темпами отступления берега при определённой комбинации категориальных признаков.

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы НИР лаборатории геоэкологии Севера географического факультета МГУ № 121051100167-1.

АНТРОПОГЕННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ МОРФОЛИТОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА В XXI ВЕКЕ

**Богуславский А.С., Казаков С.И., Удовик В.Ф.,
Берзова И.Г., Хамицевич Н.В. ✉**

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

Ключевые слова: Южный берег Крыма, берегоукрепительные сооружения, абразия, эрозия, литодинамика, пляжи.

На примере Лименского участка (пгт. Симеиз – пгт. Понизовка) представлены данные морфолитодинамических изменений береговой зоны, проявившихся в начале XXI века, как последствий масштабного строительства берегоукрепительных сооружений в период 1970–1980 гг. вдоль всей береговой линии Южного берега Крыма.

На основе данных многолетних наблюдений штормовой прибрежной гидродинамики и литопотоков, выполненных для характерного мысово-бухтового участка Южного берега Крыма, оценено изменение гидролого-литодинамических характеристик береговой зоны и прибрежной акватории с целью оценки многолетнего влияния берегоукрепительных сооружений.

Отмечено как положительное (защита береговых инфраструктур, возобновление аккумулятивного режима западных участков берега в новообразованных бухтах), так и отрицательное влияние сооружений – усиление абразии и склоновой эрозии южных мысовых и восточных неукрепленных бухтовых участков. Имеет место негативное изменение литодинамики на преимущественно ортогональный береговой линии вынос литоматериала в искусственных карманах берегоукрепительных сооружений.

Фактором штормовой абразии является преимущественно субмеридиональное расположение волнорезов сооружений.

Работа выполнена в рамках научной темы № FNNN-2024-0016 государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ 2025 г.

НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ ХОДА УРОВНЯ МИРОВОГО ОКЕАНА В ПОЗДНЕМ НЕОПЛЕЙСТОЦЕНЕ И ГОЛОЦЕНЕ, ОСНОВАННАЯ НА ДАННЫХ О ДРЕВНИХ БЕРЕГОВЫХ ЛИНИЯХ ЕГО ПОБЕРЕЖИЙ

Большиянов Д.Ю. ✉, Веркулич С.Р., Макаров А.С.

АНИИИ, г. Санкт-Петербург

✉ *bolshiyarov@aari.ru*

Ключевые слова: уровень океана, плейстоцен, голоцен, новая концепция.

Действующая концепция колебаний уровня Мирового океана базируется на изотопно-кислородной шкале, получаемой по соотношениям изотопов кислорода в скелетах раковин фораминифер в донных отложениях различных частей океана. Считается, что этот изотопный состав всецело зависит от разбавления океанской воды тающими водами ледников и от температуры воды. Кроме того, важнейшей аксиомой этого метода является понимание колебаний уровня Мирового океана, как следствие изъятия воды из гидросферы при развитии оледенений и отдачей её обратно в океан после начала таяния ледников. Для количественных характеристик колебаний уровня океана используются данные о возрасте и высоте береговых линий некоторых островов, например, острова Барбадос. Принято, что эвстатические колебания уровня океана, запечатлены в террасах этого острова.

Однако в практике палеогеографических исследований ни одна из этих аксиом не выполняется. Колебания уровня моря в районе о. Барбадос происходят в результате тектонических движений земной коры [Крапивнер, 2018]. Вариации изотопного

состава кислорода как в раковинах морских моллюсков, так и в ледниках, зависят от гораздо большего количества факторов, чем от температуры воды или воздуха. Возраст ключевой колонки донных отложений V-28-238 из экваториальной части Тихого океана определялся палеомагнитным методом с установлением единственной возрастной границы при смене палеомагнитных эпох Брюнес-Матюяма (около 0,7 млн. лет) [Shackleton, Opdyke 1973]. После насаживания этой изотопно-кислородной кривой на датировки кораллов о. Барбадос принятая возрастная шкала чрезвычайно слабо обоснована. В дальнейшем возраст морских отложений определялся уже при сопоставлении изотопно-кислородных кривых колонок отложений, полученных из различных районов Мирового океана, методом подгонки кривых друг к другу с выделением на них изотопно-кислородных стадий, которые и должны соответствовать основным периодам высокого и низкого стояния уровня Мирового океана.

Накопленные материалы по датированию морских осадков и береговых линий на суше показывают иную картину колебаний уровня Мирового океана как в плейстоцене, так и в голоцене. Например, нет реальных данных о понижении уровня моря в конце неоплейстоцена (15–20 тыс. л.н.) на 120 м. Также не состоялось отмены каргинской трансгрессии (по сибирской шкале) 57–25 тыс. л.н., когда считалось, что уровень моря в то время стоял ниже современного. В действительности он был выше современного на 40–60 м, например, на северной оконечности Евразии, как и в Антарктиде. Морские террасы высотой до 200 м на Севере Евразии имеют возраст от 130 до 70 тыс. лет, и эта трансгрессия (бореальная, мгинская, казанцевская, микулинская, эемская) продолжалась не первые, а до 60 тысяч лет. В голоцене уровень Мирового океана не стабилизировался около 5 тыс. лет на современных отметках, а колебался неоднократно с амплитудой до 15 м. Последние зафиксированные повышения уровня приходятся на время около 2000, 800 и 300 лет назад.

Новая концепция хода уровня Мирового океана и внутриконтинентальных водоёмов состоит в том, что на протяжении позднего неоплейстоцена и голоцена уровень колеблется и часто устанавливается на одних и тех же высотных отметках в результате круговорота воды в атмосфере, гидросфере и литосфере, а

также и в более глубоких слоях земных в результате действия периодических и непериодических изменений геодинамической обстановки и тектонических движений.

ДИНАМИКА БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ СЕВАСТОПОЛЯ ЗА ПЕРИОД 1942–2020 ГГ.

Васейкина Н.А.^{1,2}

¹ МГУ, г. Москва

² СахГУ, г. Южно-Сахалинск

✉ nata.vaseykina@mail.ru

Ключевые слова: побережье, денудация, пляжи, береговая линия, прибрежная зона.

Изменение береговой линии происходит неравномерно за разные периоды времени. В последние десятилетия в России отмечается увеличение скорости разрушения берегов в связи с активизацией природных и антропогенных процессов, в результате чего усложняется задача своевременного проведения мероприятий по берегозащите и охране окружающей среды.

В ходе работы был проанализирован массив аэрофотоснимков за 1942 г. и спутниковых снимков за 2020 г. (Bing Aerial) для Севастопольского региона. Анализ проводился с использованием геоинформационной системы QGIS.

Береговая линия Севастополя сильно изрезана многочисленными бухтами. Берега преимущественно рiasового типа (по генезису они представляют собой балки, затопленные морем). Борта бухт крутые и сложены преимущественно глинами, известняками и мергелями, вырезаны в малопрочных, преимущественно неогеновых известняках. От выхода из бухт к вершинам известняки сменяются глинами и рыхлыми морскими четвертичными отложениями. Открытые берега имеют изрезанный в профиле активный клиф. На отдельных открытых участках берега клиф обрывистый или с глыбово-валунным навалом у подножья. Высота клифа варьируется от 25 м (в бух. Казачьей) до 3–2 м

(в бух. Омега и у Херсонеса Таврического). К вершинам бухт клиф отмирает и образует пологие склоны.

Анализ данных показал, что наибольшие отступления побережья произошли в бух. Круглая, а также на участках бух. Стрелецкая, Песочная и Мартынова, среднее значение – 8,5 м. На остальных участках отступления не превышают 5 м. Берега в бух. Камышовая, Стрелецкая, восточная часть бух. Карантинная – техногенные, что связано с антропогенным преобразованием, влияние которого нарушает баланс наносов в прибрежной зоне, в результате изъятия материала с пляжей, строительства инфраструктуры и рекреационной деятельности. В бух. Песочная, Круглая, Абрамова и на м. Херсонес изменения вызваны преимущественно природными процессами в результате ветро-волновой деятельности и обрушения клифа. Кроме того, в настоящее время берега испытывают тектонические опускания.

Невысокие скорости отступления берегов связаны с их прочным геологическим строением и обособленностью многих бухт от активного ветро-волнового воздействия.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИМЕСЕЙ МАЗУТА НА СТВОРОЧНУЮ АКТИВНОСТЬ ЧЕРНОМОРСКОЙ МИДИИ С ПОМОЩЬЮ РАЗРАБОТАННЫХ БИОЭЛЕКТРОННЫХ КОМПЛЕКСОВ В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

Гайский П.В. ✉, Давидович А.Р.

МГИ, г. Севастополь

✉ gaysky@inbox.ru

Ключевые слова: биомониторинг, токсическое загрязнение, мазут, мидия, двустворчатый моллюск, створочная активность.

Разработанные в МГИ биоэлектронные комплексы индикации внезапных и хронических токсических загрязнений в водной

среде на базе двустворчатых моллюсков используются в экспериментах по изучению влияния актуальных угроз экологического характера.

В частности, в рамках экспедиционных работ на океанографической платформе ЧГПП в п. Кацивели в натурных условиях были проведены исследования воздействия примесей мазута в среде обитания моллюсков. Для эксперимента использовались два погружных образца биоэлектронных приборов (модель BioG8) с группами (по 8 шт.) референтных аборигенных моллюсков (черноморской мидии). Один прибор выступал в качестве опыта, другой в качестве контроля.

Основным преимуществом данной реализации в отличие от аквариумных экспериментов являлась идентичность и естественность (водообмен, температура, давление, освещенность) первичных условий обитания моллюсков. Концентрация мазута, расположенного в области моллюсков прибора-опыта, менялась поэтапно.

Наличие телеметрической передачи данных на бортовой компьютер от обоих приборов в течение нескольких недель обеспечивало получение непрерывной оперативной информации о створочной активности подопытных моллюсков, включая текущие изменения и соответствие суточным циклам.

О НЕОБХОДИМОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ПРИБРЕЖНЫХ ООПТ НА ПРИМЕРЕ «ЗЕМЛИ КРАНТА»

Грант Е.М. ✉, Губарева Е.К.

МГПУ, г. Москва
✉ *GrantEM@mgpu.ru*

Ключевые слова: прибрежные ООПТ, «земля кранта», природно-территориальные комплексы.

Прибрежные территории обладают одними из наиболее продуктивных и одновременно уязвимых видов экосистем на

планете. До последнего времени существовала тенденция приоритетного сохранения наземных экосистем по сравнению с участками морской среды. В настоящее время под охраной находится лишь 0,5 % площади морей и океанов, что на порядок меньше доли наземных ООПТ. С учетом того, что площадь морей в 2,5 раза превышает площадь суши, необходимо организовывать приморские и прибрежные ООПТ в целях сохранения уникальных прибрежных ландшафтов.

Одной из перспективных с указанной точки зрения прибрежных территорий с уникальными и разнообразными ландшафтами и экосистемами является Балтийское побережье в Калининградской области. Сложная геологическая и палеогеографическая история определили разнообразие географических и геологических форм. Одной из них является «земля кранта», которая представляет собой выступ уникальных палеогеновых морских отложений, находящихся в районе Филинской бухты в Калининградской области. Название происходит от прусского или литовского слова «krantas», что переводится как «берег». Морские отложения сформировались в эоценовой эпохе палеогенового периода (около 34 млн лет назад). В хорошо стратифицируемых пластах палеогенового возраста запечатаны окаменелости: гастроподы, двустворки, мшанки. Обнажения были распространены на северном побережье Самбийского полуострова, однако они были застроены.

«Земля кранта» представляет ландшафт, обладающий высоким туристическим, культурным и образовательным потенциалом. Отсутствие инфраструктуры позволяло экосистемам ландшафтов оставаться нетронутыми: сохранились почвы и реликтовая растительность. Несмотря на это, территория нуждается во внимании специалистов, так как подвержена естественному разрушению, а именно активной абразии из-за волновых потоков, ориентированных в основном на запад. Помимо этого, велико антропогенное загрязнение бытовым мусором. Эту уникальную местность необходимо сохранять.

Статус памятника природы регионального значения способствует будущей охране местности, а разработка и реализация эко-туристических маршрутов позволит не только рассказывать

о «земле кранта», но и соблюсти баланс между экономической выгодой и экологической устойчивостью.

Автор выражает благодарность эколого-просветительскому проекту РГО «Заповедное дело» за возможность провести исследования на территории «земли кранта».

ПРОЯВЛЕНИЕ ОПАСНЫХ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРЕДЕЛАХ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Григорьев А.Г. ✉, Жамойда В.А., Фатеев Д.С.

Институт Карпинского, г. Санкт-Петербург

✉ Andrey_Grigiryev@karpinskyinstitute.ru

Ключевые слова: Баренцево море, опасные экзогенные геологические процессы, морфоскульптурные формы рельефа, осыпи, осыпи.

Целью исследований, проводимых в пределах Кольского залива и района губы Териберская Баренцева моря, являлось выявление геологических обстановок, где возможно проявление опасных экзогенных геологических процессов (ЭГП). Задачей исследований являлось выделение морфоскульптурных форм рельефа, характеризующихся наибольшей возможностью проявления в их пределах опасных ЭГП.

Для района губы Териберская к таким формам в первую очередь относятся: скальная гряда «Северо-Западная», являющаяся подводным продолжением острова Малый Олений, моренная гряда «Юго-Западная» и разделяющий их выводной ледниковый трог. Все вместе они образуют единый комплексный морфоскульптурный элемент. Скальная гряда «Северо-Западная» сложена гранитами. Перепад высот гряды по отношению к подошве склонов колеблется от 37 до 90 м. Углы южных склонов, направленных в долину трога, изменяются от 10,5° до 19,7°. На крутых склонах, выполненных коренными породами, часто отмечаются развалы разноразмерного обломочного материала, смещенного

вниз по склону в результате осыпеобразования. На склонах, перекрытых голоценовыми осадками, фиксируются оползни, вследствие гравитационного перемещения донных грунтов. Перепад высот по отношению к подошве склонов колеблется от 30 до 60 м, а углы северных склонов от $9,3^\circ$ до $18,7^\circ$. В нижней части и у подножья склонов картируются многочисленные оползневые тела мощностью до 6 м.

В пределах Кольского залива выделяется ряд морфо-скульптурных форм рельефа, характеризующихся наибольшей возможностью проявления в их пределах опасных ЭП. К ним в первую очередь относятся крутые подводные береговые склоны и склоны подводных гряд. Подводные береговые склоны выполнены коренными породами архея, частично перекрытыми ледниковыми отложениями и морскими отложениями голоцена. Наиболее крутые склоны с максимальным перепадом высот характерны для восточного борта залива. Здесь зафиксированы углы, достигающие 43° и максимальные перепады высот до 220 м. Западный борт менее крутой и характеризуется распространением многочисленных подводных террас. Максимальные зафиксированные углы склонов достигают 28° . Перепады высот для первой террасы составляют 80–128 м, для второй террасы – около 100 м. Подводные гряды также выполнены коренными породами архея. Кровля гряд, как и их скаты, как правило перекрыта ледниковыми отложениями и частично морскими отложениями голоцена с отдельными выходами коренных пород. Примером таких гряд является подводная скальная гряда, представляющая собой продолжение о. Большой Олений. Зафиксированные углы западного склона составляют от 11° до 30° , восточного около 12° . Перепад высот западного склона – до 100 м, восточного – до 140 м. У подножья береговых склонов и скальных гряд широко развиты осыпи и оползни, причем зачастую наблюдается многостадийность оползнеобразования. Так, одним из профилей в верхней части западного борта берегового склона несколько ниже выходов коренных пород зафиксирована осыпь. На этом же профиле у западного подножья скальной гряды, являющейся подводным продолжением о. Б. Олений, зафиксировано оползневое тело, образовавшееся как минимум в две стадии оползнеобразования. Первая стадия мощностью до

5 м вероятно соответствует ледниково-морским отложениям (gmIIos). Вторая – мощностью также около 5 м соответствует морским отложениям голоцена – (mH).

ГАЗОВЫЕ СИПЫ В ПОДВОДНЫХ МЕРЗЛЫХ И ОТТАИВАЮЩИХ ТОЛЩАХ ПРИБРЕЖНО- ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЫ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

Григорьев М.Н.

ИМЗ СО РАН, г. Якутск

✉ *grigoriev@mpi.ysn.ru*

Ключевые слова: подводная мерзлота, сипы метана, особенности газопроявлений, бактериальная переработка органики, глубинные газогидраты.

В ходе буровых исследований подводной мерзлоты на прибрежном шельфе моря Лаптевых, проводившихся с морского льда, весьма часто фиксировались достаточно мощные газопроявления в виде «факелов» метана в разных диапазонах глубин проходки. Буровые профили обычно закладывались в прибрежно-шельфовой зоне при максимальной глубине моря в первые десятки метров. Подобные газовые сипы также обнаруживаются в мерзлых и оттаивающих отложениях в морских лагунах, под прибрежными озерами и под руслами протоков в дельтах рек. Как правило, они обнаруживались случайно, при огневом прогреве бурового снаряда, для облегчения выхода керна из колонковой трубы, а также при пузырьковом бурлении воды в околоскважинном пространстве.

Наибольшая глубина обнаружения газовых сипов при бурении на шельфе до глубины 100 метров отмечалась в западном секторе моря Лаптевых в интервале 62–70 м ниже поверхности дна. Источник метана был сосредоточен именно в пределах этого интервала, сложенный немерзлыми песчано-глинистыми отложениями, которые имели температуру -1 °С.

Обычно горящий газовый факел имел высоту от 20 до 40 см, а его цвет варьировал от красно-желтого до зеленовато-голубого. Максимальная длительность его горения составляла около 30 минут. Анализ проб воздуха из устья скважины показывает, что максимальная концентрация метана в них достигает 30–45 %.

В статьях, посвященных обнаружению больших объемов газов из промерзших и оттаивающих толщ подводной мерзлоты, ведется активная полемика об источниках столь значительного газопроявления в шельфовой зоне Восточно-арктических морей. В значительном количестве публикаций на эту тему утверждается, что основные объемы метана продуцируются из глубинных газогидратов. На наш взгляд, проявление газовых сипов в условиях относительно небольших глубин моря в основном связано со значительным объемом бактериально переработанного органического материала в первых десятках метров придонных субаквальных отложений. Доля такого материала часто достигает 10, а в отдельных кернах до 30 весовых процентов.

Скопления метановых пузырей часто наблюдаются во льду в приустьевых частях арктических рек, а также во льду многочисленных прибрежных арктических лагун и озер.

Исследование выполнено при поддержке научного проекта НИОКТР 122011400151-0 «Деградация мерзлоты и трансформация рельефа в береговой зоне и на шельфе арктических морей восточного сектора РФ: Динамика, прогноз и риски».

ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ПРЕДПРОЛИВНОЙ ЗОНЕ КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА, ПОДВЕРГШЕЙСЯ ЗАГРЯЗНЕНИЮ МАЗУТОМ

Гуров К.И. ✉, Марков А.А., Фомин В.В.

МГИ, г. Севастополь

✉ *gurovki@gmail.com*

Ключевые слова: Керченский пролив, донные отложения, гранулометрический состав.

Керченский пролив – важный транспортный коридор, соединяющий Черное и Азовское моря и играющий определяющую роль в промысловой и социально-экономической деятельности на юге России.

При оценке уровня антропогенной нагрузки в водных экосистемах одним из наиболее информативных объектов изучения являются донные отложения. Так, в результате активного накопления илистого материала в донных отложениях возрастают концентрации различных загрязняющих веществ (например, нефтепродуктов и тяжелых металлов), что в дальнейшем приводит к их поступлению в придонных слой вод. Кроме того, тяжелые формы нефтепродуктов, поступление которых обычно связано с техногенными авариями, оседая на дно, могут образовывать большие скопления или агломераты, смешиваться непосредственно с донными отложениями или вновь перемещаться в толщу вод в процессе перемешивания волнами и течениями. Тяжелые формы нефти потенциально воздействуют на бентосные и пелагические организмы, проникая на все уровни пищевой цепи и нарушая экологическое состояние прибрежных морских экосистем, а также социально-культурное и экономическое состояние прибрежных рекреационных зон.

Ключевой характеристикой донных отложений, определяющей их реакцию на взмучивание, перенос и переотложение, является гранулометрический состав.

В данной работе использовались данные о гранулометрическом составе донных отложений Керченского пролива и его южной предпроливной зоны, полученные в ходе рейсов на НИС «Профессор Водяницкий». Отбор проб поверхностного слоя отложений выполнялся помощью дночерпателя Петерсона.

Поверхностный слой донных отложений Керченского пролива изучен достаточно детально, однако данных о предпроливной зоне крайне мало. Согласно результатам ранних исследований в прибрежной мелководной зоне пролива отложения представлены полимодальным комплексом, включающим песчаные, илистые и ракушечные фракции. Наибольшие скопления ракушечного материала приурочены к прибрежным участкам Керченского полуострова.

Согласно современным данным, фракционный состав отложений в проливе значительно отличается от предпроливной зоны. В донных отложениях Керченского пролива преобладает фракция пелито-алевритовых илов, а на отдельных участках доля илистого материала достигает 96 %. Донные отложения в предпроливной зоне пролива представлены преимущественно гравийно-песчаным материалом. В среднем доля гравийно-песчаного материала составила 65 %, а на отдельных станциях содержание крупно-гравийной фракции (>10 мм) составляет 35 %. По мере удаления мористее от Керченского пролива доля гравийно-песчаного материала сокращается и составляет 45 % на глубинах

40–70 м. Такие особенности фракционного состава объясняются слабой седиментацией взвешенного вещества на выходе из пролива в связи с интенсивной циркуляцией вод в данном районе. Особенности фракционного состава и долевого содержания фракций отражаются в данных о среднем диаметре отложений, который изменяется от 0,04–0,12 мм для мелкозернистых отложений западного берега и центральной части пролива до 1,7–3,9 мм в предпроливной зоне на выходе из пролива.

Работа выполнена в рамках тем госзадания FNNN-2024-0001 и FNNN-2025-0002.

ПОТОКИ БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ НА ГРАНИЦЕ ВОДА – ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ В СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЕ

Гурова Ю.С. ✉, Гуров К.И., Вареник А.В.,
Мыслина М.А., Тарасевич Д.В.

МГИ, г. Севастополь

✉ gurova@mhi-ras.ru

Ключевые слова: донные отложения, поровые воды, Eh, pH, биогенные вещества, потоки, Севастопольская бухта.

Севастопольская бухта является характерным примером акватории, где интенсивная антропогенная нагрузка сочетается с природными биогеохимическими процессами, что приводит к активному накоплению органического углерода и биогенных веществ в донных отложениях.

Поровые воды, являющиеся ключевым звеном в трансформации основных биогенных веществ (фосфаты, кремнекислота, аммонийный азот, нитраты и нитриты), до сих пор остаются недостаточно изученным компонентом экосистемы Севастопольской бухты. Через границу раздела вода – донные отложения биогенные вещества поступают в водную толщу, поддерживая продуктивность экосистемы. Стоит отметить, что изучение потоков биогенных веществ важно для понимания протекания и интенсивности процесса эвтрофикации.

Несмотря на систематическое исследование донных отложений, включая анализ химического состава поровых вод, данных о количественных характеристиках и особенностях пространственного распределения в поровых водах Севастопольской бухты биогенных веществ крайне мало.

Поэтому целью данной работы являлось исследование химического состава поровых вод и оценка потоков биогенных веществ на границе вода – донные отложения в Севастопольской бухте.

Пробы донных отложений поверхностного слоя (0–5 см) были отобраны в рамках ежеквартальных экспедиций отдела биогеохимии моря Морского гидрофизического института РАН на маломерном судне «Гидрограф-4». Всего в различные гидрологические сезоны (весна, лето, осень) была отобрана 31 проба донных отложений, из которых методом центрифугирования были извлечены поровые воды.

Установлено, что в поверхностном слое донных отложений преобладала слабощелочная восстановительная среда (pH 7.2–8.1, Eh -50...-150 мВ). Окислительно-восстановительные условия определялись комплексом природных (гидродинамика, гранулометрический состав) и антропогенных (поступление органического вещества и биогенных элементов) факторов.

Для поровых вод донных отложений впервые выполнено измерение содержания основных биогенных веществ и рассчитаны их потоки на границе вода – донные отложения. В результате анализа была выявлена сезонная изменчивость, установлены связи с географическим расположением станций, и физико-химическими характеристиками твердой фазы донных отложений. Установлено, что для фосфатов и кремнекислоты значительное превышение концентраций в поровых водах определяет направление их потока – из осадка в придонный слой вод. Для нитратов, наоборот, поток направлен в отложения.

Анализ полученных результатов показал, что пространственное распределение физико-химических характеристик донных отложений и состава поровых вод Севастопольской бухты обусловлено комплексным влиянием различных факторов, таких как антропогенное воздействие, гидродинамический режим акватории и процесс осадконакопления. Более того, выявленные различия влияния физико-химических характеристик твердой фазы на химический состав поровых вод для различных районов бухты, указывают на необходимость дальнейшего изучения.

Работа выполнена в рамках тем госзадания FNNN-2025-0001, FNNN-2024-0001.

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОБЫЧИ БИВНЕЙ МАМОНТОВ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

Доронин Д.О.

ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, г. Санкт-Петербург

✉ *dd@denisdoronin.ru*

Ключевые слова: бивень, мамонт, шельф, прибрежная зона, устойчивое развитие.

В прибрежной зоне арктических морей одним из добываемых ресурсов являются ископаемые остатки мамонтового фаунистического комплекса, в первую очередь представленные бивнями мамонтов.

В современных прибрежно-морских и аллювиальных осадках разрабатываются россыпи ископаемых остатков, в том числе и по государственным лицензиям, выданным правительством Республики Саха (Якутия). Наиболее массовая добыча ведется на северо-якутских россыпях Восточно-Арктического шельфа. Ежегодная добыча по разным оценкам составляет от 40 до 140 т в год, что соответствует стоимости от 240 до 850 млн. руб. В настоящее время добыча носит непостоянный характер, что связано как с особенностями нормативно-правового регулирования, так и с отсутствием метрологического обеспечения добычи и оценки добываемого сырья и получаемых полуфабрикатов из бивней мамонтов. На сегодняшний день отсутствуют достоверные методы измерений параметров бивней и способы классификации сырья. Согласно Концепции развития сбора, изучения использования, переработки и реализации палеонтологических материалов мамонтовой фауны (утверждена Распоряжением Главы Якутии от 13.08.2018 № 649-РГ), необходимо проведение экспертизы с четко прописанными параметрами сортности для оценки сырья, а также для исключения субъективизма экспертов-оценщиков. Для этого в рамках научного исследования разрабатывается метрологическое обеспечение измерений параметров ископаемых остатков мамонтового фаунистического комплекса.

Для устойчивого развития незаслуженно исключенной из области государственного надзора отрасли по добыче бивней мамонтов, для осуществления экологического контроля мест добычи необходимо разработать научные и организационные основы, технические средства с целью обеспечения единства измерений. Наличие государственного надзора позволит легализовать и обеспечить безопасную добычу бивней, а для этого должно быть достигнут консенсус по вопросам качества бивней. Рассмотрим некоторые аспекты метрологического обеспечения, разработанные на настоящий момент. В 2025 г. утвержден национальный стандарт, содержащий требования к сортности (ГОСТ Р 71491). Однако для установления соответствия сырья нормированным требованиям необходимо провести измерения характерных параметров бивней, а также обеспечить единство измерений и достаточную точность.

Для контроля требований, установленных в стандартах, разработаны алгоритмы процессов измерений и разработаны основные положения комплексной методики измерений параметров бивней:

1. Алгоритм процессов измерений угла Шрегера на образцах бивней (для идентификации вида хоботного животного).

2. Алгоритм процессов измерений открытой пористости, разработан стандартный образец открытой пористости бивня мамонта (для идентификации композитных материалов).

3. Алгоритм процессов измерений координат цвета (для установления цвета образца бивня и достоверного определения сортности).

4. Основные положения комплексной методики измерений параметров ископаемых остатков мамонтового фаунистического комплекса (для комплексной оценки сырья и полуфабрикатов).

Применение рассмотренных алгоритмов и внедрение национальных стандартов позволит достоверно проводить оценку качества сырья и полуфабрикатов из ископаемых остатков мамонтового фаунистического комплекса, а также создать научно-методическую основу для проведения таможенной экспертизы.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ ЗАЛИВА СИВАШ ПОД ВЛИЯНИЕМ СИЛЬНЫХ ОСАДКОВ

Ерёмина Е.С.^{1✉}, Евстигнеев В.П.²

¹ МГИ, г. Севастополь

² СевГУ, г. Севастополь

✉ shchurova88@gmail.com

Ключевые слова: Азовское море, дистанционные методы, залив Сиваш, Landsat, опасные метеорологические явления, осадки.

Проведено исследование влияния выпадения большого количества осадков на прибрежную зону залива Сиваш. Проанализированы суммы годовых осадков, выпавших за период с 1991 по 2024 гг. на трех метеорологических станциях: Джанкой, Владиславовка, Ишунь. Выделены случаи, классифицированные как опасные метеорологические явления по осадкам (ОЯ). За исследуемый период наибольшее число раз ОЯ фиксировались на станциях Джанкой и Владиславовка, очень сильные осадки выпадали чаще всего в теплое полугодие.

Для анализа изменчивости береговой линии залива Сиваш были отобраны спутниковые снимки Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L1, сделанные в безоблачную погоду до и после случаев ОЯ. В программе Beam Visat проводилось наложение снимков одной территории, выполненных в разное время. Построенные RGB композиции позволили выделить затопляемые районы во время ОЯ. Зафиксировано подтопление устьев, балок и мелких водоемов Присивашья после продолжительных сильных осадков в июне 2021 г. Определены участки, которые подвергаются сезонной осушке в течение летнего сезона. Выявлено, что в августе 2024 г. полностью пересох Западный Сиваш, что наблюдается впервые с момента запуска Северо-Крымского канала. Дальнейшая работа будет включать расчеты площадей затопляемых и осушаемых территорий.

Работа выполнена в рамках государственного задания по темам: FNNN-2024-0016, № 124021300029-0 (FEFM-2024-0013).

ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МЕДИ, СВИНЦА, ЖЕЛЕЗА, МАРГАНЦА И ХРОМА В ВОДАХ БАЛАКЛАВСКОЙ БУХТЫ В 2024 ГОДУ

Еркушов В.Ю. ✉, Дьяков Н.Н., Жидкова Л.Б., Шибаета С.А.

СО ГОИН, г. Севастополь

✉ slaverk@mail.ru

Ключевые слова: тяжелые металлы, медь, свинец, железо, марганец, хром, содержание, концентрация, Балаклава, мониторинг.

В сферу ответственности Севастопольского отделения ФГБУ «ГОИН» входит экспедиционный отбор и химический анализ проб, а также оценка уровня загрязнения и качества морской воды в прибрежных районах Севастополя и Крыма.

В 2024 г. в рамках гидрохимического мониторинга прибрежных вод Крыма сотрудниками Севастопольского отделения ФГБУ «ГОИН» были организованы и проведены три сезонные гидролого-гидрохимических съемки Балаклавской бухты и залива Мегало-Яло, проводимые в период с февраля по октябрь. Отбор проб выполнялся с поверхностного и придонного горизонтов. В результате анализа отобранных образцов морских вод на содержание тяжелых металлов (медь, марганец, хром, железо, свинец) были получены величины концентраций, значительно отличающиеся от данных, полученных ранее.

Тяжелые металлы в Балаклавской бухте распределялись неравномерно, области повышенного загрязнения формировались в кутовой части, где расположен сток реки Балаклавки, в узкой части бухты и в месте сброса неочищенных хозяйственно-бытовых вод.

Содержание меди в весенне-зимний период достигло максимальных значений, приближающихся к пяти ПДК (ПДК_{Cu} = 5 мкг/дм³), при среднем значении в 1,6 ПДК. При этом придонные пробы содержали значительно большие концентрации,

чем поверхностные. Концентрации остальных исследуемых металлов не превысили ПДК, однако оказались выше измеренных в предыдущие периоды.

В летнем цикле исследований (июль 2024 г.) концентрация меди снизилась, при этом максимальные значения все равно превышали ПДК в полтора раза. При этом концентрация остальных металлов за исключением марганца выросла кратно, на величину от полутора до шести раз, в максимальных значениях превысив ПДК по свинцу ($\text{ПДК}_{\text{Pb}} = 10 \text{ мкг/дм}^3$) и железу ($\text{ПДК}_{\text{Fe}} = 50 \text{ мкг/дм}^3$).

В осенних пробах содержание всех металлов значимо снизилось и приблизилось к значениям прошлых периодов мониторинга.

Все вышеуказанные превышения концентраций металлов зафиксированы в кутовой и закрытой частях бухты, значительно снижаясь на станциях, расположенных в открытой части и фоновых прибрежных районах. Это позволяет предположить, что такие резкие превышения концентраций почти всех исследуемых металлов связаны с технологическими процессами по углублению дна и подводному монтажу свайных опор при проведении ремонтных работ на Таврической набережной, что повлекло за собой подъем донных грунтов, содержащих значимые концентрации исследуемых металлов. Для подтверждения вышеозвученных предположений считаем необходимым продолжить мониторинговые исследования данного района в увязке с динамикой морских вод бухты, а также направлений вертикального и горизонтального транспорта потоков тяжелых металлов в различные сезоны года.

Данная работа была выполнена на базе Севастопольского отделения ФГБУ «Государственный океанографический институт», входящего в структуру Росгидромета, в рамках темы «Развитие моделей, методов и технологий мониторинга гидрохимического состояния и загрязнения морей России и оценки гидрологического и гидрохимического состояния морей и морских устьев рек».

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Ефименко Е.А. ✉, Румянцева Е.А.

МАУ, г. Мурманск
✉ efimenkoea@mauniver.ru

Ключевые слова: риск-менеджмент, оценка рисков, природные риски, техногенные риски, прогнозирование рисков, антропогенные риски, вероятностный анализ, поражающие факторы, чрезвычайные ситуации.

Арктический регион характеризуется высокой динамичностью природных процессов и возрастающей техногенной нагрузкой, что существенно повышает вероятность возникновения катастрофических событий. Климатические изменения, расширение масштабов хозяйственной деятельности и усложнение технических систем требуют разработки адаптивных, многофакторных методов анализа рисков. Целью данной работы является комплексный анализ существующих методических подходов к оценке риска природных и технических систем в прибрежной зоне, систематизация математических моделей прогнозирования чрезвычайных ситуаций (ЧС) и выработка рекомендаций по повышению точности и информативности риск-анализа. Выделим основные методологические принципы оценки рисков, такие как:

- комплексный подход с использованием натурных данных, математических моделей и экспертной оценки;
- дифференцированный анализ рисков для различных природных условий прибрежной зоны;
- применение вероятностных статистических методов.

Анализ методологических подходов к оценке природных и техногенных рисков в прибрежной зоне Мурманской области показал необходимость разработки комплексных, адаптивных методик риск-менеджмента, учитывающих специфику арктических экосистем. На сегодняшний день невозможно создать

единую модель оценки вероятности возникновения и распространения воздействия ЧС природного и техногенного характера. В пределах одного типа ЧС вероятность его распространения зависит от конкретных условий в момент времени, приходящийся на ЧС. Вероятность возникновения ЧС, аварий, катастроф оценивается зачастую при помощи статистической обработки данных схожих происшествий, данных по эксплуатационным характеристикам систем и природно-территориальным условиям. Ключевым направлением совершенствования риск-анализа является развитие многофакторных прогностических моделей с использованием современных технологических решений. Для повышения точности прогнозирования чрезвычайных ситуаций необходимо расширение базы статистических данных, совершенствование математических моделей и внедрение инновационных методов обработки информации.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-17-20021, <https://rscf.ru/project/24-17-20021/> и Минобрнауки Мурманской области согласно Соглашению от 03.05.2024 № 199.

ДИФфуЗИОННАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ, ДИССИПАТИВНЫЕ СТРУКТУРЫ И БИФУРКАЦИЯ ТЬЮРИНГА В МОДЕЛЯХ ОТКРЫТЫХ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ТРОФИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Завалишин Н.Н.

ИФА РАН, г. Москва

✉ nickolos@ifaran.ru

Ключевые слова: экосистема, трофическая цепь, первичная продуктивность, динамические модели, стационарное состояние, аттрактор, диссипативная структура, бифуркация Тьюринга.

Классическое представление пищевой цепи, состоящей из последовательности биологических видов, находящихся в

отношениях типа «хищник-жертва», может быть расширено явным описанием динамики потребляемого ресурса. Получающиеся системы обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) описывают и случай трофических структур, уровнями которых являются целые группы видов, играющих сходную функциональную роль. Стационарные состояния в пространственно-неоднородных моделях трофических цепей (ТЦ) с явным описанием ресурса могут терять устойчивость посредством бифуркации Тьюринга с образованием диссипативных структур. Учитывая в исследовании ТЦ явление таксиса по ресурсу, можно получить динамические пространственные модели с кросс-диффузионными слагаемыми. Получены необходимые и достаточные условия возникновения бифуркации Тьюринга в открытых эксплуатируемых однокомпонентных цепях с ресурсом при изменении скорости притока ресурса извне и значений промысла. Показано, что учет фактора таксиса ведет к потере устойчивости однородного стационарного состояния по механизму Тьюринга, при том что в пространственно-агрегированной ТЦ с одним уровнем не происходит потери устойчивости единственного нетривиального стационарного состояния.

Бифуркационные свойства динамических режимов моделей ТЦ с явным описанием ресурса оказываются связаны с термодинамическим принципом минимума производства энтропии в неравновесных стационарных состояниях, сходным с термодинамической теоремой И. Пригожина, что дает дополнительные соотношения для калибровки модельных коэффициентов. Помимо одноуровневой ТЦ с явным описанием ресурса, исследуются условия потери устойчивости стационарных состояний пространственной двух- и трехуровневой цепей с эффектом всеядности на втором уровне при изменении интенсивности промысла и скорости притока ресурса по механизму Тьюринга. Численное исследование бифуркаций стационарных решений модели методами продолжения по параметру показывает сложный характер параметрического портрета, на котором можно выделить области существования периодических и хаотических колебаний биомассы компонентов ТЦ. Диссипативная структура для пространственно-неоднородных моделей частично исследуется аналитическими методами, с помощью которых удается

установить параметры, к изменению которых она наиболее чувствительна. В качестве примера проводится анализ нескольких вариантов ТЦ пелагиали и эпипелагиали Охотского и Берингова морей Дальнего Востока России.

Работа выполнена при поддержке темы № 1022041400198-0-1.5.10 «Анализ и моделирование динамики экологических процессов в условиях меняющегося климата (рег. номер 125021001827-3)» государственного задания ИФА им. А.М. Обухова РАН.

ВЛИЯНИЕ МОРФОДИНАМИКИ НИЗКИХ БЕРЕГОВ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ НА ЗАПАСЫ «ГОЛУБОГО» УГЛЕРОДА (НА ПРИМЕРЕ ЧЁШСКОЙ ГУБЫ БАРЕНЦЕВА МОРЯ)

**Кажукало Г.А. , Багдасаров И.Е., Бобрик А.А.,
Огородов С.А., Красильников П.В.**

МГУ, г. Москва

 *kazhukalo@geogr.msu.ru*

Ключевые слова: органический углерод, маршевые почвы, береговые процессы, приливно-отливная зона, Чёшская губа, Арктика.

Береговые экосистемы принято считать важнейшим депо морского, «голубого» углерода. За счет привноса аллохтонного вещества приливами и штормовым заплеском почвы береговой зоны аккумулируют органический углерод и сохраняют его в масштабе тысячелетий. Тем не менее, множество исследований указывает на интенсификацию размыва первично-аккумулятивных берегов, обусловленную изменением климата Арктики и повышением уровня моря. Более того, на низменных берегах наблюдаются скорости размыва, не уступающие темпам разрушения термоабразийных уступов (2–3 м/год и более). Следовательно, для прогнозных оценок изменения бюджета органического углерода необходимо учитывать не только его

запасы на всём протяжении береговой зоны, но и механизмы и факторы разрушения берегов.

Район работ приурочен к устьевой области р. Пёша, расположенной в юго-восточной мезоприливной (4–5 м) части Баренцева моря. Полевые исследования, проведенные в июне–июле 2024 года, охватывали две береговые экосистемы к западу и к востоку от эстуария Пёши, гидродинамический режим которых существенно отличается. Восточный ключевой участок является типичным маршем с последовательной сменой уровней затопления и биотопов (от глинистых ваттов до верхнего марша). Его динамика определяется преимущественно приливно-отливными силами, а морфология марша свидетельствует об ограниченном развитии волнения и преимущественной аккумуляции. Величина запасов углерода на типичном марше не превышает 75 тС/га, причем пиковых значений достигает на среднем маршевом уровне.

Западный ключевой участок (урочище «Большая Корга»), напротив, имеет инвертированный поперечный профиль биотопов, обусловленный интенсивным волновым воздействием. В его пределах выделяются обширные ватты, а выше по профилю наблюдается размываемый уступ (до 1–1,2 м), сложенный растительным детритом и перекрытый песчаной авантюной. Далее по профилю наблюдается широкая (до 4 км) субгоризонтальная поверхность, которая сильно расчленена литоральными ваннами и каналами обратного стока. Привнос талассогенного вещества и затопление этих берегов осуществляется через данные каналы обратного стока, и, по-видимому, под воздействием штормовых нагонов. Для изученного «нагонного» марша характерно многократное превышение запасов углерода в верхнем слое почвы (до 240 тС/га), и максимальные значения наблюдаются на размываемых уступах. Их морфология указывает на стремительное отступление береговой линии в современных климатических условиях. Соответственно, размыв низменных берегов, богатых органическим углеродом и развивающихся в условиях активной гидродинамики, необходимо учитывать как значительную расходную часть бюджета арктического углеродного цикла. Классические приливные марши, наблюдаемые в затишных условиях эстуариев, напротив, являются пулами «голубого» углерода,

однако содержание органики в них сравнительно меньше из-за интенсивного приливно-отливного воздействия.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 23-67-10006 «Запасы и динамика «глубокого углерода» в береговой зоне морей западного сектора Российской Арктики».

СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЛИМЕНСКОГО ЗАЛИВА (ЧЕРНОЕ МОРЕ)

Котельянец Е.А. ✉, Совга Е.Е., Гуров К.И.

МГИ, г. Севастополь

✉ plistus@mail.ru

Уровень загрязнения донных отложений прибрежных акваторий зависит от геохимических характеристик отложений, источников поступления загрязняющих веществ и гидродинамического режима акваторий. В отличие от водной акватории, донные отложения более инертны по своим характеристикам и их исследование позволяет получить результаты долговременных процессов аккумуляции, трансформации и перераспределения загрязняющих веществ, являясь, таким образом, наиболее объективной и надежной оценкой экологического состояния исследуемой акватории.

Цель работы – исследование содержания и распределения микроэлементов и тяжелых металлов (As, Ti, Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Cr, V, Sr, Fe, Mn) в донных отложениях прибрежной акватории Лименского залива (пгт. Кацивели, Крым) в зависимости от их основных геохимических характеристик (органический углерод и гранулометрический состав) и локализации источников загрязняющих веществ.

Исследовались поверхностные донные отложения, отобранные в 2012 г. и 2022 г. в пределах океанографического полигона в районе пгт. Кацивели. Определение валового содержания металлов As, Cr, Co, Cu, Ni, Pb, Zn, V, Sr и оксидов металлов TiO₂,

MnO, Fe₂O₃ в донных отложениях выполнялось методом рентгенофлуоресцентного анализа с применением спектрометра «Спектроскан Макс-GVM».

В исследуемых донных отложениях выявлены локальные участки с повышенным содержанием цинка, хрома, кобальта, стронция, титана, ванадия и железа, при этом максимальные концентрации наблюдались в донных отложениях акватории, примыкающей к акватории «Голубой залив».

Показано, что пространственное распределение исследуемых микроэлементов и их накопление в донных отложениях зависит от геохимических характеристик последних, локализации источников загрязнения и гидродинамического режима исследуемой акватории.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме FNNN-2024-0016 «Прибрежные исследования».

ЛАГРАНЖЕВ ПОДХОД ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЧЕРНОМОРСКОГО КАЛКАНА НА РАННИХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

**Красильников Д.С.^{1✉}, Мизюк А.И.¹, Ханайченко А.Н.²,
Багаев А.В.¹, Климова Т.Н.²**

¹ МГИ, г. Севастополь

² ИнБЮМ, г. Севастополь

✉ krasilnikov.dmitrij@inbox.ru

Ключевые слова: численное моделирование, лагранжевы модели переноса, OceanParcels, черноморский калкан, камбала, Черное море, NEMO.

Одним из наиболее ценных видов промысловых рыб Черного моря является черноморский калкан (отряд камбалообразные). Его плодовитость очень высока, однако невысока выживаемость икры и личинок на ранних стадиях развития, как в море, так и в условиях аквакультуры (от 1 до 10 %) из-за их чувствительности к большому числу негативных внешних и внутренних факторов.

Закономерности переноса, распределения и выживаемости калкана в период его планктонных стадий, влияющие на эффективность воспроизводства и размер годовой генерации калкана к настоящему моменту неизвестны.

В период от 1960-х до 2020-х гг. был накоплен значительный массив экспериментальных данных о физических свойствах и закономерностях развития калкана на разных этапах жизненного цикла при различных вариациях условий внешней среды. Согласно этим данным, распространение популяций калкана ограничено шельфовой зоной вдоль всех берегов Чёрного моря. Во взрослом состоянии калкан ведет придонный образ жизни, предпочитая слои с температурой 8–9 °C на глубинах до 100, редко до 140 м. Нерест половозрелых особей происходит с середины апреля до середины июня на глубинах от 30 до 100 м при температурах придонного слоя от 7,5 до 12 °C. Последовательные стадии развития калкана проходят в разных биотопах моря. Пелагическая икра после оплодотворения в придонных слоях в течение нескольких часов поднимается в приповерхностные слои, где её эмбриогенез, вплоть до вылупления личинок, проходит при температурах, постепенно возрастающих от 12 до 20 °C. По мере взросления калкан передвигается на более глубокие участки моря.

Трудность изучения личинок калкана в естественных условиях заключается в том, что они обитают в пелагиали на неизвестных глубинах и не встречаются в пробах ихтиопланктона. Моделирование дрейфа икры позволит уточнить важные детали жизненного цикла рыбы, а также выделить области наиболее вероятного нахождения личинок на ранней стадии развития. Цель настоящей работы – применить методы численного моделирования и имеющиеся данные о закономерностях развития и зонах вылова икры калкана для выявления наиболее вероятных акваторий нахождения ранних личинок в российском секторе черноморского шельфа.

В качестве модели лагранжева переноса используется реализованная на Python и имеющая открытый код модель OceanParcels. Для задания динамических характеристик используются поля долгопериодных численных расчетов циркуляции

Черного моря, выполненные в МГИ на основе региональной конфигурации модели NEMO для периода с 2000 по 2021 гг.

Для акватории от западного побережья Крыма до Новороссийска установлены наиболее вероятные направления переноса икры калкана. Показаны зоны наибольшей плотности скопления икры в момент трансформации в стадию ранней личинки. Проведено сравнение выживаемости икринок в разные годы. Приведены оценки числа икринок, погибших как из-за неоптимальных температур, так и из-за выноса на берег.

Работа Красильникова Д.С. и Мизюка А.И. выполнена в рамках темы гос. задания ФГБУН ФИЦ МГИ FNNN-2024-0012. Работа Ханайченко А.Н. выполнена в рамках темы гос. задания ФИЦ ИнБЮМ – 124022400152-1. Работа Климовой Т.Н. выполнена в рамках темы гос. задания ФИЦ ИнБЮМ – 124022400148-4. Работа Багаева А.В. выполнена в рамках темы гос. задания ФГБУН ФИЦ МГИ FNNN-2024-0016.

ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОРИЯ-234 В ДЕЯТЕЛЬНОМ СЛОЕ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ ПО НАТУРНЫМ ДАННЫМ

Кременчуцкий Д.А. ✉, Батраков Г.Ф.

МГИ, г. Севастополь
✉ d.kremenchutsky@gmail.com

Ключевые слова: торий-234, Черное море, вертикальное распределение.

Торий-234 – естественный радионуклид природного происхождения. Период полураспада составляет около 24 дней. Этот радионуклид представляет большой интерес в роли трассера процессов, управляющих транспортом взвешенных веществ в морской среде. Целью представленного исследования являлось получение количественных характеристик пространственной

изменчивости вертикального распределения концентрации тория-234 в растворенной и адсорбированной на взвеси формах в водах Черного моря.

Натурные данные были получены в ходе экспедиционных исследований в 133 рейсе на НИС «Профессор Водяницкий» (осень 2024 г.). Пробы морской воды отбирались с глубин в интервале от 3 до 66 м с помощью насоса и закачивались в пластиковые емкости, распределенные по палубе судна. Объем единичной пробы – 1–2 м³. Для разделения растворенной и адсорбированной на взвеси форм использовались полипропиленовые картриджи с размером пор 1 мкм. Концентрирование растворенной формы проводилось с помощью сорбента – акрилового волокна, модифицированного гидроксидом железа. Измерения активности проб проводились в береговой лаборатории с использованием гамма-спектрометра со сцинтилляционным детектором колодезного типа. Определение эффективности сорбции было выполнено с использованием «двухколоночного» метода.

По результатам исследования было установлено, что концентрация тория-234 в поверхностном слое вод Черного моря варьировалась в диапазоне от 2,3 до 15,1 Бк/м³, при этом в среднем 24 % активности радионуклида обнаруживалось на взвеси. В вертикальном распределении концентрации тория-234 в глубоководной и шельфовой зоне Черного моря отмечалась следующая тенденция: с ростом глубины концентрация радионуклида в растворенной форме снижалась, на взвеси – увеличивалась, а суммарная концентрация оставалась квазипостоянной. Отмечался также рост концентрации взвеси с ростом глубины.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ № FNNN-2024-0001.

ИЗМЕНЕНИЕ РЕЛЬЕФА ПЛЯЖЕЙ АНАПСКОЙ ПЕРЕСЫПИ В ХОДЕ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ТЕХНОГЕННОЙ КАТАСТРОФЫ

Крыленко В.В., Крыленко М.В.

ИО РАН, г. Москва

✉ krylenko.slava@gmail.com

Ключевые слова: морской берег, аккумулятивная форма, рельеф, дюна, техногенное воздействие.

Катастрофические последствия разлива нефти в Керченском проливе затронули многие компоненты геосистемы Анапской пересыпи. В ходе сбора нефтепродуктов и в целях локализации новых выбросов был преобразован рельеф пляжей по всей длине пересыпи, на многих участках повреждены дюны.

На начальном этапе ликвидации последствий разлива нефтепродуктов было вывезено около 200 тыс. т загрязненного песка. Согласно нашим исследованиям, это составляет менее 0,25 % от общего объема литодинамически активных отложений аккумулятивной формы. Тем не менее, при оценке последствий изъятия песка следует учесть, что был вывезен преимущественно крупный материал (среднезернистые пески с высоким содержанием ракуши), обеспечивавший устойчивость пляжей. Кроме того, вывоз песка осуществлялся большей частью с участка Витязево – Анапа (южная часть пересыпи), где наблюдалось многолетнее отступление морского уреза в результате природно-техногенного дефицита песка.

В ходе механической очистки песка (ручное или механическое просеивание) вместе с частицами нефтепродуктов изымаются как целая ракуша, так и крупный детрит. Отсутствие этих частиц в составе пляжевых отложений препятствует образованию ветроустойчивой поверхности и резко усиливает эоловый вынос песка с пляжа.

Совокупное действие техногенного изъятия большого объема песка и усиление эолового выноса привело к сокращению общего объема пляжеобразующего материала из береговой зоны южной

части пересыпи. В результате уже отмечено значительное понижение средних отметок пляжей. Наибольшие изменения отмечены в районе устья реки Мажепсин и южнее. Это снижение способствует затоплению пляжа даже при штормах средней силы, а при сильных штормах произойдет прямое воздействие волн на подножие авантюны (где она есть) или затопление прилегающей территории. Кроме того, при усилении волнового воздействия неминусово дальнейшее отступление уреза.

Стабилизация берега с сохранением его рекреационных свойств возможна только путем отсыпок песка соответствующего размера и состава с одновременным регулированием эоловых процессов. Объем отсыпок песка должен учитывать как компенсацию изъятия в ходе ликвидации ЧП, так и необходимость восполнения природного дефицита.

На завершающем этапе ликвидации последствий разлива мазута следует устранить нарушения прибрежного рельефа и воссоздать авантуну на всем протяжении.

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ 25-17-00104, <https://rscf.ru/project/25-17-00104/>.

TAMARIX КАК ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ ДЮН АНАПСКОЙ ПЕРЕСЫПИ

Крыленко С.В., Крыленко М.В. ✉, Крыленко В.В.

ИО РАН, г. Москва

✉ krylenko@mail.ru

Ключевые слова: морской берег, аккумулятивная форма, растительность, дюна.

Наличие эоловых форм рельефа является характерной чертой Анапской пересыпи. Средние высоты дюн составляют 1–4 м, иногда они достигают 15–20 м. В верхней части многих дюн отмечены вегетирующие экземпляры *Tamarix* L. Представители рода *Tamarix* являются обычными обитателями морских берегов и оказывают существенное влияние на формирование дюн.

В условиях высокого ветрового воздействия образование высоких дюн возможно только с участием растительности. Экологические особенности видов *Tamarix* позволяют по мере роста дюны и засыпания растения песком наращивать высоту и переходить с питания грунтовыми водами на атмосферное. Таким образом, рост растения сопровождается ростом дюны, за счет этого высота надземных частей растений чаще всего не превышает 1 м, но высота самой дюны может быть значительно больше. Фактически, засыпанная песком часть экземпляров *Tamarix* является каркасом дюн, удерживая их от разрушения и перемещения.

Способность представителей рода *Tamarix* успешно развиваться в условиях динамичного эолового рельефообразования является важной приспособительной функцией и позволяет популяции *Tamarix* на Анапской пересыпи оказывать влияние на развитие эолового рельефа и способствует формированию и сохранению дюн.

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ 25-17-00104, <https://rscf.ru/project/25-17-00104/>.

ОСОБЕННОСТИ МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПРИБРЕЖНОГО ВЕТРА НА ЧЕРНОМОРСКОМ ГИДРОФИЗИЧЕСКОМ ПОДСПУТНИКОВОМ ПОЛИГОНЕ

Кузнецов А.С.

МГИ, г. Севастополь
✉ kuznetsov_as@mhi-ras.ru

Ключевые слова: контактные измерения, прибрежный ветер, сезонная и межгодовая изменчивость, Южный берег Крыма, Черное море.

При проведении комплексного эксперимента на Черноморском гидрофизическом подспутниковом полигоне с океанографической платформы МГИ исследована сезонная и межгодовая

изменчивость прибрежного течения у м. Кикинеиз Южного берега Крыма за 2002–2023 гг. и выделен ряд долгосрочных колебаний, включая климатический диапазон изменчивости. В докладе представлены результаты анализа характеристик сезонной и межгодовой изменчивости поля ветра в приводном слое атмосферы, полученные на платформе в море синхронно с измерениями течения. В результате статистической обработки и сопоставления полных энергетических спектров комплекса натуральных данных статистически достоверно выявлена совместная интенсификация колебаний течения и ветра вблизи первой и шестой сезонных гармоник колебаний, а также в диапазоне короткопериодных климатических колебаний. Представленные результаты способствуют пониманию особенностей динамики и развитию комплексных исследований межгодовой циркуляции прибрежных вод у побережья Черного моря для обеспечения долгосрочного и устойчивого экономического развития приморского региона.

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В МИКРОПЛАСТИКЕ, ВЫДЕЛЕННОМ ИЗ МОРСКОЙ ВОДЫ И ПРИБРЕЖНЫХ ОСАДКОВ МЕТОДОМ SF-ICP-MS: СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ПРОБОПОДГОТОВКИ

Кузнецова О.В.

ГЕОХИ РАН, г. Москва
✉ olga-kuznetsova0@mail.ru

Ключевые слова: SF-ICP-MS, пробоподготовка, микропластик, тяжелые металлы, морская среда, загрязнение.

Адсорбция следовых металлов на микропластике (МП), взвешенных в морской воде, играет важную роль. Биодоступность

тяжелых металлов, адсорбированных на МП, весьма высока. Разработка быстрого и экономичного стандартного аналитического протокола является весьма ожидаемым результатом в анализе металлов в образцах МП, извлеченных из морской среды.

Метод магнитно-секторной индуктивно-связанной масс-спектрометрии (МС-ИСП-МС) был применен для определения токсичных металлов в МП, извлеченном из морской воды и прибрежных осадков Каспийского моря. Найденное содержание частиц МП в морской воде составило $86,4 \pm 13,2$ шт./м³, а в прибрежных отложениях – $147,1 \pm 7,9$ шт./кг. Для контроля качества были выбраны тринадцать металлов: Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, Ti, V и Zn, которые представляют глобальную опасность для морской среды, попадая в нее из многочисленных антропогенных источников. Точность измерений методом магнитно-секторной индуктивно-связанной масс-спектрометрии (МС-ИСП-МС) была подтверждена анализом сертифицированных стандартных образцов: IAEA-158 (морской осадок) и CASS-6 (морская вода). Средняя повторяемость метода (RSD) составила 1–4 %, а промежуточная прецизионность – в среднем 4–7 % для всех металлов.

Данное исследование направлено на сравнение методик пробоподготовки, используемых для выделения металлов из МП, и разработку наиболее практичных аналитических процедур, от отбора проб до измерения, для количественного определения токсичных металлов в морских МП.

В настоящей работе сравнивались три методики пробоподготовки для извлечения металлов из МП:

I – процедура экстракции водным раствором HNO₃:HCl (1:3);

II – микроволновое выщелачивание с 2 мл H₂O₂ (30 %), 5 мл HNO₃ (65 %) и 5 мл H₂SO₄ (95–97 %).

III – микроволновое извлечение с 30 % HNO₃.

Для того чтобы получить более точные данные об относительных концентрациях и накоплениях различных тяжелых металлов в МП, были рассчитаны следующие концентрационные факторы: отношения концентрации тяжелых металлов в морской воде к концентрации МП в морской воде; отношения концентрации тяжелых металлов в осадке к концентрации тяжелых металлов в МП из осадка; отношения концентрации тяжелых металлов в

осадке к концентрации тяжелых металлов в морской воде; отношения концентрации тяжелых металлов в МП осадка к концентрации тяжелых металлов в МП морской воды. Анализ результатов показывает, что концентрационные факторы преимущественно больше 1. Это указывает на то, что растворенные в морской воде следы тяжелых металлов попадают в МП из морской воды, а затем в процессе седиментации и сорбционных процессов тяжелые металлы дополнительно концентрируются в осадках и МП осадков. Таким образом, эти данные позволят получить более глубокие сведения об относительных концентрациях / накоплениях различных тяжелых металлов в МП.

Методика выделения металлов с поверхности микропластиков с применением 30 % азотной кислоты и использованием микроволнового излучения с последующим определением методом МС-ИСП-МС может стать стандартной процедурой для оценки воздействия тяжелых металлов на окружающую среду.

ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ БАРЕНЦЕВА МОРЯ В ОСЕННИЙ СЕЗОН 2023 Г. И ЛЕТНИЙ 2024 Г.

**Лукьянова О.Н.^{1✉}, Артамонова К.В.², Варварова А.О.¹,
Зубаревич В.Л.¹, Иванов В.В.³, Мурзакова Ю.В.¹,
Торгунова Н.И.¹, Щука А.С.¹**

¹ *ИО РАН, г. Москва*

² *ВНИРО, г. Москва*

³ *МГУ, г. Москва*

✉ *olukian@mail.ru*

Ключевые слова: Баренцево море, температура воды, соленость, растворенный кислород, биогенные элементы, сезонная изменчивость.

В работе проанализированы гидролого-гидрохимические условия Баренцева моря для двух разных сезонов: позднеосенний

(ноябрь 2023 г.) и летний (июль–август 2024 г.). Данные, используемые в работе, были получены на шести океанографических разрезах в 93-м и на трех разрезах в 96-м рейсах НИС «Академик М. Келдыш».

Для летнего периода структура вод была представлена верхним прогретым, распреснённым, хорошо аэрированным слоем с практически нулевыми концентрациями биогенных элементов, ниже располагался мощный холодный (зимний остаточный) слой с ядром – минимумом температуры (от $-1,28$ °C до $-1,71$ °C). Глубина залегания ядра заглублялась с юга на север с 30 до 110 м. Ниже зимнего остаточного слоя располагались: на юге – баренцево-морские воды с характерными более высокими значениями солёности; в центральной части удалось зафиксировать затоки трансформированных тёплых атлантических вод, на севере – арктические воды с более низкой по сравнению с баренцево-морскими температурой и солёностью. Ниже пикноклина происходило резкое увеличение концентраций биогенных элементов с максимумом в придонном слое.

Для позднесеннего периода было характерно наличие теплого промежуточного слоя с минимальным содержанием в нем растворенного кислорода. Концентрации биогенных элементов в верхнем фотическом слое оставались минимальными, но при этом были значительно выше, чем наблюдаемые в летний период, насыщение вод растворенным кислородом не превышало 100 %, что говорит о преобладании деструкционных процессов над продукционными.

Установлено, что в Баренцевом море по атомарному соотношению силикатов, фосфатов и нитратов образование первичной продукции в летний период лимитирует азот и кремний, для осеннего периода соотношение азота к фосфору становится близким к стехиометрическому, а кремний остается главным лимитирующим элементом.

Получено, что как в летний, так и осенний периоды в Баренцевом море холодные арктические воды с более низкой солёностью выделялись по более высокому содержанию растворенного кислорода и более низким концентрациям биогенных

элементов, а теплые и соленые атлантические воды характеризовались низким содержанием растворенного кислорода и высокими концентрациями фосфатов и нитратов.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для ИО РАН (тема № FMWE-2024-0020).

Экспедиционные работы выполнены с использованием оборудования уникальной научной установки НИС «Академик Мстислав Келдыш» в составе ЦКП «Научный флот ИО РАН» <https://rv.ocean.ru/flot/abf/nis-akademik-mstislav-keldysh>.

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ОПРОБОВАНИЯ ХОЛОДНЫХ СИПОВ НА ПРИМЕРАХ БУХТЫ ЛАСПИ (ЮЖНЫЙ БЕРЕГ КРЫМА)

Лысенко В.И.^{1,2}✉, Шик Н.В.³

¹ *ИПТС, г. Севастополь*

² *Филиал МГУ в г. Севастополе*

³ *Севастопольский центр туризма, краеведения, спорта и экскурсий, г. Севастополь*

✉ *Niagara_sev@mail.ru*

Ключевые слова: флюид, метан, этан, азот, гелей, кислород.

В наши дни мировое сообщество обеспокоено проблемами потепления климата, таяния ледников и повышением уровня Мирового океана. Их главной причиной является парниковый эффект, который связан с увеличением в атмосфере углекислого газа и метана. Часть этих углеводородов поступают с флюидами из сипов дна морей и океанов. В бухте Ласпи выходы пузырьков газа находятся на глубинах от 1,5 до 3,0 метров. Поэтому имеется возможность отработать методику отбора проб, исследовать динамику изменения состава газов в флюиде.

Участок с выходами газа холодных сипов находится на пересечении Ласпинского и Берегового разломов. Выходы пузырьков флюидов приурочены к трем пляжным бактериальным постройкам. За двадцатилетний период наблюдения было установлено,

что дебит газа из сипов несколько изменяется в течение часа и суток. Общие объемы выбросов газа из отдельных сипов изменялись от 8,6 до 37,6 мл/мин.

При взятии первых проб в 2014 г. на состав флюидов газ из сипов отбирался в пятилитровую емкость. Она устанавливалась и крепилась над сипом. Время отбора составляло 35 и 50 минут. Из неё под водой газ отбирался в поллитровые бутылки, которые затыкались двумя пробками. В 2015, 2022, 2023 и 2024 гг. для этой цели было сконструировано специальное оборудование, которое позволяло отобрать газ в 2,0 см от его выхода сипа. Пробы отбирались в фармацевтический флакон объемом 100 мл. Время взятия составляло от 3 до 10 минут. Для сравнения отбор трех проб был осуществлен за временной период 40 и 50 минут.

Непостоянные объемы выбросов газов из сипов в бухте Ласпи характеризуются переменным газовым составом флюидов. Его состав был непостоянным в течение нескольких минут. Во флюидах преобладали концентрации углеводородных газов. Главным компонентом являлся метан (55,74–61,18 %). Общая сумма в пробах тяжелых углеводородов не превышала 1,5 %. Дополнительными компонентами в флюидах являются азот (9,6–40,1 %), кислород (0,27–8,9 %), углекислый газ (0,099–0,37 %), гелий (0,292–1,189 %), водород (3,12–6,33 ppm), сероводород (0,13 ppm), карбонилсульфид (0,042–0,081 ppm) и сероуглерод (0,162–4,125 ppm).

Результаты состава флюидов бухты Ласпи имеют заметное отличие от содержаний газов в холодных сипах Черного моря. По данным опробования струй газа на северо-западном шельфе и палеорусле Днепра в их состав входили метан (94,9–99,0 %) и всего несколько процентов азота, углекислого газа, сероводорода и водорода. При этом пробы, отобранные на большей глубине, характеризуются более высокими содержаниями в них метана. Такой процентный состав газов можно объяснить методикой опробования. В указанных исследованиях взятие проб газа занимало существенный интервал времени. При этом происходило разделение (дифференциация) смеси газа по удельному весу. Подобные результаты наблюдались у авторов при взятии проб за

временной промежуток от 35 до 50 минут. Наблюдалась зависимость: чем больше время опробования, тем выше концентрации метана.

По результатам выполненных исследований установлено, что флюиды бухты Ласпи имеют многокомпонентный газовый состав. Результаты анализов газов флюидов зависят от времени отбора проб.

Работа поддержана государственной бюджетной темой в рамках Госзадания ИПТС № госрегистрации 124020100120-9.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ РАЗЛИВА НЕФТЕПРОДУКТА В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ МОРЯ

Макаров К.Н. ✉, Макарова И.Л.

СГУ, г. Сочи
✉ ktk99@mail.ru

Ключевые слова: разлив нефтепродукта, модель дрейфа нефтяного пятна, гидрометеорологическая ситуация, натурный эксперимент, калибровка модели.

Наиболее распространенными загрязнителями прибрежной зоны моря следует считать нефть и нефтепродукты. По данным ЮНЕСКО ежегодно в океан попадает не менее 6 млн. т нефтепродуктов. Нефть и нефтепродукты, попадая в прибрежную зону, претерпевают изменения под воздействием физических, химических и биологических процессов. Физические процессы включают в себя растекание (рассеяние), испарение, растворение и оседание.

При штилевых условиях нефть быстро растекается тонкой пленкой. Один кубометр сырой нефти покрывает за 10 мин. площадь в 1800 м² слоем толщиной в 100 мкм. При шторме нефть практически не растекается и собирается на небольшой площади в сгустки. При определенных условиях в воде могут образовываться нефтяные эмульсии, которые при разложении образуют

дегтеобразные вещества, сохраняющие токсичность очень долгое время.

К химическим процессам относится окисление углеводов. Скорость окисления зависит от типа углеводорода. Разложение отдельных компонент нефти происходит также в результате деятельности микроорганизмов – биodeградация. Однако этот процесс протекает в основном в теплых морях при температуре воды 20–30 °С.

Авторами разработана и реализована в виде компьютерной программы модель дрейфа нефтяного пятна в прибрежной зоне моря под действием течений.

Задача решается в предположении, что аварийный разлив нефтепродукта объемом W произошел в точке с заданными координатами. Расчет выполняется на прямоугольной сетке, в узлах которой заданы глубины.

Задается также расчетная гидрометеорологическая ситуация (скорость и направление ветра, его продолжительность).

В модели по заданным координатам центра разлива определяются исходные координаты 8 точек, аппроксимирующих исходное пятно разлива нефтепродукта на шаге расчета 1. Далее на каждом шаге расчета определяются скорости течений в узлах сетки и в точках аппроксимации нефтяного пятна. По компонентам скорости течения рассчитываются новые координаты этих точек. Расчет ведется на все время продолжительности действия ветра. В результате определяется положение пятна разлива нефтепродукта на каждом расчетном временном шаге.

Калибровка модели выполнена по данным натурного эксперимента, проведенного СЦГМС ЧАМ совместно с ААНИИ в прибрежной акватории Черного моря, расположенной к западу от бухты Голубой (вблизи г. Геленджика).

Эксперимент заключался в следующем. С плавсредства был вылит в акваторию нефтепродукт (масло) в объеме 100 л. Далее с интервалом 30 мин. выполнялось фотографирование с вертолета динамики этого разлива.

По разработанной программе были выполнены расчеты динамики загрязнения нефтепродуктом и сопоставлены с данными

эксперимента. В процессе расчетов для калибровки модели варьировались величины специальных калибровочных коэффициентов.

Результаты моделирования динамики пятна нефтепродукта после калибровки модели удовлетворительно соответствуют результатам эксперимента.

Таким образом, разработанные математическая модель и реализующая ее компьютерная программа динамики нефтяного пятна при аварийных разливах нефтепродуктов, могут быть использованы для практических расчетов.

ОЦЕНКА ПРОДУКЦИОННО-ДЕСТРУКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ВОДАХ КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА

Масевич А.В.

МГИ, г. Севастополь

✉ anna_vidnichuk@mhi-ras.ru

Ключевые слова: кислород, продукционно-деструкционные процессы, кажущееся потребление кислорода, АОУ, Керченский пролив.

Керченский пролив принадлежит акватории Азовского моря и соединяет его с Чёрным морем. Он находится между Керченским полуостровом Крыма и Таманским полуостровом.

Керченский пролив характеризуется значительной антропогенной нагрузкой. Здесь развито активное судоходство, на его берегах расположено несколько крупных портов, пунктов рейдовой перегрузки и грузовых терминалов. Воды Керченского пролива подвергаются загрязнению нефтепродуктами, сточными водами, остатками грузов и мусором. Наиболее загрязнёнными участками пролива считаются район о-ва Тузла и западная оконечность Таманского полуострова (мыс Панагия).

Для анализа продукционно-деструкционных процессов в водах Керченского пролива был рассчитан показатель кажущегося

потребления кислорода (*AOU* – *Apparent Oxygen Utilization*). Этот параметр показывает разницу между концентрацией кислорода в состоянии равновесия с атмосферой при температуре и солёности *in situ* и фактической измеренной концентрацией кислорода.

В Керченском проливе было проведено 4 съёмки – в июле и сентябре 2020 г., в марте и июне 2025 г. Для поверхностных вод Керченского пролива характерно преобладание продукционных процессов, интенсификация которых происходит в летний период (сентябрь 2020 г. и июнь 2025 г.). Это связано с прогревом поверхностных вод и активным протеканием процесса фотосинтеза.

Для придонного слоя вод Таманского залива, а также южной части Керченского пролива в июле 2020 г. преобладающими были деструкционные процессы ($AOU = -5...19$), однако уже в сентябре 2020 г. продукционные процессы стали преобладать ($AOU = -28...10$).

В 2025 г. исследования проходили в южной части Керченского пролива и в южном предпроливье. В марте 2025 г. в придонном слое преобладали продукционные процессы ($AOU = -7...3$). В июне 2025 г. по всему району предпроливья в придонном слое преобладали процессы деструкции кислорода ($AOU = -10...65$). Это может быть связано с возникновением сезонного пикноклина, который ограничивает перемешивание вод и проникновение кислорода в придонные слои.

Таким образом, показатель *AOU* помогает оперативно оценивать состояние экосистемы и происходящие в ней продукционно-деструкционные процессы, что важно для мониторинга экологической безопасности среды.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме FNNN-2025-0001 «Мониторинг концентрации CO_2 в поверхностном слое вод и атмосфере во внутренних морях России».

ОПЫТ КОМПЛЕКСНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ КАРБОНАТНОЙ СИСТЕМЫ В 135-М РЕЙСЕ НИС «ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ»

Медведев Е.В.¹✉, Артамонов А.Ю.^{1,2}, Мукосеев И.Н.¹

¹ МГИ, г. Севастополь

² ИФА РАН, г. Москва

✉ eugenemedvedev@mhi-ras.ru

Ключевые слова: карбонатная система, TCO_2 , pCO_2 , pH, общая щелочность.

Сегодня изучение цикла углерода является одной из наиболее важных и приоритетных задач всех наук о Земле. Достигнут фактически единогласный консенсус среди ученых-специалистов об антропогенном воздействии на климат и его глобальном изменении. Изучение карбонатной системы как составляющей цикла углерода в гидросфере также является одной из основополагающих задач океанологии.

Как известно, для описания карбонатной системы морских вод достаточно измерения двух из всех имеющихся параметров: общий растворённый неорганический углерод (TCO_2), парциальное давление углекислого газа (pCO_2), водородный показатель (pH) и общая щелочность (Alk). Последние два параметра измеряются уже на протяжении более века, однако при расчётах из них других параметров и компонентов карбонатной системы существуют значительные неопределенности. Так, согласно Зеббе, только перевод величины pH из одной шкалы в другую может приводить к неопределенностям при расчёте pCO_2 , достигающим более 100 мкатм.

В последние десятилетия стремительно развиваются новые методы, а также совершенствуется приборная база для измерений параметров pH и Alk .

В рамках 135-го рейса НИС «Профессор Водяницкий» сотрудниками МГИ были проведены измерения параметров

карбонатной системы вод северной части Черного моря следующими методами: потенциометрическое измерение pH в шкале NBS; измерение общей щелочности прямым титрованием с потенциометрическим окончанием; измерения TCO_2 – методом инфракрасной спектроскопии с помощью газоанализатора в составе приборного комплекса AS-C5.

Величина парциального давления углекислого газа измерялась двумя независимыми методами: прямое измерение pCO_2 в воде при помощи однолучевого двухволнового NDIR оптического датчика AMT в измерительном комплексе Daowan и измерения путем уравнивания постоянно поступающей пробы воды в газовую камеру эквипиратора и атмосферы в нём, измерения газовой фазы осуществлялись с помощью инфракрасного анализатора LI-7000.

По результатам параллельных измерений концентраций CO_2 двумя методами была выявлена достаточно высокая степень сходимости результатов с коэффициентом корреляции $R = 0,8$, однако, в целом, значения измерений *in situ* были ниже значений (в среднем на 19,7 мд), полученных на LI-7000. Дальнейшие исследования помогут выяснить природу данной неопределённости и будут направлены на совершенствование методик определения pCO_2 .

Измерения общей щелочности и TCO_2 как в вертикальном, так и в пространственном распределениях показало отличную сходимость ($R = 0,96$), учитывая, что данные величины являются взаимозависимыми, но не эквивалентными.

Таким образом, внедрение новых методов и средств измерений очевидно необходимы для более точных и подробных исследований карбонатной системы.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ FNNN-2025-0001 «Мониторинг концентрации CO_2 в поверхностном слое вод и атмосфере во внутренних морях России» (Шифр: «Карбоновый полигон»).

ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗМЕНЧИВОСТИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР ВОЗДУХА У ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

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

МГИ, г. Севастополь

✉ *metik-diyunova.v@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: экстремальная температура воздуха, среднесуточная температура, сезонные аномалии, 5 и 95-й процентиля.

На основании архива данных о температуре воздуха, полученных в Черноморском гидрофизическом подспутниковом полигоне для периода 1961–2024 гг., проведен анализ повторяемости экстремальной температуры воздуха (ЭТВ).

Рассмотрены следующие характеристики ЭТВ:

– величины 5-го и 95-го процентилей внутрисезонных аномалий среднесуточной температуры воздуха текущего года, сезонные процентиля температуры P5 и P95;

– количество дней в сезоне с температурой воздуха ниже 5-го и выше 95-го процентиля (процентиля рассчитаны для каждого дня года по полному периоду).

Аномалии среднесуточной температуры воздуха определены относительно полного периода 1961–2024 гг. По полученным временным рядам аномалий температуры воздуха были выделены 5-й и 95-й процентиля внутри всех календарных сезонов каждого года. Количество дней в сезоне с аномалией температуры воздуха выше или ниже процентильного порога рассчитано по следующей методике. Полная выборка среднесуточной температуры воздуха для каждого дня (65 лет) увеличена путем включения двух соседних дней. Для каждого календарного дня рассчитаны 5-й и 95-й процентиля. Далее величина температуры воздуха сопоставлялась с соответствующим процентилем за определенный календарный день. Количество дней с ЭТВ рассчитывалась как сумма дней, для которых выполнялось

следующее условие, а именно, температура воздуха ниже 5-го или выше 95-го процентиля.

Величины P_5 в зимний сезон за период изменяются в пределах от $-9,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1985 г.) до $-0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2024 г.). В весенний сезон величины P_5 колеблются от $-6,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1987 г.) до $-0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2014 г.). Летом величина P_5 на территории региона составляет от $-7,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1969 г.) до $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2010 г.). Величина P_5 в осенний сезон находится в пределах от $-9,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1993 г.) до $-0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2012 г.).

Изменчивость временных рядов P_{95} характеризуется следующим образом. В зимний сезон – от $2,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ в 1992 году до $6,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ в 2023, 2024 гг. Весной – от $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1969 г.) до $8,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2024 г.). Летом временной ряд 95-го процентиля аномалий ЭТВ характеризуется положительным линейным трендом с коэффициентом роста $0,9\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$. Значения P_{95} летнего сезона колеблются от $-0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ в 1976 году до $7,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ в 2016 г.

Временные ряды P_5 и P_{95} всех сезонов характеризуются выраженными квазипериодическими колебаниями.

В среднем за 64 исследуемых зимы число дней с температурой воздуха ниже 5-го процентиля составляет 4,5 дня в год. Максимальное количество дней в сезоне с температурой воздуха ниже 5-го процентиля отмечено в 1985 г., оно составило 19 дней. Летом абсолютный максимум P_5 составляет 24 дня в год и наблюдался он в 1973 году. С начала 1990-х гг. наблюдается уменьшение количества дней с температурой ниже 5-го процентиля в летний сезон, а за последние 10 лет это всего лишь два случая – в 2015 и 2021 гг.

В то же время за период 1961–2024 гг. абсолютный максимум количества дней с температурой воздуха выше 95-го процентиля в зимний сезон наблюдался в 2024 г. и достигал 22 дней. Наиболее экстремальным летом по числу дней с ЭТВ является лето 2010 года (28 дней).

Показано, что для исследуемых характеристик ЭТВ характерны межгодовые-междесятилетние колебания. Такие колебания обусловлены влиянием крупномасштабных процессов в системе океан–атмосфера.

Работа выполнена в рамках научной темы № FNNN-2025-0016 государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ 2025 г.

ТЯЖЁЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ АРХИПЕЛАГА НОВАЯ ЗЕМЛЯ

Морковских А.Д. ✉, Седова Н.Б.

МГУ, г. Москва
✉ morkovskihad@my.msu.ru

Ключевые слова: Арктика, АЗРФ, архипелаг Новая Земля, прибрежная зона, тяжёлые металлы, почвы, мхи, лишайники, биоиндикация, аэрополлютанты.

Арктическая Зона постепенно превращается в ресурсную базу нашей страны с целью решения задач социально-экономического развития Российской Федерации. По мере нарастания активности хозяйственной деятельности в Российской Арктике будет увеличиваться и степень антропогенного воздействия на местные геосистемы. Учитывая, что техногенная нагрузка будет осуществляться в условиях слабой способности арктических геосистем к самовосстановлению, сурового климата и широкого распространения многолетнемерзлых пород, изучение распределения суммарного и покомпонентного загрязнения, а также выявление закономерностей пространственной изменчивости состояния исследуемых геосистем является очень важной задачей.

Несмотря на то, что высокоширотная Арктика находится на значительном удалении от остального мира, она тесно связана с ним дальним переносом загрязняющих веществ. Поллютанты поступают в относительно чистую окружающую среду Арктики вместе с воздушными массами, океаническими течениями и речным стоком. Основными загрязнителями геосистем Арктики являются тяжелые металлы. Они способны концентрироваться в почвах, подземных водах и живых организмах.

Одним из методов измерения атмосферного выпадения тяжёлых металлов является биоиндикация, в частности использование мхов (бриоиндикация) и лишайников (лихеноиндикация) в качестве биомониторов. Они представляют собой достаточно эффективные аккумуляторы, в которые происходит накопление

из атмосферы. Ещё один способ выявления экогеохимических особенностей исследуемой территории – отбор проб почв и последующий анализ на содержание в них выбранных загрязнителей. При наличии всех вышеуказанных аккумуляторов появляется возможность проследить миграцию тяжёлых металлов из почв в биоиндикаторы.

Полевые исследования в северной части архипелага Новая Земля проводились в рамках экспедиций Арктического плавучего университета в 2022 и 2023 гг. В докладе рассматриваются три исследовательских полигона:

- побережье залива Русская Гавань (западная часть о. Северный, арх. Новая Земля, Баренцево море);
- побережье залива Ледяная Гавань (восточная часть о. Северный, арх. Новая Земля, Карское море);
- мыс Желания (северная часть о. Северный, арх. Новая Земля, граница между Баренцевым и Карским морями).

Пробы почв, мхов и лишайников отбирались на типичных для исследуемой территории участках в соответствии с утверждёнными методиками. Анализ проб на содержание в них тяжёлых металлов (Cu, Ni, Zn, Pb, Cd, Sr) проводился методом атомно-абсорбционной спектроскопии на атомно-абсорбционном спектрометре модели 180-80 фирмы «Hitachi» в пламени воздуха-ацетилен. Далее полученные результаты о содержании тяжёлых металлов в отобранных пробах сравнивались с фоновыми концентрациями и установленными нормами предельных значений для каждого типа почвы и вида растения.

Комплексность геоэкологических исследований позволила не только зафиксировать количество тяжёлых металлов в каждой точке, но и определить пути их миграции в геосистемах Арктики. Также получилось сформировать общее представление о распространении аэрополлютантов на территории северной части архипелага Новая Земля и выдвинуть предположения о потенциальных источниках загрязнения природной среды.

ПРИМЕНЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В ВИДИМОМ ДИАПАЗОНЕ СПЕКТРА ДЛЯ ТИПИЗАЦИИ МОРСКОГО ДНА В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ ЗАПАДНОГО КРЫМА

**Морозов Е.А. ✉, Алескерова А.А.,
Новиков Б.А., Харитонов Л.В.**

МГИ, г. Севастополь
✉ frisman@mail.ru

Ключевые слова: спутниковые снимки, Sentinel MSI, Landsat OLI, БПЛА, дистанционное зондирование, морское дно, водная растительность, береговая зона, Каркинитский залив, западный Крым, бухта Омега.

Применение спутниковых снимков для восстановления и классификации типов поверхности дна и донной растительности является актуальной задачей.

В работе проведен анализ применения спектров восходящего излучения в видимом диапазоне идентификации различных типов морского дна в береговой зоне западного Крыма. Получено, что при исследовании типов поверхности дна в береговой зоне предпочтение следует отдать датчикам, разработанным для дистанционного зондирования земной поверхности, так как они обладают более детальным пространственным разрешением, чем специализированные датчики для анализа водных объектов. В работе использованы данные датчика MSI, установленного на спутнике Sentinel-2, датчика OLI – на спутнике Landsat и камеры RGB CMOS – на беспилотном летательном аппарате (БПЛА) Mavic 2. Пространственное разрешение приборов соответственно составляет 10 м, 30 м и от 0,05 до 0,2 м в зависимости от высоты полета.

Идентификация типов дна проводилась для покрытого водной растительностью субстрата и свободного песчаного, скального или глинистого дна. Составлена библиотека спектров характерных для каждого типа дна. Исследование проведено для четырех

районов: Каркинитский залив, бухта Омега, участки от Евпатории до Донузлава и от м. Коса Северная до м. Лукулл.

Работа выполнена в рамках государственного задания FNNN-2024-0012 и FNNN-2024-0016.

СЕЗОННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ СООТНОШЕНИЙ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА (ПРИБРЕЖНЫЙ РАЙОН) В 2023 Г.

Мыслина М.А. ✉, Вареник А.В.

МГИ, г. Севастополь

✉ myslina@mhi-ras.ru

Ключевые слова: биогенные элементы, Крымский полуостров, соотношение биогенных элементов.

Черное море имеет большое значение для экономики России, т. к. служит ресурсом для рыбной промышленности, добычи нефти, является важным транспортным путем для торговли. Загрязнение вод Черного моря происходит в результате поступления различных загрязняющих веществ, в том числе биогенных элементов, с природными (реки, ручьи, атмосферные осадки) и антропогенными (сельское хозяйство, курортные зоны, городские коммунальные стоки) источниками. Наибольшему влиянию загрязнений подвержены прибрежные зоны, что требует постоянного мониторинга для предотвращения негативных экологических последствий и сохранения морской экосистемы региона.

Целью работы являлось изучение сезонного изменения соотношений биогенных элементов в 2023 г., а также выявление возможных факторов, влияющих на эти соотношения.

По данным о содержании биогенных элементов в поверхностном слое вод Черного моря, полученных в ходе выполнения рейсов на НИС «Профессор Водяницкий», были рассчитаны и

проанализированы соотношения N:P, Si:N и Si:P. На основании полученных стехиометрических соотношений было выявлено, что содержание неорганического азота и кремнекислоты в исследуемый период определялось в избытке по сравнению с классическим соотношением Редфилда, а неорганического фосфора – в недостатке.

Для выявления зависимости соотношений биогенных элементов от различных биологических и термохалинных условий использовался факторный анализ методом главных компонент с помощью программы «STATISTICA». В каждом сезоне (зимний, весенне-летний, осенний) в 2023 г. были выявлены факторы, объясняющие большую часть дисперсии ($\geq 68\%$). В результате анализа получено, что наиболее значимым фактором, влияющим на величину соотношений Si:P и N:P в зимне-осенний период, была соленость, в то время как в весенне-летний сезон была выявлена взаимосвязь соотношения биогенных элементов с концентрацией кокколитофорид.

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

ПРИМОРСКИЕ КЛАСТЕРЫ – ИНСТРУМЕНТ ДОСТИЖЕНИЯ ЦУР 14 ДЛЯ ПОБЕРЕЖЬЯ И МОРСКОЙ АКВАТОРИИ ЧЕРНОГО И СРЕДИЗЕМНОГО МОРЕЙ (РЕГИОНЫ П-ОВА КРЫМ И О. КИПР)

Назаров Д.В.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

✉ *Dmitry.v.nazarov@gmail.com*

Ключевые слова: научно-производственный кластер, биоресурсы, ЦУР 14, устойчивое развитие.

Рассматривается сценарий создания двух приморских кластеров на побережье Черного и Средиземного морей как инструмента достижения и выполнения задач Цели Устойчивого Развития № 14 по сохранению и рациональному использованию

океанов, морей и морских ресурсов в интересах устойчивого развития резолюции 70/1 Генеральной Ассамблеи ООН «Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года» и Дорожная карта Десятилетия ООН, посвящённого науке об океане в интересах устойчивого развития. Описывается международный опыт использования приморских кластеров для достижения определенных задач ЦУР14: приводятся конкретные примеры морских кластеров в разных странах и их вклад в достижение задач ЦУР14. Дается обзор строительных материалов и технологий для приморского и оффшорного строительства.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ КИНЕТИКИ МИХАЭЛИСА–МЕНТЕН ДЛЯ МАССОВЫХ ВИДОВ МАКРОВОДОРОСЛЕЙ ЧЕРНОГО МОРЯ

Науменко И.П. ✉, Васечкина Е.Ф., Вареник А.В.

МГИ, г. Севастополь

✉ ingainatm@gmail.com

Ключевые слова: кинетика поглощения субстрата, биогенные элементы, макрофитобентос, Черное море.

Для математического описания связи между скоростью поглощения биогенных элементов макроводорослями и их концентрацией в морской воде используют уравнение модели ферментативной кинетики Михаэлиса–Ментен. Кинетические параметры (максимальная скорость поглощения V_{max} и константа полунасыщения K_m) описывают способность водных растений усваивать питательные вещества в процессе роста. K_m и V_{max} можно экспериментально оценить по скорости истощения растворенного субстрата в среде. Применяют метод, при котором образец водоросли помещают в колбу с заданной концентрацией субстрата и выдерживают в течение нескольких часов, регулярно

замеряя концентрацию раствора, а также метод множественных колб с разной начальной концентрацией субстрата.

Образцы макроводорослей (цистозира, ульва, сцитосифон, кладофора, церамиум) были собраны в апреле 2025 г. у берегов Севастополя в районе пляжа «Парк Победы» на глубине 0,5–1 м при температуре морской воды 10 °С.

Лабораторные эксперименты по поглощению соединений азота (нитратов и аммония) определяли первым методом. Образцы водорослей 2–4 г сырого веса помещались в 1 л стеклянные колбы, наполненные фильтрованной морской водой, обогащенной 35, 45, 50 μM KNO_3 или 10, 20 μM NH_4Cl (16 экспериментов). Снижение концентрации азотных соединений в среде отслеживалось путем отбора проб через 0, 15, 30, 60, 90, 150, 300 минут с последующим определением концентрации.

Лабораторные эксперименты по поглощению соединений фосфора определяли методом множественных колб. Было проведено 2 эксперимента с начальной концентрацией (C_{max}) 5 и 25 μM KH_2PO_4 . Исходный раствор использовался для получения последовательно уменьшающихся концентраций фосфатов в среде с интервалом в $C_{\text{max}}/10$. В 10 стеклянных 0,5 л банок с раствором различной концентрации помещались образцы водорослей (2 г сырого веса). Истощение фосфатов в морской среде отслеживалось путем отбора проб через 1 и 2 часа.

Все эксперименты проводились при освещённости 200 мкмоль фотон $\text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Перемешивание в колбах осуществляли с помощью магнитных мешалок. Температуру воды в колбах поддерживали близкой к 10 °С при помощи водяной бани с постоянно охлаждаемой водой. Для определения сухого веса образцы выдерживали в сушильном шкафу при температуре 80 °С в течение суток.

Скорость поглощения биогенных элементов определялась по снижению концентраций субстрата в среде в единицу времени относительно сухого веса образца водоросли. Далее строили график зависимости скорости поглощения биогенных элементов от их средней концентрации в среде. С помощью метода наименьших квадратов находили аппроксимацию полученного графика, используя уравнение Михаэлиса–Ментен либо линейную функцию.

Было установлено, что в большинстве случаев зависимость скорости поглощения субстрата хорошо аппроксимировалась линейной зависимостью от его концентрации в среде, т. е. условия эксперимента были таковы, что выбранные концентрации лежали в интервале $S < 2K_m$. Только для быстрорастущих зеленых водорослей удалось получить традиционную зависимость Михаэлиса–Ментен.

Анализ результатов показал, что метод множественных колб более предпочтителен, поскольку дает меньший разброс значений скорости поглощения. Оценки кинетических параметров крайне необходимы для построения прогноза эволюции фитоценозов прибрежной зоны Черного моря.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ FNNN-2024-0016, шифр «Прибрежные исследования».

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ МАКРОВОДОРОСЛЕЙ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ЧЕРНОГО МОРЯ

**Науменко И.П. ✉, Васечкина Е.Ф.,
Вержевская Л.В., Шайда В.Г.**

МГИ, г. Севастополь
✉ ingainatm@gmail.com

Ключевые слова: фотосинтез, макрофитобентос, Черное море, *РЕ*-кривые, оптимальная температура.

Помимо интенсивности светового излучения, температура морской среды является ключевым фактором, влияющим на скорость фотосинтеза макроводорослей. По данным лабораторных экспериментов были построены зависимости скорости фотосинтеза от освещенности при различных температурных условиях среды. Скорость фотосинтеза определялась по количеству продуцируемого кислорода в единицу времени относительно сухого

веса образца водорослей. Для изучения были выбраны два массовых вида макроводорослей: многолетняя бурая ценозообразующая *Ericaria crinita* и зеленая однолетняя *Ulva intestinalis*, толерантная к среде с высоким содержанием биогенных элементов.

Образцы водорослей отбирались в мае 2025 г. у берегов Севастополя (Крымский п-ов) в районе пляжа «Парк Победы» на глубине 0,5–1 м. В месте сбора температура морской воды изменялась в диапазоне 17–20 °С.

Образцы водорослей помещались в стеклянную колбу, наполненную фильтрованной морской водой с содержанием кислорода не более 5 мг/л и выдерживались при заданной освещенности до установления квазипостоянной скорости продуцирования кислорода. Уровни освещенности: 0, 60 и 260 мкмоль фотон/(м²·с). Измерения концентрации кислорода производились с помощью анализатора жидкости Эксперт-001 каждые 5 мин. Все время экспозиции поддерживалась постоянная температура водной среды. Эксперименты проводились при 10, 15, 20, 25, 30 °С. На основе этих данных строились *PE*-кривые с использованием параметризации *Jassby & Platt*.

По данным о скорости фотосинтеза для каждой температуры воды рассчитывали суточную продукцию кислорода, используя имитацию суточного хода освещенности с максимумом в полдень 250 мкмоль фотон/(м²·с). Эти данные наносились на график, по нему оценивалась форма зависимости интенсивности фотосинтеза от температуры окружающей среды.

Температурная зависимость суточной продукции кислорода для многолетней *E. crinita* представляла собой симметричную относительно оптимума колоколообразную кривую, соответствующую закону толерантности Шелфорда. Оптимальная температура для цистозиры составляла 20 °С. Затраты на дыхание росли с ростом температуры воды.

Для зеленой водоросли *U. Intestinalis* максимальная суточная продукция кислорода фиксировалась при 25 °С. При 30 °С эта величина снижалась, но все же составляла более 60 % максимума. Максимальная скорость фотосинтеза ульвы превышала аналогичный показатель цистозиры в 2,5 раза. При температуре 25–

30 °С скорость чистого фотосинтеза ульвы превышала скорость фотосинтеза цистозеры в 3,5–4,5 раза.

Поскольку продукция органического вещества пропорциональна валовому фотосинтезу, очевидно, что пик роста зеленых водорослей в Черном море приходится на середину и конец лета, когда вода у берега прогревается до 25 °С. Учитывая их тонкую структуру, способствующую большой вероятности отрыва, разрушения и отмирания, становится понятной высокая вероятность возникновения гипоксии в придонном слое в это время года.

Для экспериментальных видов были определены соотношения сухого веса к сырому. Для *E. crinita* среднее значение было 0,232 и варьировалось от 0,208 до 0,250. Для *U. intestinalis* среднее значение 0,156 с вариациями от 0,127 до 0,188.

Работа выполнена в рамках государственного задания МГИ РАН FNNN-2024-0016, шифр «Прибрежные исследования».

РАЗРАБОТКА УЧЕБНО-ТРЕНАЖЁРНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Никишин В.В. ✉, Багаев А.В., Вержевская Л.В.

МГИ, г. Севастополь

✉ nikishin_v@mail.ru

Ключевые слова: прибрежные исследования, учебно-тренажерный комплекс, симуляция.

В настоящей работе представлен прототип учебно-тренажерного комплекса для отработки методов проведения прибрежных океанографических исследований и обучения инженерного состава.

Комплекс позволяет воспроизводить прибрежные экспедиции с использованием маломерных судов и беспилотных надводных аппаратов с применением стандартного океанографического оборудования, а также отработку алгоритмов работы новых приборов. В настоящее время реализована симуляция работы

эхолота и гидролокатора бокового обзора, который позволяет получать реалистичные изображения. Также в разработке находятся модели алгоритмов работы датчиков для гидрологических исследований (CTD, распределенные датчики на термокесе, измерители растворенного кислорода) на полигоне в акватории Лименской бухты (ЮБК).

С использованием среды UNIGINE учитывается физика ветроволнового воздействия и алгоритмы движения маломерного судна, близкие к реальным. Предложенные алгоритмы позволяют имитировать получение и визуализацию данных эхолота при небольшой качке, а также отрабатывать обнаружение и идентификацию подводных объектов.

На сегодняшний день реализована часть ландшафта южного берега Крыма в виде 3D модели с повышенной детализацией для акватории в районе ЧГПП в пгт. Кацивели.

Цифровая модель рельефа местности и глубин создана по навигационным картам высот, представленным в открытом доступе, и глубин, полученным авторами в экспедициях с помощью эхолота и гидролокатора бокового обзора (ГБО). Для более реалистичного изображения дополнительно используются текстуры-маски для размещения растительности. В комплексе предусмотрена имитация работы навигатора для ориентирования и движения вдоль промерных галсов, которые можно спланировать в GIS и импортировать в тренажер.

В совокупности разрабатываемый тренажерный комплекс позволяет сократить время для базовой подготовки инженерного состава экспедиции, так как подготовка осуществляется заранее, а не в процессе экспедиции.

Также стоит отметить, что получаемые изображения ГБО позволяют имитировать разные сценарии при идентификации объектов на дне за счет реалистичных изображений в симуляции, которые близки к изображениям, получаемым на реальных ГБО.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ FNNN-2024-0016 «Прибрежные исследования».

БЕРЕГОВАЯ ЗОНА МОРЕЙ РОССИИ В XXI ВЕКЕ

Огородов С.А. ✉, Ермолов А.А., Кажукало Г.А.

МГУ, г. Москва

✉ ogorodov@geogr.msu.ru

Ключевые слова: моря России, береговая зона, техногенез.

Береговая зона – область взаимодействия трех географических оболочек: литосферы, гидросферы и атмосферы. Это ценнейший ресурс, который планета Земля даровала человеку. В свою очередь, человек, если грамотно распорядится этим ресурсом, может практически бесконечно извлекать для себя пользу, используя этот ресурс для своего существования и устойчивого развития.

Вместе с тем, несмотря на существующую нормативно-законодательную базу, регламентирующую хозяйственную деятельность в береговой (прибрежной) зоне моря, XXI век, век высоких природоподобных технологий, для морей России ознаменовался повсеместным вмешательством человека в процесс взаимодействия литосферы, гидросферы и атмосферы. Вместо того, чтобы использовать эти уникальные условия и подстроиться под процесс взаимодействия географических оболочек, что как раз и предполагает применение природоподобных технологий, человек постоянно пытается воздействовать на него.

Венец творения трех сфер – пляж, продукт их динамического равновесия, идеальное берегозащитное сооружение, придуманное самой природой, и одновременно самый популярный в Мире объект рекреационного притяжения. Именно пляж обычно становится первой жертвой чрезмерной человеческой активности. К сожалению, активизация освоения береговой зоны морей России с началом XXI века ознаменовалась ростом вмешательства человека в естественный ход береговых процессов. Результат – снижение устойчивости береговых систем, потеря берегозащитной функции пляжей, активизация деструктивных абразионных процессов, необходимость строительства дорогостоящих берегозащитных сооружений, снижение рекреационной привлекательности.

**СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ДИНАМИКА
ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ
ЦИСТ АРТЕМИИ – ВИДА-ИНДИКАТОРА
САКСКОГО СОЛЕНОГО ОЗЕРА (РЕСПУБЛИКА КРЫМ)**

**Омельченко С.О.¹, Руднева И.И.²✉,
Омельченко А.В.¹, Шайда В.Г.³**

¹ КФУ, г. Симферополь

² МГИ, г. Севастополь

³ ООО «Экосервис А», г. Москва

✉ svg-41@mail.ru

Ключевые слова: Сакское соленое озеро, рапа, артемия, мониторинг, загрязнение.

Содержание тяжелых металлов в водоемах имеет важное значение для анализа интенсивности антропогенного воздействия. Эффективность физико-химических методов их определения можно существенно увеличить при использовании видов-индикаторов. Планктонное ракообразное артемия, обитающее в гиперсоленых водоемах, в процессе питания накапливает тяжелые металлы и тем самым может служить удобным биоиндикатором уровня их загрязнения. В цистах артемии, собранных в зимний сезон 2008, 2009, 2017, 2020 и 2024 гг., а также в зимний, весенний, летний и осенний периоды 2020 г. в Западном бассейне Сакского озера, определяли содержание металлов Cu, Zn, Pb, Cd. Максимальное содержание металлов в цистах отмечено в 2008 г., минимальное – в 2017 г. В летние месяцы концентрация загрязнителей была выше, чем в остальные сезоны, что связано с усилением транспортной активности, рекреационной и сельскохозяйственной деятельности в районе озера. Установлено, что во все исследуемые периоды содержание тяжелых металлов в цистах артемии соответствовало ряду $Cd < Pb < Cu < Zn$. Однако в разные годы концентрация отдельных элементов и их общее содержание различалось и зависело от уровня и качества антропогенной нагрузки на водоем и прилегающие к нему территории.

ДИНАМИКА CO₂ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ В ПЕРИОД ЦВЕТЕНИЯ КОККОЛИТОФОРИД

Орехова Н.А. ✉, Корчёмкина Е.Н., Медведев Е.В.

МГИ, г. Севастополь

✉ natalia.orekhova@mhi-ras.ru

Ключевые слова: карбонатная система, pCO₂, кокколитофориды, Черное море.

Изучена динамика параметров карбонатной системы (CO₂, pH и щелочности) в период весенне-летнего цветения кокколитофорид в поверхностном слое вод юго-восточной части Крымского побережья по данным 127-го (14.06–07.07.2023) и 131-го (27.05–21.06.2024) рейсов НИС «Профессор Водяницкий» Для расчета концентрации кокколитофорид использованы данные показателя рассеяния назад взвесью ($b_{bp}(550)$, м⁻¹). Концентрацию CO₂ определяли с помощью инфракрасного анализатора LI-7000, величину pH измеряли на иономерах И-160 и И-160МП с использованием буферных растворов шкалы NBS, общую щелочность – потенциометрическим титрованием.

В исследуемые периоды в поверхностном слое вод отмечено цветение кокколитофорид (> 1,00 млн. кл./л). Кокколиты являлись преобладающей фракцией во взвешенном веществе (их доля достигала ≥ 50 %). Пространственное распределение взвешенного вещества определялось динамикой вод и структурой течений в Черном море.

В поверхностном слое вод наблюдались высокие концентрации CO₂ (среднее pCO₂ = 486±18 мкатм) и воды были пересыщены CO₂ по сравнению с атмосферой в среднем на 14 %.

По динамике числа кокколитов предположено существование 3-х периодов: начало цветения и постепенное накопление кокколитофорид (конец мая – начало июня, среднее число кокколит 83·10⁹ шт./м³), их накопление и вспышка цветения в течение

июня (среднее число кокколлит $131 \cdot 10^9$ шт./м³), а затем затухание цветения к концу июня (среднее число кокколлит $112 \cdot 10^9$ шт./м³) с последующим разложением карбонатов.

При этом отмечено отсутствие выраженной связи числа клеток кокколитофорид (и числа кокколлитов) с $p\text{CO}_2$ (коэффициент корреляции $-0,22$ и $-0,06$ для 127-го и 131-го рейсов соответственно), а также с другими параметрами карбонатной системы: величинами щелочности (коэффициент корреляции $0,05$ и $0,09$ для 127-го и 131-го рейсов соответственно) и pH (коэффициенты корреляции $0,30$ и $0,40$ для 127-го и 131-го рейсов соответственно). Это позволяет предположить наличие более значимых источников CO_2 для поверхностного слоя вод, чем цветение кокколитофорид.

Отмечено более выраженная зависимость $p\text{CO}_2$ от температуры поверхностного слоя вод – коэффициенты корреляции составили $0,52$ и $0,71$ для 127-го и 131-го рейсов соответственно, что связано с влиянием температуры на интенсивность биологических процессов и на сдвиг карбонатных равновесий в сторону накопления CO_2 .

Таким образом, установлено, что в период цветения кокколитофорид высокие значение $p\text{CO}_2$ и пересыщение вод CO_2 , обусловлены, прежде всего, вкладом температуры, а затем уже биологическими продукционно-деструкционными процессами с участием органического вещества и карбонатов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ МГИ РАН FNNN-2025-0001 «Мониторинг концентрации CO_2 в поверхностном слое вод и атмосфере во внутренних морях России» и FNNN-2024-0012 «Оперативная океанология».

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БИОМАССЫ ПО ТРОФИЧЕСКИМ УРОВНЯМ В ПЕЛАГИЧЕСКОМ СООБЩЕСТВЕ КРЫМСКОГО ШЕЛЬФА

Пионтковский С.А.^{1✉}, Загородняя Ю.А.²

¹ СевГУ, г. Севастополь

² ИнБЮМ, г. Севастополь

✉ spiontkovski@mail.ru

Ключевые слова: Черное море, пелагическое сообщество, пирамида биомасс.

Биомассу и ее распределение по размерным группам (т. е. размерные спектры биомассы) относят к ключевым структурным характеристикам пелагических сообществ. На экосистемном уровне соотношение биомасс организмов вдоль трофической цепи (от продуцентов до консументов высокого уровня) образует пирамиду биомасс: упрощенное представление трофических взаимосвязей в экосистеме. В морской экологии известны как классические пирамиды с доминированием биомассы продуцентов, так и перевернутые. Накопление эмпирических данных указывает на существование последних в разных районах Мирового океана, различающихся трофностью вод.

Анализ материалов многолетних исследований Крымского шельфа (в летний сезон 2010–2025 гг.) и литературных данных выявил соотношение биомасс крупных (по диапазону размеров) экологических групп, соответствующее перевернутой пирамиде. Оказалось, что биомасса, представленная в единицах углерода, увеличивается от нескольких единиц до нескольких тысяч единиц, от бактериопланктона через фитопланктон, зоопланктон к массовым мелким пелагическим рыбам и далее к крупным хищникам (дельфинам). Эта последовательность имеет вид: 1–36–7–200–6000 мгС/м³. Полученные нами средние величины приблизительно (имеют коэффициенты вариации около 50–70 %), но в данном контексте обсуждается порядок величин.

Объяснение феномену перевернутой пирамиды, помимо объяснения различиями удельной продукции организмов, следует

искать в процессах горизонтального массопереноса биомассы (вдольшельфового и кросс-шельфового), которые имеют пассивную и активную формы. Пассивному массопереносу (за счет адвекции вод, на мезо- и макромасштабах) подвержены разные группы планктона. Активный массоперенос (вдольшельфовая и кросс-шельфовая миграции пелагических рыб и их потребителей-дельфинов) характерен для организмов нектона: сезонные миграции пелагических рыб и дельфинов Черного моря измеряются сотнями километров. Существование перевернутой пирамиды частично объясняет часто констатируемое (в научных статьях) отсутствие корреляций в пространственно-временном распределении биомасс разных трофических групп: наличные биомассы формируются в разных районах. Перевернутая пирамида отмечена нами в летний сезон, которому свойственна определенная термохалинная стратификация вод. Насколько перестраивается пирамида биомасс в зимний сезон (при интенсивном перемешивании в верхних слоях, в которых сосредоточена основная часть биомассы сообщества), еще предстоит оценить. Ожидается выявление феномена вращения наклона размерного спектра биомасс (в диапазоне размеров, перекрывающих 6 порядков, от бактериопланктона до крупных хищников) в связи с сезонной изменчивостью биомасс всех экологических групп.

Работа выполнена в рамках государственных заданий по темам FEFM-2024-0013 и FNNZ-2021-0005.

МОНИТОРИНГ БЕРЕГОВОГО МУСОРА НА ПЛЯЖАХ ЧЕРНОГО МОРЯ В ПЕРИОД С 2016 ПО 2021 ГГ.

Погожева М.П.^{1,2,3} ✉, Спирина В.А.²

¹ МГУ, г. Москва

² ГОИИ, г. Москва

³ ИО РАН, г. Москва

✉ pogojeva_maria@mail.ru

Ключевые слова: морской мусор, Черное море, пластик, загрязнение морей, мониторинг.

На побережьях Черного моря наблюдаются значительные уровни загрязнения морским мусором, основным компонентом которых являются изделия из пластика (Aytan et al., 2019). Его накоплению способствует сток рек, активное судоходство, рыболовство, туризм и несовершенство систем обращения с отходами в прибрежных городах Черного моря (Simeonova et al., 2017). Полужамкнутое строение водоема, кольцевое течение, наличие обширного бескислородного слоя способствует активному накоплению мусора на побережьях, на поверхности водоема, в толще воды и на дне моря (Aytan et al., 2020).

В данной работе использовалась унифицированная международная методика MSFD (Galgani et al., 2013) для оценки загрязненности северо-восточных черноморских берегов морским мусором с целью обеспечения сравнимости и качества данных.

Мониторинговые наблюдения проводились на пляжах Малый Ахун, Приморский, Лоо, Сочи, Восток в Лазаревском районе г. Сочи с 2016 по 2021 гг. Пляжи выбирались согласно методике, учитывая также транспортную доступность. Пляжи условно подразделялись на две разные категории по степени урбанизированности: городской или пригородный (дикий). Приморский, Сочи и Лоо относятся к городским пляжам, расположенным в местах с развитой инфраструктурой. Малый Ахун и Восток – в пригороде. Всего было проведено 13 мониторинговых сессий.

Данные собирались специально обученными наблюдателями с помощью специализированного мобильного приложения, предназначенного для мониторинга морского мусора на пляжах европейских морей. Собирался мусор размером больше 2,5 см на площадке 100 м в длину и 5 в ширину.

Исследования на пляжах Малый Ахун и Приморский проходили летом и осенью 2020 г.; зимой, весной и летом 2021 г.

На пляже Малый Ахун, как и ожидалось от пригородного пляжа, показатели загрязненности были выше, чем на Приморском пляже. Преобладающими категориями стали пластик и металл, в среднем составляющие 66,9 % и 11,9 % соответственно.

На Приморском пляже после пластика (74,9 %), была бумага и картон, которая в среднем составила 15,9% от всех мониторинговых сессий.

На пляже Восток летом 2017 г. было обнаружено 78,0 % пластика и 7,5 % металла. Исследования на пляже Сочи проводились осенью 2017 г. Преобладающий категорией, как и на других пляжах, был пластик – 72,8 %. Второй по встречаемости стало стекло, которое составило 14,6 % от всего мусора. Самым загрязненным оказался пляж Лоо. Осенью 2016 г. на нем было обнаружено 70,3 % пластика и 14,5 % металла.

Для более подробного анализа, оценки загрязненности пляжей и вывода о скорости накопления мусора на пляжах требуется больший временной ряд исследования.

Aytan U., Sahin F. B. E., Karacan F. Beach litter on Sarayköy Beach (SE Black Sea): density, composition, possible sources and associated organisms //Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. – 2019. – Т. 20. – №. 2. – С. 137-145.

Simeonova, A., Chuturkova, R., & Yaneva, V. (2017). Seasonal dynamics of marine litter along the Bulgarian Black Sea coast. *Marine Pollution Bulletin*, 119, 110-118.

Aytan, Ü., Pogojeva, M., Simeonova, A. (Eds.,) 2020. *Marine Litter in the Black Sea*. Turkish Marine Research Foundation (TUDAV) Publication No: 56, Istanbul, Turkey. 361 p.

Galgani, F., Hanke, G., Werner, S., Oosterbaan, L., Nilsson, P., Fleet, D., Kinsey, S., RC, T., Van Franeker, J., Vlachogianni, T., Scoullou, M., Mira Veiga, J., Palatinus, A., Matiddi, M., Maes, T., Korpinen, S., Budziak, A., Leslie, H., Gago, J., Liebezeit, G., 2013.

Guidance on monitoring of marine litter in European seas, JRC Scientific and Policy Reports, Report EUR 26113 EN, Guidance on monitoring of marine litter in European seas. <https://doi.org/10.2788/99475>.

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МНОГОЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ЧЕРНОГО МОРЯ В РЕГИОНЕ ГЕЛЕНДЖИКА

Подымов И.С. ✉, Подымова Т.М.

ИО РАН, г. Москва
✉ ipodymov@inbox.ru

Ключевые слова: земная поверхность, вертикальные деформации, геофизические процессы, инновационные технологии, радон.

Авторы доклада представляют некоторые результаты исследований ИО РАН, выполненные в рамках научного проекта FMWE-2024-0027 «Морские природные системы Черного и Азовского морей: эволюция и современная динамика гидрофизических, гидрохимических, биологических, береговых и литодинамических процессов».

В круг рассматриваемых ключевых процессов вошли: глобальные геофизические аномалии; связь вариаций объемной активности радона (ОАР) в приземной атмосфере с тектонической нестабильностью, выбросами глубинных газов в атмосферу и вертикальными деформациями земной поверхности. Вопрос о том, для чего нужна информация о вертикальных колебаниях земной поверхности, связан с краткосрочным прогнозом зарождающихся сейсмических аномалий (землетрясений). В настоящее время эта проблема решается, но пока не решена. Один из путей решения – анализ медленных колебаний земной поверхности в районах тектонических разломов. Такие колебания незаметны для людей, но они могут указывать на то, что в районе разлома

называет нечто опасное. Если системы мониторинга расположены территориально в разных точках – можно зафиксировать зоны спрединга, коллизии и субдукции. В зонах коллизии и субдукции, в сторону которых перемещаются литосферные плиты, происходит компрессия. При определенных условиях в них могут происходить землетрясения.

При разных землетрясениях излучаются характерные волновые формы. При обычных они представляют собой импульсы с резкими внезапными фронтами. При медленных – постепенно нарастающие колебания, начало формирования которых сложно определить.

Для мониторинговых работ регистрации вертикальных деформаций земной поверхности в Институте океанологии реализованы инновационные аппаратно-программные технологии, в основе которых лежит спектрометрический метод регистрации выбросов Радона-222 в приземную атмосферу. Выбросы радона являются первичными индикаторами зарождающейся геотектонической аномалии. Исследования показали, что частотные характеристики вариаций объемной активности радона (ОАР) и внутренних гравитационных волн (ВГВ) совпадают с колебаниями земной поверхности при сейсмических процессах, а спектрометрический метод позволяет регистрировать ОАР ежечасно. Непрерывный мониторинг вариаций ОАР осуществляется на протяжении 10 лет на полигоне Южного отделения Института океанологии. По синхронным данным геостационарного позиционирования (ГСП) и вариациям ОАР построена модель расчета вертикальных колебаний земной поверхности в регионе. Модель расчета деформаций земной поверхности по вариациям ОАР позволяет оценивать колебания земной поверхности с частотой менее $2,7 \cdot 10^{-4}$ Гц и амплитудой в единицы мм.

Конкретные данные о положении земной поверхности прибрежной зоны моря в регионе Геленджика за время мониторинга:

1. Среднегодовое значение вертикального перемещения за весь срок мониторинга: -2 мм.
2. Суммарное опускание прибрежной плиты за 10 лет: -22 мм.
3. Амплитуда колебаний земной поверхности на годовом интервале: 27 мм.

О результатах комплексных исследований, с иллюстрациями и моделями, предполагается рассказать на конференции.

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ КОЛЕБАНИЙ РАПЫ СОЛЕННЫХ ОЗЕР НА БИОТУ

Руднева И.И.¹ ✉, Гайский П.В.¹, Шайда О.В.¹, Шайда В.Г.²

¹ МГИ, г. Севастополь

² ООО «Экосервис А», г. Москва

✉ svg-41@mail.ru

Ключевые слова: межгодовые, сезонные и суточные изменения температуры, соленое озеро, гидрохимические параметры, изменение климата, артемия.

Экологическое состояние соленых озер непосредственно отражает климатические изменения в масштабах всей прилегающей территории. В настоящее время число этих водоемов уменьшается, основными причинами являются климатические изменения и антропогенная деятельность. Это приводит к сокращению среды обитания водоплавающих птиц, потерям экономических выгод и угрозам здоровью человека. Для сохранения этих водоемов необходима количественная оценка относительного вклада естественной изменчивости и антропогенного воздействия. Температурные и гидрохимические характеристики соленых озер определяют развитие биома, биогеохимические процессы, миграцию и осаждение элементов, обогащение органическими веществами. С помощью телеметрической системы, установленной на берегу Восточного бассейна Сакского озера, показана четкая зависимость влияния межгодовых, сезонных и суточных колебаний температуры на состояние биоты. Экологический мониторинг соленых озер может предоставить подробную информацию о глобальном изменении климата, способствовать более устойчивому использованию ресурсов и защите соленых озер.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ГРУНТОВ ПРИМОРСКИХ СОЛЕННЫХ ВОДОЕМОВ ЕВПАТОРИЙСКОЙ ГРУППЫ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Руднева И.И. ¹✉, Котельянец Е.А. ¹,
Шайда В.Г. ², Шайда О.В. ¹

¹ МГИ, г. Севастополь

² ООО «Экосервис А», г. Москва

✉ svg-41@mail.ru

Ключевые слова: соленые озера Евпаторийской группы, гидрохимические параметры, тяжелые металлы, загрязнение, грунты (донные отложения).

Приморские соленые озера Евпаторийской группы (Крым) находятся в зоне активной антропогенной деятельности. Туризм, рекреация, интенсивная транспортная сеть, дачная инфраструктура широко представлены в этом районе.

Гиперсоленые озера – динамичные гидрологические системы, которые очень чувствительны к изменению климата и деятельности человека. Грунты водоемов являются важными индикаторами их состояния, поскольку способны в течение длительного времени накапливать поллютанты и быть потенциальными вторичными резервуарами загрязняющих веществ. Тяжелые металлы в водную среду попадают как из естественных, так и из антропогенных источников. При интенсивном испарении и пересыхании гиперсоленые озера могут стать источниками пыли, содержащей металлы, что представляет угрозу для окружающей среды и здоровья человека.

Исследовано содержание металлов Cr, Ti, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Pb и Ba в 13 соленых и солоноватоводных водоемах, расположенных на юго-западном побережье Крымского полуострова. Показаны различия в содержании элементов, зависящие от гидрохимических условий в водоемах, их генезиса и уровня антропогенной нагрузки. Результаты дают важную информацию о геохимических процессах, формирующих соленые

озера, и позволяют понять суть экологических проблем для будущего сохранения и рационального использования их ресурсов.

ОЦЕНКА ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ АРКТИЧЕСКОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Румянцева Е.А. ✉, Ефименко Е.А.

МАУ, г. Мурманск
✉ rumkate@rambler.ru

Ключевые слова: риски природопользования, социально-экономические риски, эколого-экономические риски, береговая эко-социо-экономическая система, Арктика, интегральный показатель риска, экология природопользования.

Интенсификация хозяйственного освоения арктического побережья России приводит к росту уязвимости прибрежных территорий, береговых эко-социо-экономических систем Арктической зоны Российской Федерации, подверженных комплексному воздействию природных и антропогенных факторов. В условиях климатических изменений и увеличения антропогенной нагрузки возникает необходимость в разработке комплексной научной системы анализа экологических и социально-экономических рисков природопользования для устойчивого развития прибрежных территорий Арктической зоны Российской Федерации. Цель исследования состоит в разработке такой модели оценки рисков, которая сочетает количественные и качественные индикаторные методики с матричной методикой. Предложен инновационный матричный метод оценки рисков, основанный на трехкомпонентной структуре (риск-источник, риск-фактор и риск-объект). Каждый компонент системы характеризуется уникальным набором классификационных признаков, а взаимосвязи между ними количественно оцениваются методом

экспертных оценок по пятибалльной шкале. Разработанная модель рисков природопользования на побережье Российской Арктики содержит две ключевые матрицы составляющих риска: риск-фактор – риск-источник и риск-объект – риск-фактор, что позволяет проводить комплексный анализ рискообразующих процессов. Практическое применение модели проведено на примере 17 локальных приморских муниципальных образований Мурманской области. Применение разработанной методики и модели в качестве инструмента позволяет осуществлять комплексную оценку эффективности мер по снижению экологических и социально-экономических рисков, связанных с береговым арктическим природопользованием. Такой подход обеспечивает научно обоснованную базу для совершенствования территориального планирования и прогноза устойчивости арктических береговых эко-социо-экономических систем как единого комплекса, способствуя устойчивому развитию прибрежных территорий Арктики. Интеграция предложенной модели в процессы принятия управленческих решений дает возможность учитывать динамику изменений природной среды и социально-экономических условий в среднесрочной и долгосрочной перспективе, что особенно важно для сохранения баланса в сложных арктических экосистемах.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-17-20021, <https://rscf.ru/project/24-17-20021/> и Минобрнауки Мурманской области согласно Соглашения от 03.05.2024 № 199.

ГЕНЫ РЕЗИСТЕНТНОСТИ И БАКТЕРИАЛЬНАЯ ДЕГРАДАЦИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ПРИБОЙНОЙ ЗОНЫ ТАГАНРОГСКОГО ЗАЛИВА АЗОВСКОГО МОРЯ

Сазыкин И.С. ✉, Хмелевцова Л.Е., Ажогина Т.Н.,
Лановая О.Д., Хаммами М.И., Сазыкина М.А.

ЮФУ, г. Ростов-на-Дону

✉ issa@sfedu.ru

Ключевые слова: донные отложения, гены антибиотико-резистентности, гены металлорезистентности, микробиологическое окисление углеводородов, Азовское море.

В последние десятилетия антропогенное загрязнение морских экосистем приобрело глобальный масштаб. Донные отложения (ДО) прибрежных зон аккумулируют различные загрязняющие вещества, включая токсичные металлы, органические соединения и нефтепродукты. Особую актуальность изучение ДО приобретает в связи с развитием курортных зон на побережье Азовского моря.

Одной из ключевых современных угроз является распространение генов антибиотикорезистентности (АРГ) в окружающей среде. АРГ могут распространяться в микробиоме при помощи горизонтального переноса, а их передача может усиливаться под действием других поллютантов, таких как металлы, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) и хлорорганические пестициды.

Целью данного исследования являлась оценка метаболического потенциала микробиома ДО Таганрогского залива в отношении деградации углеводородов (декан, гексадекан, циклогексан, бензол, нафталин, антрацен, дизельное топливо) с использованием мультисубстратного тестирования на основе 2,6-дихлорфенолиндофенола (2,6-DCPIP). Параллельно проводился количественный анализ клинически значимых АРГ, включая гены устойчивости к карбапенемам (*VIM* и *NDM*), тетрациклину (*TetO*), сульфонамидам (*sulII*), макролидам (*ErmB* и

mphA), аминогликозидам (*aadA2*), метициллину (*mecA*), цефалоспорином и монобактамам (*CTX-M*), гликопептидам (*VanA* и *VanB*), полимиксинам (*mcr-1*) и амфениколам (*catA2*); генов эффлюксных насосов, обеспечивающих множественную лекарственную устойчивость (МЛУ) *qacE* и *acrD*; генов устойчивости к ртути (*merE*) и множественной металлорезистентности (*CzcA* и *zntA*); интегров 1–3 классов (*Intf1*, *Intf2*, *Intf3*),.

Пробы ДО отбирали в сентябре 2024 года в 20 точках прибойной зоны Таганрогского залива. Результаты показали широкое распространение генов металлорезистентности: ген *zntA* (Zn/Cd/Pb) обнаружен во всех пробах (10^{-4} – 10^{-2} на ген 16S рПНК), *merE* (Hg) и *CzcA* (Zn/Co/Cd) – в 14 и 13 точках соответственно (10^{-5} – 10^{-3}). Среди АРГ наиболее часто встречался *mecA* (метициллин, 15 точек), однако его концентрации были близки к фоновым. Гены *qacE* (МЛУ) и *ErmB* (макролиды) выявлены в 10 и 9 пробах, *VanB* (гликопептиды) – в 8, *mphA* (макролиды/азитромицин) – в 7 (до 10^{-2}).

Преобладали интегроны 3-го типа (11 проб, 10^{-6} – 10^{-4}), тогда как интегроны 1-го и 2-го типов встречались реже. Обнаружена корреляция между содержанием интегров 3-го типа и АРГ (*mecA*, *VanB*, *mphA*), что не согласуется с представлением о ведущей роли интегров 1-го типа в распространении АРГ.

Наибольшая активность окисления углеводов отмечена в пробах из Натальевки, Беглицы, Чумбур-Косы и Маргаритово, где содержание АРГ и интегров было минимальным. В то же время в точках с повышенным уровнем АРГ (Таганрог, Приморка) метаболический потенциал микробиома оказался средним или низким. Таким образом, связь между наличием АРГ и способностью к деградации углеводов не подтверждена, что указывает на независимость этих процессов в изученных экосистемах.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности № FENW-2024-0026.

ТОКСИЧНОСТЬ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПРИБОЙНОЙ ЗОНЫ ТАГАНРОГСКОГО ЗАЛИВА АЗОВСКОГО МОРЯ

Сазыкина М.А. ✉, Карчава Ш.К., Климова М.В.,
Хаммами М.И., Полиниченко А.Е., Сазыкин И.С.

ЮФУ, г. Ростов-на-Дону
✉ samara@sfedu.ru

Ключевые слова: токсичность, биотестирование, донные отложения, lux-биосенсоры, Азовское море.

В настоящее время актуальность проблемы безопасности Азовского моря возрастает в связи с хроническим поступлением в его экосистему токсикантов антропогенного происхождения. Хотя традиционно исследования фокусировались на водной среде, в последние годы особое внимание уделяется загрязнению донных отложений (ДО), которые накапливают вредные вещества и становятся важным индикатором состояния морских экосистем.

Отбор проб ДО проводили в сентябре 2024 г. в прибойной зоне Таганрогского залива Азовского моря. Исследование охватило 20 пунктов отбора в прибрежной зоне населенных пунктов: Весело-Вознесенка, Рожок, Натальевка, Беглица, Золотая Коса, Красный Десант, Новобессергеновка, Таганрог, Приморка, Мержаново, Морской Чулек, Займо-Обрыв, Круглое, Стефанидинодар, Павло-Очаково, Семибалки, Чумбур-Коса, Маргаритово, Новомаргаритово, Порт-Катон. Токсикологическую оценку проб проводили с использованием биосенсорных штаммов *E. coli* MG1655, чувствительных к различным типам стресса: генотоксичность (pRecA-lux, pAlkA-lux), окислительный стресс (pSoxS-lux, pKatG-lux), повреждение белков (pGrpE-lux, pIbpA-lux) и мембран (pFabA-lux). Токсичность оценивали по фактору индукции (I): слабый ($I \leq 2$), средний ($2 < I \leq 10$), сильный ($I > 10$).

Максимальные эффекты были зафиксированы с помощью биосенсоров *E. coli* MG1655(pRecA-lux) и *E. coli* MG1655(pAlkA-

lux) ($I = 15,3-43,6$). Всего было выявлено 50 средних и сильных эффектов, преимущественно вызванных прямыми мутагенами.

Биосенсоры *E. coli* MG1655 (pSoxS-lux) и *E. coli* MG1655 (pKatG-lux) показали значимый отклик на супероксид-анион и пероксиды. Выявлено 26 средних и сильных эффектов с максимальными значениями фактора индукции в диапазоне от 3,2 до 17,8.

Также были обнаружены вещества, вызывающие: повреждение белков (биосенсоры *E. coli* MG1655 (pGtrE-lux) и *E. coli* MG1655 (pIbpA-lux)), нарушение целостности мембран (биосенсор *E. coli* MG1655 (pFabA-lux)). Максимальные факторы индукции в наиболее загрязненных зонах составили от 16,0 до 30,8, при этом зафиксировано по 13 средних и сильных эффектов для каждого из этих биосенсоров.

Были выявлены как наиболее загрязненные участки (побережье населенных пунктов Весело-Вознесенск, Рожок, Беглица, Золотая Коса, Красный Десант), так и наименее загрязненные (Павло-Очаково, Семибалки, Чумбур-Коса, Маргаритово, Новомаргаритово).

Таким образом, исследования показали наличие широкого спектра токсических веществ в исследуемых образцах ДО. При этом наиболее высокие показатели токсичности, полученные с помощью люминесцентных бактериальных сенсоров, зарегистрированы в ДО прибрежных зон населенных пунктов, расположенных на северном побережье Таганрогского залива Азовского моря.

В этой связи представляется необходимым внедрение системы комплексного мониторинга донных отложений Азовского моря. Систематизация данных о пространственно-временной динамике аккумуляции поллютантов различной природы в донных отложениях создаст основу для идентификации источников загрязнения и обоснования природоохранных мер.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности № FENW-2024-0026.

К ВОПРОСУ ОБ УПРАВЛЕНИИ ТУРИСТИЧЕСКИМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ КРЫМА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Санин А.Ю.

ГОИИ, г. Москва
✉ *eather86@mail.ru*

Ключевые слова: туристические потоки, рекреационное использование, прибрежная зона, Крым, виды туризма, абразия, национальные туристические маршруты.

В настоящее время в Крым сохраняется устойчивый туристический поток, но функционирование рекреационной отрасли негативно влияет на ландшафты прибрежной зоны, что заставляет ставить вопросы ограничений туристического использования ряда участков берега. Но они не должны привести к снижению числа туристов, так как это негативно скажется на экономике полуострова и благосостоянии крымчан.

Сохранить и, возможно, даже увеличить туристической поток в Крым позволит развитие новых для полуострова (и поддержка тех, которые уже есть, но развиты сравнительно слабо), в том числе и круглогодичных, видов туризма. В свою очередь, для этого необходима законодательная поддержка некоторых из них, особенно популярных (например, самостоятельного или бальнеологического) или уникальных для Крыма (некоторых видов экстремального туризма, например, парапланеризма и т. д.) и перспективных для полуострова (студенческого, винного, экологического, этнического, сельского). Развитию новых видов туризма и поддержанию имеющихся будет способствовать создание на территории полуострова новых круглогодичных федеральных курортов в рамках проекта «5 морей и озеро Байкал» в Балаклаве (Севастополь) и около Евпатории. Однако эффект от их строительства проявится не ранее, чем через 5–7 лет. Более быстрые результаты может дать разработка, утверждение и функционирование так называемых национальных

туристических маршрутов. Они позволяют привлекать дополнительное финансирование для развития туристической индустрии: в частности, для строительства некапитальных средств размещения (так называемых глэмпингов и т. д.).

Строительство капитальных объектов размещения туристов и иных инфраструктурных объектов, как показывает имеющийся опыт, особенно непосредственно в береговой зоне, во многих случаях приводит к ряду негативных последствий. В литературе (публикации Горячкина Ю.Н. и других исследователей) отмечается доминирующая роль антропогенного воздействия для динамических процессов, свойственных береговой зоне, что вынуждает искать способы смягчения его негативных последствий. Одним из них может быть частичное ограничение капитального строительства средств размещения туристов в пользу глэмпингов.

В настоящее время основными видами туризма в Крыму являются пляжно-купальная рекреация, спортивный (в частности, пешие походы в горы и другие его виды) и экскурсионный туризм. Первая, являясь наиболее массовым видом туризма, характеризуется и наиболее жесткой привязкой к прибрежной зоне. Развитие других видов туризма, для которых имеется потенциал – сельский, экологический, событийный, бальнеологический и т. д., – может стимулировать создание новых инфраструктурных объектов для туризма не в пределах прибрежной зоны, что смягчит воздействия на берега.

Разработка национальных туристических маршрутов будет способствовать развитию новых видов туризма, что позволит равномернее распределить туристических поток в пространстве и времени и снизит воздействия на берега. Задача их разработки для Крыма может быть решена несколько проще, чем для многих других регионов, в связи со сравнительно высоким уровнем развития автомобильного транспорта на полуострове, его огромным природным и культурно-историческим рекреационным потенциалом и многочисленностью уже имеющихся объектов туристической инфраструктуры (и тесно с ними связанных, например, заведений общественного питания).

ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ И БИОГЕННЫЕ ВЕЩЕСТВА В СРЕДНЕМ КАСПИИ В 2023 Г.

Светашева Д.Р.

КаспМНИЦ, г. Астрахань

✉ svetashevadr@yandex.ru

Ключевые слова: Каспийское море, дагестанский шельф, фитопланктон, первичная продукция, спутниковый мониторинг, биогенные вещества.

Показатели количественного развития фитопланктона широко используются при определении экологического благополучия водоема. Особо интенсивного развития первичная продукция обычно достигает вблизи берегов крупных водоемов. В связи с этим особый интерес для изучения развития фитопланктона представляет район дагестанского шельфа Каспийского моря. Современные спутниковые снимки позволяют дистанционно осуществлять мониторинг, дополняя и даже частично заменяя полевые исследования.

В работе описываются результаты количественной оценки содержания хлорофилла «А» в фитопланктоне Каспийского моря в районе дагестанского шельфа в 2023 г. Оценка проводилась на основе данных спутникового мониторинга. Космические снимки для обработки и интерпретации были предоставлены ФГБУ «НИЦ «Планета». В работе были использованы спутниковые снимки космического аппарата Канопус-В №4 с разрешением 2,1 м. «Индекс цвета» воды определялся по материалам спутниковой съемки высокого пространственного разрешения. Обработка проводилась на основе отношения сигналов для длин волн синего (0,46–0,52 мкм) и зеленого (0,51–0,60 мкм) спектра.

При обработке снимков было выявлено, что концентрация хлорофилла «А» в исследуемом районе в конце апреля достигала в прибрежном районе 0,45 мг/м³, мористее увеличивалась до 0,60 мг/м³. Кроме того, при обработке снимков были выявлены

незначительные по площади, удаленные от берега районы, где концентрация хлорофилла «А» превышала 1 мг/м^3 . Данное явление может объясняться привносом первичной продукции из Северного Каспия. Обработка подспутниковых снимков, сделанных в конце августа в исследуемом районе Среднего Каспия, показала увеличение содержания хлорофилла «А» в среднем до $0,7 \text{ мг/м}^3$, в отдельных незначительных по площади районах концентрация хлорофилла «А» достигала 10 мг/м^3 .

Известно, что концентрация биогенных элементов является важнейшим фактором развития первичной продукции моря. Нормальное соотношение фосфора и азота (уравнение Редфилда) в морской воде составляет 1:15 и примерно отражает стехиометрический состав фитопланктона. Нарушение данного соотношения может оказать значительное влияние на условия развития фитопланктона и, как следствие, на динамику всей экосистемы.

Оценка содержания минеральных форм биогенных элементов в Среднем Каспии проводилась на основании режимных наблюдений за загрязнением морской среды. Наблюдения проводились на стационарных пунктах наблюдений Республики Дагестан (Лопатин, Терек, Сулак, Махачкала, Избербаш).

Весной 2023 г. концентрация минерального азота в поверхностном горизонте исследуемого района составила $399,8 \text{ мкг/л}$, а содержание минерального фосфора – $13,9 \text{ мкг/л}$. Таким образом, азотно-фосфорный баланс в Среднем Каспии в 2023 г. составил отношение 1:33. Диспропорция этого соотношения в пользу азота может вызвать нарушения в развитии фитопланктона и оказать значительное влияние на динамику всей экосистемы.

ИЗМЕНЕНИЕ СКОРОСТИ РОСТА, ФЛЮОРЕСЦЕНТНЫХ И ЦИТОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ У МИКРОВОДОРОСЛИ *THALASSIOSIRA WEISSFLOGII* И РАЗВИТИЕ ЕЕ АДАПТАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НАНОЧАСТИЦ ЦИНКА

Соломонова Е.С. ✉, Шоман Н.Ю.,
Акимов А.И., Рылькова А.О.

ИнБИОМ, г. Севастополь
✉ solomonov83@mail.ru

Ключевые слова: микроводоросли, наночастицы оксида цинка, цитотоксичность, клеточная морфология.

Природные воды часто содержат сложные смеси неизвестных загрязнителей, потенциально представляющих угрозу для морских сообществ из-за химических взаимодействий. В данном исследовании представлены результаты, демонстрирующие токсический эффект наночастиц цинка в диапазоне концентраций 1,6–12,8 мг/л на структурно-функциональные, морфологические и биохимические показатели клеток диатомовой микроводоросли *Thalassiosira weissflogii*. Нами показано, что взаимодействие ZnO NPs с клетками *T. weissflogii* приводит к ингибированию пролиферации клеток, нарушению их жизнеспособности, увеличению продукции активных форм кислорода и подавлению работы фотосинтетического аппарата, вероятно, за счет механического повреждения клеток, адсорбции и агрегации ZnO NPs на клеточной поверхности. Пересев водорослей на свежую питательную среду после 7 суток экспозиции при концентрациях ZnO NPs 1,6 и 3,2 мг/л приводил к восстановлению процесса деления клеток и повышению функционального показателя *gETR*, что свидетельствует о развитии адаптационного потенциала *T. weissflogii* к действию исследуемого загрязнителя за счет резистентных клеток. Клетки диатомеи, ставшие резистентными в результате физиологической акклиматизации или возникшие путем редких спонтанных мутаций, продемонстрировали способность к самозащите, увеличив активность антиоксидантной системы и

стабилизируя ферментативные процессы. Подобные исследования и полученные в работе результаты имеют важное значение для совершенствования методик биотестирования в целях более адекватной и реалистичной оценки токсичности загрязняющих веществ и охраны окружающей водной среды.

Настоящее исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ № 24-24-00269 «Разработка принципов и подходов к использованию микроводорослей как биомаркеров экологического состояния динамично меняющейся водной экосистемы при воздействии наночастиц металлов и гербицидов».

ИЗМЕНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ НЕОРГАНИЧЕСКОГО ФОСФОРА В ВОДАХ ЧЕРНОГО МОРЯ В РАЙОНЕ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА В ВЕСЕННЕ-ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Тарасевич Д.В. ✉, Вареник А.В.

МГИ, г. Севастополь

✉ *ledi_di2020@bk.ru*

Ключевые слова: неорганический фосфор, Черное море, кокколитофориды.

На основе экспедиционных данных Морского гидрофизического института, полученных в 108, 130 и 131 рейсах НИС «Профессор Водяницкий» изучено вертикальное и пространственное распределение концентрации фосфатов в водах Черного моря в прибрежной зоне Крымского полуострова.

В весенний период после зимней вертикальной конвекции воды насыщены биогенными элементами. Затем к концу весны – началу лета формируется термоклин, препятствующий поступлению азота и фосфора из нижележащих слоев. В верхнем слое неорганический азот быстро поглощается, так как является наиболее биодоступным для фитопланктона, при этом запасы неорганического фосфора сохраняются. В этих условиях начинают

активно развиваться кокколитофорида и становятся доминирующим видом, в результате содержание фосфатов в морской воде уменьшается. Данное явление наблюдалось во время проведения первого этапа 131 рейса НИС «Профессор Водяницкий» (конец мая – начало июня 2024 г.), когда концентрации неорганического фосфора составляли 0,03–0,10 мкМ. Согласно литературным данным, после гибели кокколитофорид коккосферы оседают на дно и их органические компоненты разлагают микроорганизмы, при этом некоторые кокколиты (пластинки) несут следы фосфатизации. Таким образом, при разложении коккосфер может высвобождаться неорганический фосфор. Возможно, с этим процессом связано более высокое содержание фосфатов в морской воде от 0,20 до 0,50 мкМ во время проведения второго этапа 131 рейса НИС «Профессор Водяницкий» (середина июня 2024 г.).

В летний период в условиях стратификации в поверхностном слое вод согласно литературным данным должны наблюдаться низкие концентрации неорганического фосфора. Однако в период июль–август 2019 г. (108 рейс НИС «Профессор Водяницкий») содержание фосфатов достигало 0,20–0,50 мкМ, что может объясняться цветением и последующим отмиранием кокколитофорид в июне этого года.

Вертикальное распределение концентрации неорганического фосфора по данным 108 рейса и второго этапа 131 рейса НИС «Профессор Водяницкий» характеризуется более высокими величинами как в поверхностном слое вод моря, так и в более глубоких слоях. При этом распределение, полученное по результатам второго этапа 131 рейса, отличается большим разбросом значений концентраций, что также может объясняться процессом высвобождения фосфора в морскую воду в результате разложения коккосфер.

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

ВЛИЯНИЕ УСТРИЧНОГО ХОЗЯЙСТВА НА ДОННОЕ СООБЩЕСТВО ВЕРХОВЬЯ ОЗ. ДОНУЗЛАВ (КРЫМ)

Терентьев А.С. ✉, Михайлов В.В.

АзНИИРХ, г. Керчь
✉ iskander65@bk.ru

Ключевые слова: марикультура, устрица тихоокеанская, *Magallana gigas*, оз. Донузлав, Черное море, бентос.

В настоящее время в северной части Черного моря активно выращивается тихоокеанская или гигантская устрица *Magallana gigas* (Thunberg, 1793). Одно из хозяйств по ее выращиванию расположено в верховьях оз. Донузлав. Плантация была обследована в мае 2019 г.

Устричное хозяйство располагалось на глубине от 8 до 15 м на илистом грунте. При этом 81–99 % его площади подверглось сероводородному заражению. Последнее связано с тем, что по типу питания устрица является сестонофагом, а сконцентрированная в устричных садках, подвешенных в толще воды, образует достаточно мощный фильтр-осадитель органического вещества, которое накапливается под самой плантацией. Дисперсионный анализ показывает, что распространение и интенсивность сероводородного заражения на 54–60 % определяется влиянием устричной плантации.

На акватории устричного хозяйства практически отсутствовала донная растительность. В тоже время на фоновом полигоне наблюдались заросли взморника большого (*Zostera marina* Linnaeus 1753) и взморника малого (*Zostera noltei* Hornemann 1832). Встречаемость первого была 16–44 %, численность – 92 ± 50 экз./м², биомасса – 380 ± 230 г/м². Второго соответственно 1–19 %, $4,0 \pm 1,3$ экз./м² и $1,11 \pm 0,35$ г/м².

По сравнению с фоновой акваторией видовое богатство зообентоса под плантацией устриц снизилось в 2,7 раза с 27 до 10 видов, плотность видов уменьшилась в 1,7–0,4 раза с $4,60 \pm 0,99$ до $1,60 \pm 0,55$ вид/0,025 м². Из видового богатства практически исчезли олигохеты и личинки хирономид. Практически

полностью исчез усоногий рак *Amphibalanus improvisus* (Darwin, 1854). На фоновом полигоне его встречаемость была 33–66 %. Из 7 видов полихет сохранился только *Nephtys hombergii* (Savigny in Lamarck, 1818). Видовое богатство двустворчатых моллюсков сократилось с 11 до 4 видов. Видовое богатство брюхоногих моллюсков осталось практически на прежнем уровне. Индекс сходства между зообентосом фоновой акватории и устричного хозяйства по Чекановскому-Сёренсу равнялся 0,42, а Синкевича-Симпсона – 0,50, что указывает на то, что изменение видового богатства произошло не только за счет его сокращения, но и в значительной степени за счет добавления новых видов.

Общая численность зообентоса на акватории плантации, по сравнению с фоновой, уменьшилась в 1,7–5,4 раза с 296 ± 69 до 84 ± 32 экз./м². При этом численность двустворчатых моллюсков снизилась в 3,0–8,0 раз, полихет в 2,9–5,8 раз, брюхоногих моллюсков в 1,2–2,1 раза. Произошла смена доминантного вида. На фоновом полигоне по численности доминировал *A. improvisu*. На его долю в среднем приходилось 11–24 % общей численности зообентоса. На акватории устричного хозяйства по численности доминировал *N. hombergii*. На его долю в среднем приходилось 10–19 % общей численности зообентоса. Брюхоногие моллюски: *Bittium reticulatum* (da Costa, 1778), *Hydrobia acuta* (Draparnaud, 1805) и *Pusillina lineolata* (Michaud, 1830) не уступали ему по численности, но встречались намного реже, образуя локальные скопления.

Общая биомасса зообентоса устричного хозяйства, по сравнению с фоновым полигоном, в среднем снизилась 1,2–2,1 раза, при этом биомасса полихет снизилась в среднем в 3,3–6,8 раза, двустворчатых моллюсков в 1,4–3,4 раза. Биомасса брюхоногих моллюсков практически не изменилась, в результате чего брюхоногие моллюски по биомассе практически сравнялись с двустворчатыми моллюсками. Их биомассы соответственно равнялись $5,0 \pm 3,1$ г/м² и $3,5 \pm 2,4$ г/м².

В трофической структуре зообентоса устричного хозяйства по сравнению с фоновой акваторией уменьшилась доля сестонофагов, как в общей численности, так и в общей биомассе. При этом увеличилась доля хищников и полифагов.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УСТРИЧНОЙ ФЕРМЫ НА СОСТОЯНИЕ АКВАТОРИИ ЗАЛИВА ДОНУЗЛАВ

Филиппова Т.А. ✉, Васечкина Е.Ф., Фомин В.В.

МГИ, г. Севастополь
✉ deryabina1993@yandex.ru

Ключевые слова: залив Донузлав, плоская устрица, марикультура, донные отложения.

В прибрежной зоне моря число устричных ферм неуклонно растёт. Основными преимуществами таких хозяйств являются отсутствие необходимости внесения дополнительного питания для моллюсков, сравнительно небольшое время достижения устрицами товарного размера и высокая стоимость конечного продукта. Однако, несмотря на возрастающую популярность устричных ферм, процессы взаимодействия плантаций с морской средой остаются неизученными.

Целью данного исследования является оценка влияния устричной фермы на физико-химическое состояние акватории залива Донузлав по результатам численного моделирования.

Эксперименты выполнялись с использованием двумерной химико-биологической объектно-ориентированной модели морской экосистемы. Скорости течений задавались средними по вертикали и были предварительно рассчитаны с использованием гидродинамической нелинейной модели циркуляции. Управляющими переменными модели являлись освещенность на поверхности воды, температура воздуха и скорость ветра. Временной ряд освещенности поверхности задавался в соответствии со средними оценками инсоляции над Черным морем, суточная изменчивость моделировалась синусоидой; температура воздуха и скорость ветра – по данным ERA-Interim с дискретностью 3 часа. Объект моделирования – устричное хозяйство мощностью 100 т сырого веса, занимающее 80 га в центральной части зал. Донузлав. Расчеты проводилось для устриц 1–3-го годов

культивирования (2007–2009 гг.), период моделирования соответствовал фазе активного роста устриц: май–октябрь.

Устрицы поглощают из среды взвешенное органическое вещество и фитопланктон, а выделяют фосфаты и аммоний. Внешние параметры среды – температура воды и концентрация кормовой взвеси – определяют динамику основных процессов жизнедеятельности устриц: интенсивность фильтрации, дыхания, роста мягких тканей и раковины, выделения растворенных (DOM) и взвешенных (POM) веществ, нереста.

Вычисление этих характеристик в процессе моделирования позволяет провести качественную и количественную оценку процессов взаимодействия морского хозяйства со средой во времени. В модели учитывались обратные связи между устричной фермой и экосистемой залива: поля концентраций фитопланктона, взвешенного и растворенного органического вещества рассчитываются на каждом временном шаге модели.

Основное влияние устричного хозяйства на морскую среду проявляется в накоплении донных отложений. По результатам расчетов фиксируется заиливание морского дна устричными фекалиями и псевдофекалиями непосредственно под фермой, а также вокруг нее. Расстояние, на которое распространяется пятно донных отложений, зависит от направления и силы течений. По мере роста устриц и увеличения общей массы плантации ее влияние на экосистему растет.

Изучалось влияние фитобентоса на рост устриц и экологическое состояние бассейна. Для этого сравнивались два расчета: при наличии фитобентоса (морские травы *Ruppia maritima* и *Zostera noltii* со средней общей биомассой 770 г сыр. веса/м²) и в его отсутствие. Наличие донной растительности существенным образом влияет на гидрохимическое состояние среды в районе расположения фермы, уменьшая концентрацию неорганических соединений азота и фосфора, DOM и POM.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ FNNN-2024-0016 шифр «Прибрежные исследования».

ВАРИАЦИИ ЗАСУШЛИВЫХ ПЕРИОДОВ НА ЮЖНОМ БЕРЕГУ КРЫМА

Хамицевич Н.В. , Майборода С.А., Метик-Диюнова В.В.

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

Ключевые слова: засуха, осадки, температура воздуха, ЮБК.

Установлена сезонная и многолетняя периодичность засушливых явлений на Южном берегу Крыма по данным наблюдений на Черноморском гидрофизическом подспутниковом полигоне в п.г.т. Кацивели за период 1984–2024 гг. Рассмотрено изменение длительности засушливых периодов (10 дней и более без осадков при возможных осадках не более 1 мм). Количество засушливых дней в теплые периоды (Т.П.) года: май–октябрь, – и холодные периоды (Х.П.): ноябрь–апрель. Определена максимальная и минимальная продолжительность засушливых периодов, повторяемость дней с аномальными атмосферными осадками ≥ 50 мм в Т.П. и Х.П. Рассчитаны гидротермические коэффициенты (ГТК) Селянинова Г.Т.

На ЮБК расположено значительное количество ландшафтных парков, парков-памятников садово-паркового искусства, заповедников. Изменение климата, рост температуры воздуха, увеличение засушливых периодов способствует повышению пожароопасности; в сочетании с антропогенным воздействием и аномальными атмосферными осадками это является угрозой биоразнообразию ЮБК. Одним из ключевых инструментов управления природными ресурсами и снижения рисков, связанных с погодными явлениями, служит мониторинг окружающей среды на местном уровне. Он позволяет выявить закономерности и степень локальной трансформации метеопараметров, оценить их воздействие на состояние биоразнообразия региона. В Кацивели среднее количество дней засушливых периодов – 185 дня в году. Максимальное количество засушливых дней – 242 дня в 2020 г., минимальное – 73 дня в 1997 г. Максимальная продолжительность одного засушливого периода наблюдалась в 2022 г. и

составила 72 дня. Среднее значение засушливых периодов – 10, максимальное – 15 периодов в 2013, 2019, 2020 гг., а минимальное – 7 в 1997, 2001, 2009 гг. Корреляция годовых сумм осадков с количеством дней засушливых периодов за период 1984–2024 гг. средняя отрицательная -0,65. В 2021 г. и 2024 г. зарегистрировано увеличение осадков до уровня ≥ 50 мм. Всего за исследуемый период в Т.П. отмечено 15 случаев, в Х.П. 5 случаев с осадками ≥ 50 мм.

Отмечено увеличение засушливых дней в Т.П. и снижение в Х.П. Среднее значение засушливых дней в Т.П. – 115 дней, максимальное – 160 в 1984 году, 157 дней в 2020 году, а минимальное – 58 дней в 1997 г. В Х.П. среднее значение засушливых периодов составило 70 дней при максимальных показателях 135 дня в 2019 г. Минимальные значения отмечены в 2007 г. – 34 дня. В отдельных случаях, например, в 1989 г. и 1997 г. в Х.П. засушливых дней было больше, чем в Т.П. Летом среднее значение засушливых дней – 60, осенью – 49, весной – 47, зимой – 29. Максимальные показатели летом составили 83 дня, осенью 76, весной 82, зимой 63 дня.

Периодичность засушливых периодов составляет 3–5 лет, которые имеют продолжительность 1–3 года. ГТК Селянинова – показатель увлажнённости территории, характеризующий засуху с точки зрения соотношения тепла и влаги. Норма значений ГТК для апреля составляет 0,66, для мая – 0,68, июня – 0,55, июля – 0,31, августа – 0,37, сентября 0,62, октября 0,81. Отмечено снижение значений ГТК за исследуемый период.

Наблюдается снижение осадков, особенно весной, осенью и увеличение зимой, летом. В 1995, 2002, 2007, 2018, 2023, 2024 гг., несмотря на выпадение осадков выше нормы, наблюдалось значительное количество засушливых дней. В последние два десятилетия можно отметить рост количества засушливых периодов и увеличение максимального количества засушливых дней в периоде при увеличении температуры воздуха и менее значимом росте влажности воздуха.

Работа выполнена в рамках научной темы № FNNN-2025-0016 государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ 2025 г.

СРАВНЕНИЕ САМООЧИСТИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ЭКОСИСТЕМ ЯЛТИНСКОГО ПОРТА И СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ В ОТНОШЕНИИ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ФОРМ АЗОТА

Хмара Т.В.^{1✉}, Совга Е.Е.¹, Мезенцева И.В.²

¹ МГИ, г. Севастополь

² СО ГОИН, г. Севастополь

✉ xmara@mhi-ras.ru

Ключевые слова: Ялтинский порт, Севастопольская бухта, неорганические формы азота, самоочистительная способность, удельная ассимиляционная емкость.

Самоочистительная способность экосистем Ялтинского порта и Севастопольской бухты оценивалась путем расчета удельной ассимиляционной емкости ($AE_{уд.}$) в отношении неорганических форм азота.

Приводятся результаты сравнения рассчитанных балансовым методом величин удельной ассимиляционной емкости $AE_{уд.}$ в отношении неорганических форм азота для экосистемы акватории Ялтинского порта с аналогичными величинами для экосистемы Севастопольской бухты как акватории с высокой антропогенной нагрузкой, подверженной влиянию стока рек и с затрудненным водообменом с открытым морем.

Для экосистемы акватории Ялтинского порта $AE_{уд.}$ составила для нитритов – 0,0969 мкг/л в сутки, для нитратов – 36,0722 мкг/л в сутки и для аммонийного азота – 7,5566 мкг/л в сутки.

Для Севастопольской бухты в целом $AE_{уд.}$ для нитритов (NO_2) составило 0,0471 мкг/л в сутки, для нитратов (NO_3) 25,9253 мкг/л в сутки и для аммония (NH_4) 5,6738 мкг/л в сутки. Анализ результатов показал, что эти величины ниже, чем в акватории Ялтинского порта. Это свидетельствует о более благоприятном состоянии последней и обусловлено влиянием динамики вод. Величина $AE_{уд.}$ для аммония самая низкая (1,9931 мкг/л)

в восточной части Севастопольской бухты, подверженной влиянию р. Черной. Очевидно, в отношении аммония большее влияние на самоочистительную способность экосистемы оказывает совокупность двух факторов – увеличение поступления этой формы азота со стоком рек и рекреационная нагрузка.

Сравнение двух акваторий (Ялтинский порт и Севастопольская бухта) по их способности к самоочищению в отношении неорганических форм азота показало, что несмотря на некоторые общие причины увеличения содержания неорганических форм азота (техногенная и рекреационная нагрузки, поступление с речными водами), для экосистемы акватории Ялтинского порта ее способность к самоочищению значительно выше. Причина, на наш взгляд, заключается в отличиях гидродинамического режима исследуемых акваторий. Если Севастопольская бухта – акватория с затрудненным водообменом с открытым морем, то акватория Ялтинского порта (как часть Ялтинского залива) характеризуется сложной структурой гидродинамических процессов, что связано с влиянием западного и юго-западного потока Основного Черноморского течения вдоль южных берегов Крыма, а также с процессами взаимодействия северной периферии ОЧТ с неоднородностями рельефа шельфа (мысы, заливы) Крымского полуострова.

При оценке способности к самоочищению экосистемы акватории Ялтинского порта в случаях аварийных залповых сбросов следует ориентироваться на нормирование сбросов с учетом приведенных величин $AE_{уд.}$ для неорганических форм азота, которые учитывают полный комплекс процессов утилизации. Это будет способствовать улучшению экологической ситуации в акватории порта и, как следствие, уменьшит нагрузку на акваторию Ялтинского залива в целом.

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

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВЕЛИЧИНЫ ВОДОРОДНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ В ВОДАХ СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ

Хоружий Д.С.

*МГИ, г. Севастополь
khoruzhiy@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: водородный показатель, стратификация.

Водородный показатель (рН) является одним из параметров, который используется для расчета соотношения компонентов карбонатной системы. Его величина зависит от ряда гидрологических и гидрохимических характеристик вод акватории.

Определение рН осуществлялось в ходе квартальных съемок в поверхностном и придонном горизонтах каждой станции в акватории бухты. Отобранные с помощью батометра пробы помещались в склянки с притертыми пробками, а измерения проводились в лаборатории на берегу.

Результаты измерений свидетельствуют о зависимости значения рН от состояния вод бухты. В холодное время года в условиях интенсивного перемешивания вод бухты отмечались наиболее высокие значения рН. В условиях отсутствия термоклина на большей части акватории значения рН изменялись в относительно узком диапазоне, а минимальные значения фиксировались в поверхностном слое в районах влияния речного и терригенного стока: вблизи устья р. Черной и в кутовой части бухты Южной. В ряде случаев влияние речного стока на величину рН не проявлялось, что может быть обусловлено особенностями течений в приустьевой части бухты. Снижение рН в кутовой части бухты Южной также в ряде случаев нивелировалось интенсивным ветровым перемешиванием вод бухты: в этом случае величина рН не отличалась от значений, характерных для остальной части акватории. Пониженные значения рН регулярно отмечались в зонах интенсивного антропогенного воздействия, например, в Артиллерийской бухте, а также на станциях, расположенных вблизи выхода из бухты.

Стратификация вод, наступающая в результате весеннего прогрева, приводит к формированию термоклина и обуславливает возникновение различия между значениями рН вод поверхностного и придонного слоев. Повышение температуры поверхностного слоя вод приводит к замедлению вертикального перемешивания. В то же время происходит интенсификация процессов окисления органических веществ в донных отложениях, приводящая к снижению концентрации кислорода и уменьшению значений рН в придонном слое. Минимальные значения рН фиксировались при возникновении в водах придонного слоя анаэробных условий.

Влияние речного стока на величину рН в теплый сезон в ряде случаев не прослеживалось вследствие уменьшения объема поступающих пресных вод. Пониженные значения рН вод поверхностного слоя фиксировались в отдельных областях с ограниченным водообменом, таких как кутовая часть Южной бухты, Инкерманский ковш, а также на ряде прибрежных станций, находящихся в зоне влияния локальных источников поступления органических веществ. Образующиеся продукты неполного окисления органических веществ вызывают снижение рН. На локальный характер влияния таких источников указывает изменение рН на станциях, расположенных в Южной бухте. Если в кутовой части в поверхностном слое величина рН значительно отличается от значений, характерных для остальной части акватории, то на следующих станциях это различие быстро уменьшается и полностью исчезает. То обстоятельство, что низкий рН характерен только для вод поверхностного слоя, свидетельствует о том, что причиной снижения рН является влияние пресноводного поверхностного стока.

Работа выполнена в рамках темы госзадания ФГБУН ФИЦ МГИ № FNNN-2024-0001 «Фундаментальные исследования процессов, определяющих потоки вещества и энергии в морской среде и на ее границах, состояние и эволюцию физической и биогеохимической структуры морских систем в современных условиях».

ОСОБЕННОСТИ АККУМУЛЯТИВНЫХ ФОРМ ПОБЕРЕЖЬЯ П-ОВА АБРАУ

Чистяков А.М. ✉, Крыленко М.В.

ИО РАН, г. Москва
✉ *sanch1999@mail.ru*

Ключевые слова: аккумулятивные формы, пляж, лагуна, Черное море, берег.

Побережье п-ова Абрау представляет собой участок северо-восточного побережья Черного моря, где развиты галечниковые аккумулятивные формы, формирующие пространственно-сложную систему пляжей, лагун и абразионных уступов.

В ходе работ 2023–2025 гг. были проведены полевые мониторинговые исследования в береговой зоне п-ова Абрау в пределах заповедника «Утриш» с шагом 100 м. На каждой точке производились измерения ширины пляжа, фотомониторинг, описание характеристик пляжеобразующего материала, фиксация осыпей, высоты береговых валов и барьерных тел.

Особое внимание уделялось трансформации галечных пересыпей лагун п-ова Абрау в связи с сильными штормами 2023–2024 гг., в результате которых произошло перераспределение материала и заметное смещение береговой линии. Около 80 % длины исследованной береговой линии занято прислоненными пляжами, но встречаются пляжи полного профиля из хорошо окатанного материала, приуроченные к пересыпям лагун. Их максимальная ширина до 50 м. Анализ данных мониторинга показал, что во 2-ой и 3-ей лагунах максимальные высотные отметки галечниковой пересыпи выросли до 2,5 м. Пляжеобразующий материал в результате интенсивного штормового воздействия переместился на 3–5 м вглубь акватории лагун, что увеличило ширину галечниковых пересыпей, отделяющих лагуны от акватории моря.

Исследуемые аккумулятивные формы играют важную роль в стабилизации береговой линии, фиксируя границу между морем и лагунами. Они демонстрируют высокую чувствительность не

только к штормовой активности, но и к другим экзогенным воздействиям, включая ливневые осадки, поверхностный сток и гравитационные процессы. Эти факторы способны вызывать разрушение галечных пересыпей, переотложение материала и изменение морфологии пляжей. Полученные данные позволяют рассматривать пересыпи лагун заповедника «Утриш» как активные литодинамические ячейки, чутко реагирующие на изменения внешней среды. Полученные результаты являются вкладом в задачу выявления закономерностей развития аккумулятивных форм южных непривливаемых морей России и могут быть использованы для уточнения прогнозов динамики аккумулятивных берегов в условиях изменения климата и антропогенных нагрузок.

Исследование выполнено за счет гранта РНФ 25-17-00104, <https://rscf.ru/project/25-17-00104/>.

ДИНАМИКА АТМОСФЕРНЫХ ЗАСУХ НА ЮГО-ВОСТОКЕ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Шкаберда О.А.

МГИ, г. Севастополь
✉ olg3213@yandex.ru

Ключевые слова: осадки, индекс Педя, Крым, засуха.

Атмосферные засухи оказывают влияние на сельское хозяйство, увеличивается пожароопасность, мелеют водоемы, а из-за аномально высоких температур воздуха возникает опасность для людей с сердечно-сосудистыми проблемами. Во многих публикациях указывается на ожидаемый рост частоты засушливых явлений на фоне увеличения испаряемости (результат потепления) и уменьшения атмосферных осадков. Поэтому важность изучения засух неоспорима.

Целью работы стал анализ засушливых явлений на полуострове Крым. Исследовались месячные суммы осадков и среднемесячная температура воздуха на метеорологических

станциях Крымского п-ова: Симферополь, Керчь и Феодосия за 1966–2024 гг. из фонда ВНИГМИ-МЦД: <http://meteo.ru/>. Для объективной оценки степени засушливости и выявления аномальных погодных условий рассчитывался индекс Д.А. Педя (S_i) по известной формуле, показывающий меру отклонения по отношению к климатической изменчивости (стандартное отклонение) атмосферных осадков и температуры воздуха. Расчет проводился только для теплого периода, так как именно в это время наблюдается тесная взаимосвязь между температурой воздуха и количеством осадков, что делает S_i информативным для оценки атмосферной засушливости.

При анализе динамики S_i выявлено, что значимые линейные тренды есть на всех трех станциях с июня по сентябрь включительно. Коэффициент детерминации находится в пределах 0,07–0,3 при пороговом значении 0,06. Для остальных месяцев тренд неустойчив, но все же наблюдается положительная тенденция.

За 59 лет выявлено 27 случаев сильных засух, наблюдавшихся раз в 10 лет, а в последние два десятилетия в среднем 1 раз в 3–5 лет во все месяцы, за исключением августа и до 2012 г. только на какой-то из трех станций. Однако с 2012 г. засухи отмечаются одновременно на всех станциях либо поочередно в соседние месяцы на разных станциях. В 2024 г. сильная засуха на всех трех станциях в апреле и июле, $S_i > 4$, температурные аномалии до 5 °C и выше. Осадков в Симферополе не было вовсе, в Феодосии – 29 %, а в Керчи – 2 % относительно нормы.

До начала XXI столетия повторяемость средних засух ($S_i = 2–3$) была 2–3 раза в десятилетие, но с начала 2000-х они фиксировались почти ежегодно во все месяцы. С 2007 г. средние засухи длятся более двух месяцев подряд. В мае отмечалась засуха на всех станциях: осадков выпало 7–20 %, температурная аномалия до 2,1 °C, а $S_i = 2,5$. В июне во время засухи в Феодосии не было осадков, а в Керчи осадков было 13 % от нормы с аномалиями температуры выше 2 °C. В июле же вновь засуха на трех станциях с аномалией температуры до 2,3 °C и осадками 5–16 % от нормы. Похожая история была в 2012, 2018, 2023, 2024 гг.

Количество слабых засух заметно увеличилось с начала 2000-х годов. Осадков выпадало до 85 % при аномалиях температуры менее 2 °С. В последние десятилетия слабые засухи следуют или предшествуют сильным и средним засухам, чередуясь с ними помесечно и создавая непрерывную цепочку засух, что стало причиной «сухих» теплых периодов. Примером служат 2007, 2012–2014, 2018–2020, 2023–2024 гг.

В целом заметно проявляется устойчивая тенденция к увеличению засух разной степени силы, причем они становятся длиннее по времени их действия и по охвату территории. А цепочки засух разной силы приносят существенный вред. Тенденция к образованию засух весьма устойчива. Особенно сильные засухи происходят в начале весны. Коэффициент засушливости для сильных засух увеличился с 3,2 до 4,1.

Работа выполняется в рамках Государственного задания по теме FNNN-2024-0014 «Взаимодействие океана и атмосферы».

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. Керчь.

ВНИИГМИ-МЦД – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных», г. Обнинск.

ВНИИМ им. Д.И. Менделеева – Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им.Д.И. Менделеева», г. Санкт-Петербург.

ВНИРО – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», г. Москва.

ГЕОХИ РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции «Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук», г. Москва.

ГОИН – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова», г. Москва.

ГУМРФ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова», г. Санкт-Петербург.

ДальНИИВХ – Дальневосточный филиал ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», г. Владивосток.

Дальрыбвтуз – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный технический рыбо-хозяйственный университет», г. Владивосток.

ДВФУ – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный федеральный университет», г. Владивосток.

ДонГУ – Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Донецкий государственный университет», г. Донецк.

ЗАО МКИС – Закрытое акционерное общество «Морские комплексы и системы», г. Санкт-Петербург.

ИАПУ ДВО РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Владивосток.

ИВМ РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт вычислительной математики имени Г.И. Марчука Российской академии наук», г. Москва.

ИМЗ СО РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова Сибирского отделения Российской академии наук», г. Якутск.

ИнБЮМ – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь.

Институт Карпинского – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского», г. Санкт-Петербург.

ИО РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук», г. Москва.

ИПМ РАН – Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук», г. Москва.

ИПТС – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт природно-технических систем», г. Севастополь.

ИФА РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук», г. Москва.

КамчатНИРО – Камчатский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», г. Петропавловск-Камчатский.

КаспМНИЦ – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Каспийский морской научно-исследовательский центр», г. Астрахань.

КФУ – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», г. Симферополь.

МАУ – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Мурманский арктический университет», г. Мурманск.

МГИ – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН», г. Севастополь.

МГПУ – Государственное автономное образовательное учреждение высшего образования города Москвы «Московский городской педагогический университет», г. Москва.

МГТУ им. Н.Э. Баумана – Федеральное государственное автономное 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.

МИРЭА – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет», г. Москва.

ММБИ – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Мурманский морской биологический институт Российской академии наук», г. Мурманск.

МПГУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский педагогический государственный университет», г. Москва.

Московский центр фундаментальной и прикладной математики, г. Москва.

НГТУ им. Р.Е. Алексеева – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород.

ООО «Арктический научный центр» – общество с ограниченной ответственностью «Арктический научно-проектный центр шельфовых разработок», г. Москва.

ООО «ГЕОСКАН», г. Санкт-Петербург.

ООО «Марлин-Юг», г. Севастополь.

ООО «Экосервис А», г. Москва.

РГГМУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург.

СахГУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сахалинский государственный университет, г. Южно-Сахалинск.

СГУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение Высшего образования «Сочинский государственный университет», г. Сочи.

Севастопольский центр туризма, краеведения, спорта и экскурсий учащейся молодежи – Государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного образования города Севастополя «Севастопольский центр туризма, краеведения, спорта и экскурсий учащейся молодежи», г. Севастополь.

СевГУ – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение Высшего образования «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь.

СО ГОИН – Севастопольское отделение Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова», г. Севастополь.

СПбГУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург.

ТОИ ДВО РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук», г. Владивосток.

ЮНЦ РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук», г. Ростов-на-Дону.

ЮФУ – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет», г. Ростов-на-Дону.

Филиал МГУ в г. Севастополе – Филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» в г. Севастополе, г. Севастополь.

IFREMER (Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer) – Институт изучения и освоения моря, г. Брест, Франция.

OceanDataLab, Локмарья-Плузане, France.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Авакин И.О.	34
Ажогина Т.Н.	305
Акимов А.И.	313
Алексеев В.В.	36
Алексеев Д.В.	176, 210, 212
Алескерова А.А.	37, 44, 86, 282
Аникина Е.А.	100
Антипов Н.Н.	38, 83
Артамонов А.Ю.	183, 226, 276
Артамонов Ю.В.	117
Артамонова А.В.	40
Артамонова К.В.	38, 268
Архипкин В.С.	163, 190, 216
Астапкович А.М.	126
Атаджанова О.А.	40, 65, 69
Бабич М.С.	168
Бабич С.А.	168, 169, 223
Багаев А.В.	135, 228, 230, 259, 289
Багдасаров И.Е.	256
Бакуева Я.И.	42, 43
Барабанов В.С.	133, 210
Батраков Г.Ф.	261
Башарин Д.В.	197, 223
Баянкина Т.М.	149, 197
Безгин А.А.	110
Белоконь А.Ю.	135, 210, 212
Белокопытов В.Н.	76, 137, 159, 160
Берзова И.Г.	233
Бобрик А.А.	256
Богатова Д.М.	232
Богуславский А.С.	233

Большиянов Д.Ю.	234
Бугук Г.М.	83
Будянский М.В.	116
Булыгин А.М.	141
Варварова А.О.	268
Вареник А.В.	246, 283, 285, 314
Варкентин А.И.	65
Васейкина Н.А.	236
Васечкина Е.Ф.	285, 287, 318
Василевская Л.Н.	139
Василевский Д.Н.	139
Василенко Н.В.	37, 44, 114
Вержевская Л.В.	135, 287, 289
Веркулич С.Р.	234
Вишнев О.Г.	141
Воронцов А.А.	24, 137, 141
Вязилов Е.Д.	24
Гавриков А.В.	183
Гаврилов Ю.Г.	45
Гайко Л.А.	142
Гайский П.В.	47, 48, 101, 237, 301
Гармашов А.В.	32, 49, 56
Гвоздева А.В.	51
Георга-Копулос А.А.	26
Герасимов В.В.	61
Глитко О.В.	107
Глухов В.А.	105, 107
Глухов Л.А.	144
Годин Е.А.	137
Горбанёв В.А.	146
Горбунов Р.И.	100
Гордеева С.М.	154
Горячкин Ю.Н.	137, 230

Грант Е.М.	238
Григоренко К.С.	82
Григорьев А.В.	179
Григорьев А.Г.	240
Григорьев М.Н.	242
Губарева Е.К.	238
Гуров К.И.	244, 246, 258
Гурова Ю.С.	246
Давидович А.Р.	48, 237
Давыдова Е.П.	115
Данова Т.Е.	149
Даньшина А.В.	53, 112
Дейнего И.Д.	151
Демидов А.Н.	168
Демьшев С.Г.	152, 157
Дешова Д.В.	154
Дианский Н.А.	209
Добродий В.А.	55, 169
Долгих Г.И.	56
Доронин Д.О.	248
Дулов В.А.	56
Дымов В.И.	36
Дымова О.А.	144, 152, 155, 157
Дьяков Н.Н.	251
Евстигнеев В.П.	250
Евстигнеева Н.А.	157
Ерёмина Е.С.	250
Еркушов В.Ю.	251
Ермолов А.А.	291
Ефименко Е.А.	253, 303
Ефимов В.В.	224
Жамойда В.А.	240
Жидкова Л.Б.	251

Жихарь Я.М.	58
Жук В.Р.	58, 59, 80
Жук Е.В.	159, 160, 174
Заболотских Е.В.	78
Завалишин Н.Н.	254
Завьялов Д.Д.	162
Загородняя Ю.А.	295
Захарова Е.В.	151
Зацепин А.Г.	61, 63
Зимин А.В.	65, 69, 126
Знаменский М.С.	128
Зубаревич В.Л.	268
Зубов А.Г.	221
Иванов В.В.	201, 268
Иванча Е.В.	210, 212
Ильин В.И.	51, 163
Исаев А.В.	69
Кажукало Г.А.	256, 291
Казаков С.И.	233
Казакова У.А.	38
Каменев О.Т.	56
Карпелянский А.О.	165
Карчава Ш.К.	307
Касьяненко Т.Е.	129
Кашин С.В.	38, 83, 119
Кизяков А.И.	34
Климова М.В.	307
Климова Т.Н.	259
Кобылянский В.В.	67, 87
Козлов И.Е.	40, 42, 55, 91, 93, 95, 109
Колабутин Н.В.	128
Коллар Ф.	122, 124
Коник А.А.	40, 65, 69

Коржуев В.А.	221
Кориненко А.Е.	70
Коробов П.В.	36
Коровушкин А.И.	49
Коротаев Г.К.	174, 214
Корчёмкина Е.Н.	72, 293
Котельянец Е.А.	258, 302
Котилевская А.М.	151
Котович Н.Г.	139
Кочергин В.С.	167
Кочергин С.В.	167
Красильников Д.С.	259
Красильников П.В.	256
Крашенинникова С.Б.	168, 223
Кременчуцкий Д.А.	261
Крыленко В.В.	263, 264
Крыленко М.В.	263, 264, 326
Крыленко С.В.	264
Кубряков А.А.	26, 37, 43, 44, 58, 59, 80, 101, 169, 173
Кубрякова Е.А.	43, 173
Кудинов О.Б.	131
Кудрявцев В.Н.	122, 124, 189
Кузнецов А.С.	265
Кузнецова О.В.	266
Кузьмичёва Т.Ф.	74
Куликов М.Е.	216
Куликовский К.В.	75
Куркин А.А.	27
Куркина О.Е.	27
Куссе-Тюз Н.А.	119
Ладыченко С.Ю.	116
Лазоренко Д.И.	135, 210, 212
Лановая О.Д.	305

Латушкин А.А.	32, 56
Лемешко Е.Е.	170
Лемешко Е.М.	121
Ли Р.И.	72
Лис Н.А.	171, 218
Лисина И.А.	139
Лихачева М.В.	75
Лишаев П.Н.	173
Лобанов В.Б.	116
Лукашова О.А.	76
Лукьянова О.Н.	268
Лунев Е.Г.	110
Лушников Д.Л.	67
Лысенко В.И.	270
Львова Е.В.	78
Любчик А.И.	129
Май Р.И.	45
Майборода С.А.	278, 320
Макаров А.С.	234
Макаров К.Н.	272
Макарова И.Л.	272
Макшанов А.В.	207
Малиновский В.В.	70
Манилюк Ю.В.	135
Манько А.А.	80
Маньковская Е.В.	81, 85
Марков А.А.	244
Маркова Н.В.	144
Марюшкин Ю.А.	103
Масевич А.В.	274
Матишов Г.Г.	29, 82
Медведев Е.В.	226, 276, 293
Медведев И.П.	163

Мезенцева И.В.	322
Мельник Д.Я.	65
Мельников Д.А.	24
Метик-Диунова В.В.	278, 320
Мизюк А.И.	80, 165, 169, 174, 192, 194, 214, 259
Миклашевская Н.А.	155
Михайличенко С.Ю.	176
Михайлов В.В.	316
Мищенко А.С.	177
Молчанов М.С.	83
Морковских А.Д.	280
Морозов А.Н.	81, 85
Морозов Е.А.	282
Морозова М.И.	179
Морозова О.А.	45
Морозова С.М.	181
Мукосеев И.Н.	226, 276
Мурзакова Ю.В.	63, 268
Мухаметов С.С.	51
Мысленков С.А.	181, 182
Мыслина М.А.	246, 283
Назаров Д.В.	284
Науменко И.П.	285, 287
Никишин В.В.	289
Новиков Б.А.	86, 282
Новикова Е.В.	183
Новицкая В.П.	87
Носова А.В.	198
Нуриев С.А.	228
Огородов С.А.	256, 291
Омельченко А.В.	292
Омельченко С.О.	292
Оноприенко В.А.	185

Орехова Н.А.	293
Павленко О.И.	186, 221
Павлов М.И.	186, 221
Павлушин А.А.	188
Павлушин В.А.	88
Пампей К.А.	70
Паничева Е.Д.	107
Папкова А.С.	89
Петренко Л.А.	40, 91, 93, 109
Петрова А.А.	119
Пиваев П.Д.	189
Пилик Д.И.	190
Пионтковский С.А.	295
Пластун Т.В.	129
Плотников Е.В.	93, 95
Погожева М.П.	297
Погребной А.Е.	96
Подымов И.С.	299
Подымов О.И.	63
Подымова Т.М.	299
Полиниченко А.Е.	307
Полозок А.А.	98, 210, 212
Полозок П.В.	98
Помогаева Т.В.	107
Пранц С.В.	116
Пузина О.С.	26, 192
Пузова Н.В.	24
Рабинович А.Б.	190
Разувай Т.А.	200
Ратнер Ю.Б.	174, 194, 214
Репина И.А.	183, 195
Романенков Д.А.	65
Романчук С.М.	100

Рубакина В.А.	101, 103, 114, 115
Рувинская Е.А.	27
Руднева И.И.	292, 301, 302
Румянцева Е.А.	253, 303
Рылькова А.О.	313
Рябцев Ю.Н.	121
Сазыкин И.С.	305, 307
Сазыкина М.А.	305, 307
Салюк А.Н.	116
Салюк П.А.	89
Самборский Т.В.	51
Санин А.Ю.	309
Свергун Е.И.	65, 105, 107, 126
Светашева Д.Р.	311
Седова Н.Б.	280
Сизов А.А.	197
Сильвестрова К.П.	63
Симонова Ю.В.	103, 129
Ситак Н.П.	93, 109
Скрипалева Е.А.	117
Слепышев А.А.	198, 199, 200
Смирнов А.В.	201, 203
Смирнов В.Н.	128
Смоляницкий В.М.	110, 112
Совга Е.Е.	258, 322
Соколов А.А.	201, 203
Соломаха Т.А.	162
Соломонова Е.С.	313
Софьина Е.В.	65
Спирина В.А.	297
Станичная Р.Р.	115
Станичный С.В.	26, 37, 44, 86, 114, 115
Стерлядкин В.В.	75

Сушкевич Т.А.	205
Тарасевич Д.В.	246, 314
Тепнин О.Б.	65
Терентьев А.С.	316
Толокнов Ю.Н.	49
Толстошеев А.П.	112
Торгунова Н.И.	268
Торхова М.Д.	51
Тындыкарь Л.Н.	207
Тюлькин Р.В.	209
Удалов А.А.	116
Удовик В.Ф.	230, 233
Фадеев В.А.	45
Фатеев Д.С.	240
Федирко А.В.	117
Федоров С.В.	86
Федотова А.А.	83, 119
Филиппова Т.А.	318
Фомин В.В.	209
Фомин В.В.	176, 210, 212, 244, 318
Фомина И.Н.	98
Хаймина О.В.	177
Хамицевич Н.В.	233, 278, 320
Хаммами М.И.	305, 307
Ханайченко А.Н.	259
Харитонов Л.В.	37, 86, 176, 210, 212, 282
Хлыстов В.А.	186
Хмара Т.В.	322
Хмелевцова Л.Е.	305
Холод А.Л.	26, 174, 194, 214
Хорошева А.С.	216
Хоружий Д.С.	324
Цыганова М.В.	121

Чанцев В.Ю.	53
Чернышова Е.Д.	223
Чернявская Е.А.	171, 218
Чечин Д.Г.	219
Чешм Сиахи В.	122, 124
Чистяков А.М.	326
Чистяков И.А.	83
Чупин В.А.	32, 56
Чуфицкий С.В.	100
Чухарев А.М.	186, 221
Шайда В.Г.	287, 292, 301, 302
Шайда О.В.	48, 301, 302
Шапрон Б.	122, 124
Шаратунова М.В.	34
Шарафутдинова Т.К.	107, 126
Швед Я.В.	119
Швец В.А.	32, 56
Шейкин И.Б.	128
Шестакова А.А.	219
Шибаета С.А.	251
Шик Н.В.	270
Шкаберда О.А.	137, 327
Шокуров М.В.	210
Шокурова И.Г.	129, 223
Шоман Н.Ю.	313
Шукало Д.М.	89
Щука А.С.	268
Юлин А.В.	34
Юровский Ю.Ю.	56, 131, 135
Яковенко С.В.	32, 56
Яковлев Н.Г.	185
Яковлева Н.П.	36
Яровая Д.А.	224

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Научное издание

**МОРЯ РОССИИ: ПРИОРИТЕТЫ,
ПРАКТИКА, ПРОГНОЗ**

Тезисы докладов

IX Всероссийской научной конференции

(Севастополь, 22–26 сентября 2025 г.)

Дизайн обложки *О. В. Домниной*

Верстка *Л. В. Вержевской*

Подписано в печать 1.09.2025. Формат 60×84 1/6. Тираж 171 экз.

Заказ 11.

Отпечатано в типографии СРОО «Дом солнца»
299020, Севастополь, ул. Хрусталева, 143, тел. +(8692) 65-60-11.