

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК



## ТЕЗИСЫ

Х ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

# МОРЯ РОССИИ:

СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ,  
ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ,  
ЭКОНОМИКА ДАННЫХ



МОРСКОЙ  
ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ  
ИНСТИТУТ



*Российская Академия Наук*



г. Севастополь

21 - 25 сентября 2026 г.

**Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации**

**Российская академия наук**

**Морской гидрофизический институт  
Российской академии наук**

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ  
Х ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ**

**МОРЯ РОССИИ:  
СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ,  
ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ,  
ЭКОНОМИКА ДАННЫХ**

**г. Севастополь**

**21–25 сентября 2026 года**



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

**RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES**

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

**X ALL-RUSSIAN SCIENTIFIC  
CONFERENCE**

**THE SEAS OF RUSSIA:  
STATE OF RESEARCH,  
INFORMATION RESOURCES,  
DATA ECONOMY**

**PROCEEDINGS**

**Sevastopol**

**Sevastopol, 21–25 September 2026**

**Моря России: состояние исследований, информационные ресурсы, экономика данных = The Seas of Russia: State of Research, Information Resources, Data Economy:** тезисы докладов X Всероссийской научной конференции, г. Севастополь, 21–25 сентября 2026 г. – Севастополь : ФГБУН ФИЦ МГИ, 2026. – 260 с. ; 21 см. – 150 экз. – ISBN 978-5-6056440-7-1. – Текст : непосредственный.  
ISBN 978-5-6056440-7-1

В сборнике представлены тезисы докладов X Всероссийской научной конференции «Моря России: состояние исследований, информационные ресурсы, экономика данных». Тематика докладов охватывает следующие вопросы: экспериментальные и теоретические исследования океанологических процессов; современные методы и средства контактных и дистанционных измерений; математическое моделирование физических и биохимических процессов; проблемы береговой зоны моря; взаимосвязь физических и биогеохимических процессов в морской среде; влияние изменения климата и антропогенного воздействия на состояние морской среды; морское приборостроение; 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. *Кубрякова Е.А.*, к. г. н. *Д. В. Башарин*,  
к. г. н. *Котельянец Е. А.*, к. г. н. *Н. А. Орехова*,  
к. т. н. *А. Л. Холод*, *Л. В. Вержевская*

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

## СОДЕРЖАНИЕ

### ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

|                                                                                                                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Воронцов А.А., Баталкина С.А., Булыгин А.М., Годин Е.А., Ингеров А.В., Нефедова Г.И.</i> Подготовка справочных пособий по Черному морю с применением ФГИС ЕСИМО на основе объединенной базы данных ФГБУН ФИЦ МГИ и ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»..... | 19 |
| <i>Григоренко К.С., Матишов Г.Г.</i> Термохалинная структура Азовского моря в современный период осолонения.....                                                                                                                              | 21 |
| <i>Иванов В.В., Фильчук К.В., Ковалев С.М.</i> Некоторые результаты океанологических исследований в экспедиции на ледостойкой самодвижущейся платформе «Северный полюс» в 2022–2024 гг. ....                                                  | 22 |
| <i>Орехова Н.А.</i> Поток CO <sub>2</sub> на границе с атмосферой в Черноморском регионе .....                                                                                                                                                | 23 |
| <i>Репина И.А., Чечин Д.Г.</i> Параметризация испарения с поверхности Каспийского моря и в дельте реки Волги .....                                                                                                                            | 25 |

### СЕКЦИЯ 1

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ МОРСКОЙ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ ДИСТАНЦИОННЫХ И КОНТАКТНЫХ МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА

|                                                                                                                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Артамонова К.В., Лукьянова О.Н., Гангнус И.А., Иванов В.В., Щука А.С., Сумкина А.А., Торгунова Н.И.</i> Пространственно-временная изменчивость гидролого-гидрохимических характеристик Баренцева и Карского морей..... | 27 |
| <i>Багаев А.В., Манилюк Ю.В., Лазоренко Д.И., Юровский Ю.Ю.</i> Исследование мезомасштабных колебаний уровня моря в Севастопольских бухтах по данным натурных наблюдений.....                                             | 29 |

|                                                                                                                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Баженова Е.С., Осадчиев А.А.</i> Двухслойная и трехслойная стратификация опресненного поверхностного слоя в морях российской Арктики.....                                                        | 30 |
| <i>Бакуева Я.И., Козлов И.Е., Молчанов М.С.</i> Механизмы генерации и параметры короткопериодных внутренних волн в Море Содружества по данным натурных и спутниковых наблюдений .....               | 32 |
| <i>Бакуева Я.И., Кубряков А.А., Кубрякова Е.А.</i> Роль динамических параметров вод в формировании концентрации хлорофилла «А» в районе плато Кергелен.....                                         | 33 |
| <i>Бондур В.Г., Дулов В.А., Козуб В.А., Мурынин А.Б., Юровский Ю.Ю.</i> Развитие метода дистанционного измерения двумерных спектров изменчивого морского волнения по спутниковым изображениям ..... | 34 |
| <i>Вязилова Н.А., Вязилов А.Е.</i> Индийский океанический диполь и его взаимосвязь с Эль-Ниньо .....                                                                                                | 35 |
| <i>Гаврилов Ю.Г., Морозова О.А., Май Р.И., Хотченков С.В.</i> Опыт определения деформации льда по данным РЛС НЭС «Северный полюс» .....                                                             | 37 |
| <i>Гибадуллина А.И., Соколичина Н.Н.</i> Условия обледенения судов в Арктической зоне Российской Федерации в XXI веке.....                                                                          | 39 |
| <i>Григорьев П.А., Дулов В.А., Кориненко А.Е.</i> Реконструкция вертикального профиля приповерхностного течения по видеосъемке морской поверхности .....                                            | 41 |
| <i>Данова Т.Е., Баянкина Т.М.</i> Синоптические условия формирования сильных ливневых осадков холодного сезона года в Крыму.....                                                                    | 42 |
| <i>Даньшина А.В., Чанцев В.Ю.</i> Пространственно-временное распределение неоднородностей теплозапаса и солезапаса вод Северного Ледовитого океана .....                                            | 44 |
| <i>Ерёмина Е.С., Станичный С.В.</i> Изменчивость оптических характеристик залива Сиваш после перекрытия Северо-Крымского канала по спутниковым данным .....                                         | 46 |

|                                                                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Жихарь Я.М., Жук В.Р.</i> Пространственно-временная изменчивость поверхностного опреснённого слоя Карского моря по спутниковым измерениям и данным моделирования.....                                     | 48 |
| <i>Жмур В.В., Травкин В.С., Белоненко Т.В., Красильников Д.С., Фомин Ю.В.</i> Определение агеострофической компоненты морских течений при помощи спутниковой альтиметрии.....                                | 49 |
| <i>Жук В.Р., Петренко В.И., Ситак Н.П., Добродий В.А., Манько А.А.</i> Алгоритм автоматической сегментации ледового покрова по данным Sentinel-1 в Баренцевом и Карском морях.....                           | 51 |
| <i>Зацепин А.Г., Герасимов В.В.</i> О расслоении линейно-стратифицированной по солености водной среды под влиянием бокового нагрева (лабораторный эксперимент).....                                          | 52 |
| <i>Ильяшенко Е.Ф., Землянов И.В., Горелиц О.В.</i> Испарение. От традиционной методики к современным методам оценки испарения с акватории Каспийского моря.....                                              | 54 |
| <i>Козлов И.Е., Копышов И.О., Бетке И.А., Морозов А.Н., Фер И.</i> Интенсивные внутренние волны на склоне Берингова моря и их влияние на вертикальный турбулентный обмен .....                               | 55 |
| <i>Козлов И.Е., Копышов И.О., Коржуев В.А., Гайский П.В., Шутов С.А.</i> Приливная динамика и турбулентное перемешивание в проливе Великая Салма Белого моря.....                                            | 57 |
| <i>Кузнецов А.С.</i> Закономерности сезонной изменчивости вертикальной структуры прибрежного течения на Черноморском гидрофизическом подспутниковом полигоне.....                                            | 58 |
| <i>Кузьмичёва Т.Ф.</i> О реакции поверхности Малого Аральского моря на соле-пылевые бури, вызванные северо-восточными ветрами (результаты анализа оптических данных, полученных со спутников AQUA/TERRA) ... | 59 |



|                                                                                                                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Лемешко Е.Е., Лемешко Е.М.</i> Индексы циркуляции для оценки интенсивности Основного Черноморского течения по данным альтиметрии.....                                                         | 61 |
| <i>Логачёв В.Н., Марьина А.А., Румянцев К.А., Светличный А.С.</i> О Результатах синхронных прямых и косвенных измерений скорости звука в морской воде .....                                      | 62 |
| <i>Львова Е.В., Заболотских Е.В.</i> Изменчивость положения кромки льда в Кандалакшском заливе Белого моря в зимние сезоны 2024/25 и 2025/26 гг. и её связь с метеорологическими условиями ..... | 64 |
| <i>Манько А.А., Жук В.Р., Кубряков А.А., Мизюк А.И.</i> Сравнение продуктов сплочённости морского льда в Карском море со спутниковыми данными AMSR2 за 2022–2024 .....                           | 65 |
| <i>Маньковская Е.В., Корчёмкина Е.Н.</i> Пространственно-временная изменчивость коэффициента яркости толщи вод в прибрежно-шельфовой зоне Черного моря по данным измерений 2002–2025.....        | 66 |
| <i>Морозов А.Н., Маньковская Е.В.</i> Пространственная изменчивость температуры воды в глубинных слоях Черного моря по данным современных экспедиций.....                                        | 67 |
| <i>Морозов Е.А.</i> Восстановление поверхностной солёности воды в Черном море по спутниковым данным видимого диапазона.....                                                                      | 69 |
| <i>Новицкая В.П., Новицкий А.В., Нуриев С.А.</i> Межгодовая изменчивость характеристик холодного промежуточного слоя в прибрежной зоне Южного Берега крима (1993–2025 гг.) .....                 | 70 |
| <i>Новицкий А.В.</i> Особенности зимней динамики течений на шельфе Крима по данным натурных ADCP-измерений .....                                                                                 | 71 |
| <i>Павлушин В.А.</i> Кластеризация водных масс юго-восточной части Атлантического океана на основе данных реанализа Glorys за период 1993–2020 гг.....                                           | 72 |

|                                                                                                                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Панов Д.К., Дронов М.П., Юровский Ю.Ю.</i> Оценка параметров ветровых волн по качке судна в режиме попутных наблюдений .....                                                                                                      | 73 |
| <i>Петренко Л.А.</i> Особенности водообмена через пролив Хинлопена (арх. Шпицберген).....                                                                                                                                            | 75 |
| <i>Полозок А.А., Полозок П.В., Фомина И.Н.</i> Условия возникновения штормовых ситуаций в районе морской станции Черноморское.....                                                                                                   | 76 |
| <i>Рубакина В.А., Симонова Ю.В., Кубряков А.А., Гайский П.В.</i> Изучение апвеллингов по данным термопрофилемера в 2021–2023 гг. в районе ЮБК.....                                                                                   | 78 |
| <i>Ситак Н.П., Петренко Л.А.</i> Динамика морского льда в Обь-Енисейском устьевом регионе (по спутниковым данным высокого разрешения) .....                                                                                          | 80 |
| <i>Смоляницкий В.М., Данышина А.В., Ревина А.Д.</i> Сезонное климатическое обслуживание Арктики и Антарктики в рамках региональных климатических центров ВМО.....                                                                    | 81 |
| <i>Станичный С.В., Василенко Н.В., Медведева А.В.</i> Выявление зон цветения фикоэритроцианин содержащего фитопланктона в Таганрогском заливе по спутниковым измерениям.....                                                         | 83 |
| <i>Травкин В.С., Белоненко Т.В.</i> Анализ характеристик морских волн тепла Берингова моря за 1993–2022 гг.....                                                                                                                      | 85 |
| <i>Федоров С.В., Станичный С.В., Алескерова А.А., Харитонова Л.В., Руднев В.И.</i> Определение глубин прибрежной зоны в районе Бакальской косы по данным Sentinel-2/MSI с применением двухканальной калибровки ....                  | 87 |
| <i>Хамицевич Н.В., Майборода С.А., Казаков С.И., Метик-Дионова В.В., Богуславский А.С.</i> Межгодовая, сезонная и суточная изменчивость атмосферных осадков на примере Черноморского гидрофизического подспутникового полигона ..... | 89 |

|                                                                                                                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Чересов А.А., Шкаберда О.А.</i> Сравнительный анализ двух блокингов и оценка их влияния на экстремальные температурные режимы в Черноморском регионе.....                                                       | 91 |
| <i>Шибанов Е.Б., Папкова А.С.</i> О необходимости нового подхода к атмосферной коррекции спутниковых данных над Чёрным морем в условиях низких высот солнца с перспективой его применения для арктических вод..... | 94 |
| <i>Шукало Д.М., Шульга Т.Я.</i> Сравнительная характеристика доступных спутниковых систем измерений солёности Чёрного моря.....                                                                                    | 96 |

## СЕКЦИЯ 2

### «ОПЕРАТИВНАЯ ОКЕАНОЛОГИЯ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МОРСКИХ СИСТЕМАХ»

|                                                                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Анкудинов Н.О., Слепышев А.А.</i> Влияние внутренних волн на формирование вертикальной тонкой структуры .....                                                 | 98  |
| <i>Барабанов В.С.</i> Кавказские вихри в апреле–июне 2026 г. в атмосфере над Черным морем по данным динамического моделирования и нейросети .....                | 100 |
| <i>Белокопытов В.Н., Жук Е.В., Коротаев Г.К.</i> Соотношение вертикальных и горизонтальных смещений водных масс в основном пикноклине Черного моря.....          | 101 |
| <i>Георга-Копулос А.А.</i> Перспективы использования средств оперативной океанографии в системе управления кризисными ситуациями в акваториях морей России ..... | 102 |
| <i>Довгая С.В., Манилюк Ю.В., Фомин В.В.</i> Моделирование сейшевых колебаний в смежных бухтах .....                                                             | 104 |
| <i>Дорофеев В.Л., Сухих Л.И.</i> Оценка влияния способов задания атмосферного воздействия на результаты моделирования циркуляции Черного моря.....               | 106 |
| <i>Дымова О.А., Глухов Л.А.</i> Исследование механизмов изменения термохалинного режима Черного моря в 2011–2021 гг. ....                                        | 108 |

|                                                                                                                                                                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Евстигнеева Н.А., Демышев С.Г.</i> Развитие программного комплекса для восстановления гидрофизических полей высокого горизонтального разрешения в прибрежной зоне Черного моря с ассимиляцией гидрологических данных.....              | 109 |
| <i>Жук Е.В.</i> Система доступа к океанографическим данным ФГБУН ФИЦ МГИ.....                                                                                                                                                             | 111 |
| <i>Жук Е.В., Мизюк А.И., Холод А.Л., Вецало М.П., Карпелянский А.О.</i> Регрессионная модель для восстановления термохалинной структуры вод Черного моря.....                                                                             | 113 |
| <i>Казаков Д.А.</i> Применение библиотеки oceananigans.jl для одномерного моделирования гидрофизических полей Черного моря: сравнительный анализ параметризаций турбулентного обмена с учетом механизма диапикнической вентиляции .....   | 114 |
| <i>Коржуев В.А., Козлов И.Е., Кубряков А.А.</i> Микро-структурная турбулентность и ее пространственно-временная декорреляция в проливе Карские Ворота: натурные измерения и негидростатическое моделирование MITgcm.....                  | 115 |
| <i>Кочергин В.С., Кочергин С.В.</i> Моделирование распространения загрязнений от точечного импульсного источника в Азовском море.....                                                                                                     | 118 |
| <i>Краевская Н.Ю., Дулов В.А., Шокуров М.В., Юровский Ю.Ю., Каменев О.Т.</i> Бризовые вариации ветрового волнения на Южном берегу Крыма.....                                                                                              | 119 |
| <i>Кубряков А.А., Георга-Копулос А.А., Мизюк А.И., Холод А.Л., Станичный С.В., Кременчуцкий Д.В.</i> Трёхмерное распространение и осаждение мазута в водах Чёрного моря на основе усовершенствованной модели нефтяных разливов FOTS ..... | 121 |
| <i>Лишаев П.Н., Кубряков А.А., Кубрякова Е.А.</i> Воздействие вихревой динамики на пространственное распределение фитопланктона в Черном море: анализ результатов численного моделирования .....                                          | 123 |

|                                                                                                                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Манько А.А., Жук В.Р., Кубряков А.А., Мизюк А.И.</i><br>Сравнение продуктов сплочённости морского льда в<br>Карском море со спутниковыми данными AMSR2 за 2022–<br>2024 .....                             | 124 |
| <i>Маркова Н.В., Глухов Л.А.</i> Динамическая структура вод<br>вблизи северо-западного материкового склона Чёрного<br>моря.....                                                                              | 126 |
| <i>Михайличенко С.Ю., Харитонова Л.В.</i> Оценка наката<br>ветровых волн на разнотипные береговые профили<br>северной стороны Севастополя.....                                                               | 128 |
| <i>Онищенко Н.С., Шокуров М.В.</i> LES-моделирование<br>конвективного атмосферного пограничного слоя над<br>морем .....                                                                                      | 130 |
| <i>Павлушин А.А.</i> Роль неустойчивости Основного Черно-<br>морского течения в формировании крупномасштабной<br>циркуляции Чёрного моря .....                                                               | 132 |
| <i>Петренко В.И.</i> Сравнительный анализ влияния входных<br>параметров на результаты обучения нейронной сети для<br>бинарной сегментации SAR снимков.....                                                   | 132 |
| <i>Погребной А.Е.</i> Короткопериодная изменчивость скорости<br>ветра в акватории Гренландского и Норвежского морей по<br>данным ERA-5 .....                                                                 | 134 |
| <i>Пузина О.С.</i> Воспроизведение распространения нефте-<br>продуктов с учетом дрейфа Стокса на примере аварии<br>возле Керченского пролива .....                                                           | 136 |
| <i>Ратнер Ю.Б., Мизюк А.И., Холод А.Л., Мамчур Н.Л.</i><br>Разработка и тестирование метода обнаружения аномалий<br>вертикальных профилей температуры воды в верхнем 500-<br>метровом слое Чёрного моря..... | 137 |
| <i>Саенко Н.Е., Ившин В.А., Фёдоров А.А.</i> Опыт применения<br>данных динамических моделей в анализе вертикального<br>распределения скорости звука на акватории Баренцева<br>моря.....                      | 139 |

|                                                                                                                                                                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Слепышев А.А., Трофимова А.А.</i> Широтная изменчивость дисперсии внутренних волн в нетрадиционном приближении.....                                                                                                                      | 141 |
| <i>Соколов А.А., Иванов В.В., Смирнов А.В.</i> Крупномасштабная структура и изменчивость адвективного теплообмена между акваториями Северного Ледовитого океана по данным океанского реанализа GLORYS12V1 .....                             | 142 |
| <i>Сушкевич Т.А.</i> Эпоха Келдыша: «Фултонская речь» У.Черчилля и «Лунная речь» Д.Кеннеди – триггеры конкуренции СССР и США в покорении космоса.....                                                                                       | 144 |
| <i>Тюлькин Р.В., Дианский Н.А., Фомин В.В.</i> Оперативная оценка и прогноз дрейфа объектов на акватории Азовского моря с применением лагранжевой модели и методов машинного обучения.....                                                  | 147 |
| <i>Харитонова Л.В., Фомин В.В., Алексеев Д.В., Лазоренко Д.И., Иванча Е.В.</i> Алгоритм расчета динамики донных отложений, загрязненных мазутом, под влиянием ветроволнового воздействия на примере Прикерченского района Черного моря..... | 149 |
| <i>Холод А.Л., Коротаев Г.К., Белокопытов В.Н.</i> Анализ трехмерных полей температуры Мирового океана, восстановленных регрессионным методом, на синоптических масштабах .....                                                             | 151 |
| <i>Цыганова М.В., Лемешко Е.М., Рябцев Ю.Н.</i> Взаимодействие плюмов от различных рукавов реки на примере дельты Дуная .....                                                                                                               | 152 |
| <i>Яровая Д.А., Ефимов В.В.</i> Анализ водообмена в Керченском проливе на основе моделирования с высоким пространственным разрешением .....                                                                                                 | 153 |

### СЕКЦИЯ 3 «МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИБРЕЖНОЙ И ШЕЛЬФОВОЙ ЗОН МОРЯ»

|                                                                                                                                                                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Алексеева Е.Е., Юровский Ю.Ю.</i> ГНСС-рефлектометрия морской поверхности в условиях стационарной океанографической платформы .....                                                                              | 155 |
| <i>Антоненков Д.А.</i> Бесконтактный мониторинг стока малых рек Крыма с использованием метода цифровой трассерной визуализации .....                                                                                | 157 |
| <i>Багаев А.В., Вержевская Л.В.</i> Современное состояние изученности пластикового загрязнения береговой зоны Чёрного моря.....                                                                                     | 158 |
| <i>Большаинов Д.Ю., Макаров А.С., Правкин С.А.</i> Динамика побережий и островов моря Лаптевых в прошлом и настоящем .....                                                                                          | 160 |
| <i>Бортин Н.Н., Василевский Д.Н., Лисина И.А., Василевская Л.Н.</i> Анализ атмосферного выпадения микрочастиц и микропластика на акваторию и водосборную территорию Залива Петра Великого .....                     | 162 |
| <i>Бортин Н.Н., Горчаков А.М.</i> Особенности водного режима и экологическое состояние бухты Золотой Рог (Приморский край) .....                                                                                    | 164 |
| <i>Букатов А.А., Вахонеев В.В., Глазунов В.В., Задорожный-Ремарчук Е.Е.</i> Разработка методики диагностики рисков разрушения объектов культурного наследия в условиях прибрежной зоны Херсонеса Таврического ..... | 167 |
| <i>Вареник А.В., Гуров К.И.</i> Составляющие бюджета биогенных элементов в Севастопольской бухте .....                                                                                                              | 169 |
| <i>Васечкина Е.Ф., Науменко И.П.</i> Температурная зависимость скорости фотосинтеза макроводорослей <i>Ulva</i> и <i>Ericaria</i> .....                                                                             | 170 |
| <i>Василенко Н.В., Алескерова А.А., Харитоновна Л.В., Станичный С.В.</i> Изменчивость морфометрических характеристик кос Азовского моря по спутниковым измерениям.....                                              | 172 |

|                                                                                                                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Воронцов А.А., Булыгин А.М., Вишнев О.Г.</i> Содержание растворенного кислорода в черном море по данным измерений профилирующими буями «ARGO» .....                   | 173 |
| <i>Гайский П.В.</i> Программные алгоритмы отображения телеметрических измерений термопрофилемерами.....                                                                  | 175 |
| <i>Гайский П.В., Козлов И.Е., Шутлов С.А., Копышов И.О., Давидович А.Р.</i> Испытания распределенных термопрофилемеров в условиях подледных измерений .....              | 176 |
| <i>Григорьев А.Г.</i> Закономерности распределения основных природных и техногенных радионуклидов в донных осадках акватории восточной части Финского залива .....       | 177 |
| <i>Долотов В.В., Горячкин Ю.Н., Ефремова Т.В.</i> Электронная интерактивная версия кадастра берегов Крыма 1988 г.....                                                    | 179 |
| <i>Дронов М.П., Панов Д.К., Юровский Ю.Ю.</i> Практическая методика анализа дисперсии ветровых волн для оценки поверхностных течений .....                               | 181 |
| <i>Еркушов В.Ю., Дьяков Н.Н., Жидкова Л.Б.</i> Гидролого-гидрохимический режим прибрежных вод природного парка «Караларский» (Азовское море).....                        | 183 |
| <i>Ефимова М.А.</i> Разработка бюджетного лабораторного флуориметра с открытой архитектурой .....                                                                        | 185 |
| <i>Казакова У.А., Полухин А.А.</i> Гидрохимические характеристики вод арктических морей.....                                                                             | 187 |
| <i>Коржуев В.А., Чухарев А.М., Казаков Д.А.</i> Стандартизация обработки микроструктурных измерений по алгоритму АТОМIX .....                                            | 189 |
| <i>Котельянец Е.А.</i> Экологические характеристики донных отложений бухты Ласпи (Черное море) .....                                                                     | 191 |
| <i>Кременчуцкий Д.А., Гуров К.И.</i> Пространственная изменчивость содержания природных и техногенных радионуклидов в донных отложениях северной части Черного моря..... | 192 |



|                                                                                                                                                                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Кудинов О.Б., Керимов А.А.</i> Исследование метрологических характеристик термопреобразователя сопротивления ПТР-046 как опорного датчика для разработки температурного канала СТД-зондов.....             | 194 |
| <i>Лакно О.В., Анисимов И.М.</i> Классификация типов грунта по данным синхронной видео- и гидролокционной съемки для картографирования донных экосистем.....                                                  | 196 |
| <i>Лелеко Н.А., Дёмин А.Е., Коробейников А.А., Монаков И.Р., Кубряков А.А.</i> Геоинформационные технологии для мониторинга и анализа изменчивости температуры вод в районе основных пляжей Черного моря..... | 197 |
| <i>Лунев Е.Г., Толстошеев А.П., Безгин А.А., Остроумов Л.В., Люберец Е.П., Покидайло С.Л.</i> Автономный гидрологический буй для морских прибрежных наблюдений .....                                          | 199 |
| <i>Лысенко В.И., Шик Н.В.</i> Следы современной и древней углеводородной дегазации в прибрежной зоне от мыса Константиновский до мыса Лукулл (западный берег Крыма).....                                      | 201 |
| <i>Макаров К.Н.</i> Причины разрушений набережной в поселке Лоо г. Сочи и мероприятия по их предотвращению .....                                                                                              | 203 |
| <i>Маркова В.С., Поспелова Н.В., Приймак А.С.</i> Сезонная динамика вредоносных микроводорослей в районах марикультуры в прибрежье Крыма (Черное море) .....                                                  | 205 |
| <i>Матвеева И.С., Коршенко А.Н., Жохова Н.В., Дьяков Н.Н., Еркушов В.Ю.</i> Металлы в биоте севавтопольских бухт .....                                                                                        | 207 |
| <i>Мезенцева И.В., Совга Е.Е., Хмара Т.В.</i> Самоочистительная способность экосистемы Ялтинского порта в отношении минерального фосфора .....                                                                | 209 |
| <i>Миньковская Р.Я., Демидов А.Н.</i> Влияние низкой межени на солёность воды устья реки Чёрной.....                                                                                                          | 210 |
| <i>Мукосеев И.Н., Медведев Е.В.</i> Региональная поправка к расчёту рСО <sub>2</sub> для поверхностных вод Чёрного моря.....                                                                                  | 213 |
| <i>Наривончик С.В.</i> Оценка изменчивости русловых процессов в устьях рек Бельбек и Качи.....                                                                                                                | 215 |

|                                                                                                                                                                                                                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Никишин В.В., Багаев А.В., Кобылянский В.В.</i> Модернизация и апробация беспилотного надводного аппарата для прибрежных гидрографических исследований .....                                                                                               | 216 |
| <i>Погожева М.П., Грант Е.М., Спирина В.А., Иванова В.А.</i> Загрязнение береговым мусором о. Ягры .....                                                                                                                                                      | 218 |
| <i>Поспелов С.С., Крашенинникова С.Б., Мельников В.В., Чудиновских Е.С., Бабич С.А., Андреев Т.И., Баширова А.Ю., Завьялов А.В.</i> Связь распределения хлорофилла-А и фитопланктона с фронтальной и вихревой динамикой вод западной части Тихого океана..... | 220 |
| <i>Разувай Т.А., Дулов В.А., Чупин В.А., Латушкин А.А., Гармашов А.В., Юровский Ю.Ю., Швец В.А., Яковенко С.В., Каменев О.Т.</i> Высокоточный лазерный интерферометрический деформограф на Черноморском гидрофизическом полигоне .....                        | 221 |
| <i>Рогожкин Н.А., Мельников В.В., Крашенинникова С.Б., Серегин С.А., Попова Е.В., Поспелова Н.В.</i> Количественное распределение размерных фракций зоопланктона в зоне Лофотенского вихря в зимний период .....                                              | 223 |
| <i>Розвадовский А.Ф., Юровский Ю.Ю.</i> Использование микроконтроллеров ESP32 в струнных волнографах .....                                                                                                                                                    | 224 |
| <i>Руднева И.И., Котельянец Е.А., Шайда В.Г., Шайда О.В.</i> Оценка загрязнения приморских соленых водоемов Крыма токсичными элементами с помощью видов-биоиндикаторов .....                                                                                  | 225 |
| <i>Румянцева Е.А., Ефименко Е.А.</i> Система управления рисками в прибрежной Арктической зоне РФ: от идентификации угроз к минимизации ущербов .....                                                                                                          | 226 |
| <i>Сафонов В.А., Дьяков Н.Н., Жияев С.А., Воронин П.П., Клименко А.Е.</i> Энергия с глубин.....                                                                                                                                                               | 228 |

|                                                                                                                                                                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Станичный С.В., Алескерова А.А., Василенко Н.В.</i> Оценка площади затопления и долгосрочная динамика прибрежной зоны Чёрного моря после разрушения Каховской ГЭС по данным спутников Sentinel-2 и Landsat-8/9 ..... | 230 |
| <i>Темирбулатова Л.Г., Литвинов В.А.</i> Исследование влияния противообледенительной жидкости, используемой в авиации, на воды бассейна реки Амур и акватории Охотского моря .....                                      | 232 |
| <i>Терентьев А.С.</i> Изменение трофической структуры зообентоса Керченского пролива по мере снижения уровня его развития .....                                                                                         | 234 |
| <i>Хамицевич Н.В., Богуславский А.С., Казаков С.И., Берзова И.Г.</i> Антропогенные изменения морфолито-динамических характеристик Южного берега Крыма на примере участка береговой линии Кацивели–Понизовка .....       | 236 |
| <i>Харитонов Л.В., Горячкин Ю.Н., Новиков Б.А.</i> Фитогенные берега северо-западного побережья Крыма .....                                                                                                             | 237 |
| <i>Харитонов Л.В., Горячкин Ю.Н., Фомин В.В., Багаев А.В., Лазоренко Д.И., Новиков Б.А., Алексеев Д.В.</i> Исследование динамики береговой зоны бухты Круглая, г. Севастополь, Чёрное море .....                        | 238 |
| <i>Шайда О.В., Руднева И.И., Шайда В.Г.</i> Система для экотоксикологических исследований и культивирования гидробионтов .....                                                                                          | 240 |
| <i>Шкаберда О.А., Ефимов И.Г.</i> Программный комплекс визуализации прогностических гидрометеорологических величин для ВС РФ .....                                                                                      | 241 |
| <i>Юровский Ю.Ю., Панов Д.К., Дронов М.П.</i> Постобработка ГНСС-измерений в приложении к океанографическим задачам .....                                                                                               | 244 |
| Перечень организаций .....                                                                                                                                                                                              | 246 |
| Авторский указатель .....                                                                                                                                                                                               | 252 |

## ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

### ПОДГОТОВКА СПРАВОЧНЫХ ПОСОБИЙ ПО ЧЕРНОМУ МОРЮ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФГИС ЕСИМО НА ОСНОВЕ ОБЪЕДИНЕННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ФГБУН ФИЦ МГИ И ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»

Воронцов А.А. <sup>1✉</sup>, Баталкина С.А. <sup>1</sup>, Булыгин А.М. <sup>1</sup>,  
Годин Е.А. <sup>2</sup>, Ингеров А.В. <sup>2</sup>, Нефедова Г.И. <sup>1</sup>

<sup>1</sup> ВНИИГМИ-МЦД, г. Обнинск

<sup>2</sup> МГИ, г. Севастополь

✉ [av10921@meteo.ru](mailto:av10921@meteo.ru)

**Ключевые слова:** Черное море, база океанографических данных, бюллетень, морской климатический справочник.

В настоящее время в рамках договора о творческом сотрудничестве между ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» и ФГБУН ФИЦ МГИ завершено формирование объединенной базы океанографических данных по Черному морю, которая относится к числу самых полных и включает данные, полученные на НИС не только России, но и Болгарии, Румынии, Турции и других стран за более чем столетний период.

Для решения задач, сопутствующих активному развитию различных видов морской деятельности, требующих различной информационной поддержки, нужны не только оперативные, но и справочные и режимно-климатические данные по различным районам работ, в том числе по Черному морю.

В ФГИС ЕСИМО в рамках ее модернизации создана и развивается подсистема информационного производства, которая включает не только полноценную базу данных, но и полный комплекс динамически работающих программ получения режимно-справочных характеристик и формирования регламентированной

выходной продукции. После подключения объединенной базы океанографических данных по Черному морю в базу интегрированных данных ЕСИМО, подсистема информационного производства дала возможность создавать режимно-справочные пособия более мобильными в плане усвоения новых данных и в плане получения актуальных расчетных характеристик. Среди справочных пособий можно отметить ежегодно издаваемый в электронном и печатном виде Бюллетень гидрометеорологического состояния Черного моря, электронный Атлас Черного моря, новый морской климатический справочник (МКС) для повышения эффективности информационного обеспечения морской деятельности, который появился как результат анализа потребностей пользователей гидрометеорологической информации, положений различных РД и рекомендаций ВМО по климатическому обслуживанию. МКС включает как общепринятые нормы, экстремальные значения, характеристики долгопериодной изменчивости, так и назначаемые руководствами ВМО по климатическому обслуживанию, нормативными документами по строительству (СНИП), РД по проектированию объектов в прибрежной зоне, морским операциям и др. Более того, новый МКС позволяет обеспечивать адаптацию к изменениям климата, поскольку в последние десятилетия отмечается заметный тренд в климатических характеристиках.

Необходимо отметить, что режимная информационная продукция о состоянии морей РФ используется при решении практических задач в целом ряде областей государственного управления и экономической деятельности (охрана окружающей среды, фундаментальные и стратегические исследования, гидрографические изыскания и картографирование, судоходство, буксировка и навигация, портовые операции, подводное плавание, оборона, спасательная служба, в том числе защита от наводнений, строительство, включая строительство морских платформ и других сооружений, прокладка кабелей и трубопроводов, производство энергии, разведка и добыча природных ресурсов, рыболовство и др.).

Работа выполнена в рамках договора «О творческом сотрудничестве между ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» и ФГБУН ФИЦ МГИ и государственных заданий на НИТР.

## ТЕРМОХАЛИННАЯ СТРУКТУРА АЗОВСКОГО МОРЯ В СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД ОСОЛОНЕНИЯ

Григоренко К.С.<sup>1✉</sup>, академик Матишов Г.Г.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ЮНЦ РАН, г. Ростов-на-Дону

<sup>2</sup> ММБИ, г. Мурманск

✉ klim\_grig@mail.ru

**Ключевые слова:** Азовское море, осолонение, цикличность климата, фронт солености.

Вертикальные разрезы солености от устья Дона (0 км) до Керченского пролива, построенные по результатам судовых съемок ЮНЦ РАН в 2024–2025 гг., характеризуют Азовское море в современный период осолонения. Распределение кардинально отличается от состояния, описанного в климатическую эпоху распреснения моря. Даже с учетом относительного понижения солености за счет зимне-весеннего половодья 2024 г. значения высокие. К западу от косы Долгой на поверхности сформированы блюдца с соленостью менее 12 епс, что преснее окружающих вод на 1–1,5 епс. В целом, воды имеют соленость 14–15 епс.

Через год, осенью 2025 г., съемка повторена. Показательно, что граница раздела между черноморскими и азовоморскими водами (17 епс.) расположена в пределах Азовского моря, вне Керченского пролива. Предельно осолоненные, едва трансформированные черноморские воды с соленостью 14–16 епс. заполнили собственно Азовское море. Фронт между пресными речными (менее 2 епс.) и высокосолоноватыми водами (8–18 епс.) стеснен пространством около 10 км (градиент 0,6 епс/км). Наблюдения показывают, что в октябре 2025 г. море оказалось солёнее, нежели в ноябре 2024. Годом ранее черноморские воды были вытеснены из прикерченского района, перемешались с азовоморскими и наблюдались на 50–70 км севернее входа в Керченский пролив. В 2025 г. воды черноморской адвекции заполнили толщу южной части Азовского моря в чистом виде.

## НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЭКСПЕДИЦИИ НА ЛЕДОСТОЙКОЙ САМОДВИЖУЩЕЙСЯ ПЛАТФОРМЕ «СЕВЕРНЫЙ ПОЛЮС» В 2022–2024 ГГ.

Иванов В.В.<sup>1,2</sup>✉, Фильчук К.В.<sup>2</sup>, Ковалев С.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> МГУ, г. Москва

<sup>2</sup> ААНИИ, г. Санкт Петербург

✉ vladimir.ivanov@aari.ru

**Ключевые слова:** Северный Ледовитый океан, гидрологические измерения, водные массы, сезонная изменчивость, морской лед.

Океанологические исследования всегда были одной из основных научных программ на обитаемых дрейфующих станциях «Северный Полюс» в Северном Ледовитом океане (СЛО) в XX-м веке и в начале XXI-го века. Результаты этих исследований заложили основу сегодняшних знаний о структуре и циркуляции вод и льдов в глубоководном Арктическом бассейне СЛО. Экспедиции на ледостойкой самодвижущейся платформе (ЛСП) «Северный Полюс» унаследовали технологический подход, применявшийся на советских и российских дрейфующих ледовых станциях. Основное отличие экспедиций на ЛСП «Северный Полюс» от исторических дрейфов заключается в размещении участников экспедиции на борту судна, а не в ледовом лагере, тогда как основная часть наблюдений, как и ранее, выполняется с дрейфующего льда.

Первая экспедиция ЛСП «Северный Полюс» (СП-41) проходила с сентября 2022 г. по май 2024 г. Резкое изменение направления дрейфа ЛСП в июле 2023 г. обеспечило уникальную возможность провести измерения вблизи континентального склона к северу от Земли Франца Иосифа (ЗФИ) и к северу от Шпицбергена в зимний сезон 2023–2024 гг. Благодаря удачному сочетанию районов и времени выполнения измерений, они позволили проследить пространственно-временную изменчивость температуры и солёности промежуточной водной массы атлантического происхождения (AB) между сезонными пиками

потепления и похолодания, временные границы которых были установлены по историческим записям с автономных буйковых станций в 2000–2010-е гг.

Сопоставление гидрологических данных с контактными измерениями толщины льда на примыкающем к ЛСП ледовом полигоне дало возможность количественно оценить вклад теплового потока из водной толщи в зимнее таяние льда. На основе выявленных закономерностей пространственно-временной изменчивости температуры АВ и долгосрочных спутниковых временных рядов площади и протяженности ледяного покрова сформулированы необходимые условия для эффективного теплового воздействия атлантических вод на лед (атлантификацию) в западной части бассейна Нансена.

Экспедиция СП-41 была проведена и профинансирована в рамках научно-исследовательского проекта Росгидромет НИТР-5.1. Анализ данных измерений выполнен при поддержке РНФ (грант №24-17-00041).

## **ПОТОК CO<sub>2</sub> НА ГРАНИЦЕ С АТМОСФЕРОЙ В ЧЕРНОМОРСКОМ РЕГИОНЕ**

**Орехова Н.А.**

*МГИ, г. Севастополь*

✉ [natalia.orekhova@mhi-ras.ru](mailto:natalia.orekhova@mhi-ras.ru)

**Ключевые слова:** поток CO<sub>2</sub>, поверхностный слой вод, Черное море.

В условиях устойчивого роста концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере оценка эмиссии и анализ его дальнейшего перераспределения между атмосферой и гидросферой имеют важное фундаментальное и прикладное значение для оценки глобального цикла углерода, а также для планирования климатической политики. В работе выполнен анализ внутригодовых изменений величин и направления потока CO<sub>2</sub> на границе с атмосферой для Чёрного



моря, а также изучена роль региональных экосистем (на примере Черного моря) в бюджете  $\text{CO}_2$ .

В работе использованы данные экспедиционных исследований НИС «Профессор Водяницкий», полученные с марта по декабрь 2015–2024 гг. для северной части Черного моря. Поток  $\text{CO}_2$  рассчитывался по алгоритму, предложенному Ваннинкофом, учитывающему квадрат скорости ветра и градиент  $p\text{CO}_2$  между поверхностью моря и приводным слоем атмосферы.

Для расчета градиента  $p\text{CO}_2$  использованы данные прямого определения концентрации  $\text{CO}_2$  приводного слоя атмосферы и поверхностного слоя вод, полученные с помощью инфракрасного анализатора LI-7000.

Величина потока  $\text{CO}_2$  на границе с атмосферой изменялась от  $-17,7 \text{ ммоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$  до  $14,3 \text{ ммоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$  (отрицательная величина указывает на поток  $\text{CO}_2$ , направленный из атмосферы в воду, а положительное значение величины потока – на поток  $\text{CO}_2$ , направленный из воды в атмосферу). Внутригодовая динамика потока  $\text{CO}_2$  характеризуется увеличением его интенсивности с апреля по август, высокими значениями в сентябре, и плавным снижением к октябрю. В ноябре-декабре интенсивность потока  $\text{CO}_2$  возрастает, но уже в другом направлении – величины потока характеризуются отрицательными значениями.

Отмечено, что с мая по сентябрь поверхностные воды моря являются источником  $\text{CO}_2$  для атмосферы (средняя величина потока  $2,43 \pm 0,58 \text{ ммоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$ ), с ноября по март – стоком  $\text{CO}_2$  (средняя величина потока  $-2,50 \pm 0,12 \text{ ммоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$ ). При этом апрель и октябрь являются месяцами, когда наблюдается переходное состояние от стока к источнику (апрель) и от источника к стоку (октябрь).

По осредненным ежемесячным данным за 2015–2024 гг. получен внутригодовой ход потока  $\text{CO}_2$  на поверхности вод северной части Черного моря, среднегодовая величина которого составила  $-1,20 \text{ ммоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$ . Это указывает на поглощение  $\text{CO}_2$  из атмосферы водами северной части Черного моря.

Интенсивность потока  $\text{CO}_2$  на поверхности вод северной части Черного моря преимущественно определялась скоростью ветра,

а также градиентом  $p\text{CO}_2$  между поверхностным слоем вод и приводным слоем атмосферы. Однако направление потока  $\text{CO}_2$  зависит от градиента  $p\text{CO}_2$ .

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ № FNNN-2025-0001 «Мониторинг карбонатной системы, содержания и потоков  $\text{CO}_2$  в морской среде Черного и Азовского морей» (шифр: «Карбоновый полигон»).

## ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ИСПАРЕНИЯ С ПОВЕРХНОСТИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ И В ДЕЛЬТЕ РЕКИ ВОЛГИ

Репина И.А. ✉, Чечин Д.Г.

*ИФА РАН, г. Москва*

✉ repina@ifaran.ru

**Ключевые слова:** Каспийское море, дельта Волги, испарение, параметризации, колебание уровня.

Испарение является одной из ключевых расходных статей водного баланса Каспийского моря, но его количественная оценка до сих пор связана со значительными неопределенностями. Существующие методы, основанные на эмпирических формулах, дают существенный разброс оценок. При этом прямое верифицирование результатов моделей затруднено из-за отсутствия эталонных измерений на акватории моря. Особую сложность представляет учет испарения в дельте Волги, где наблюдается высокая пространственно-временная изменчивость, связанная с динамикой площадей водной поверхности и заливаемой суши.

В рамках работы проведена актуализация методики расчета испарения на основе натурных измерений в дельте Волги. В качестве исходных данных использованы ежедневные метеорологические наблюдения на станциях Астрахань, Зеленга и Лиман, включающие температуру воды и воздуха, влажность, скорость

ветра и облачность. Для различных ландшафтов дельты применялись дифференцированные коэффициенты, корректирующие величину испарения.

На основе обобщения полевых данных предложены новые параметризации, учитывающие морфометрический фактор – отрицательную обратную связь между уровнем моря и объемом испарения, обусловленную изменением площади мелководных акваторий. Предложенные параметризации обеспечивают повышение точности прогнозных расчетов водного баланса Каспийского моря и могут быть использованы для оптимизации управления водными ресурсами устьевой области Волги.

**СЕКЦИЯ 1**  
**«ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ МОРСКОЙ СРЕДЫ**  
**НА ОСНОВЕ ДИСТАНЦИОННЫХ И КОНТАКТНЫХ**  
**МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА»**

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ**  
**ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК**  
**БАРЕНЦЕВА И КАРСКОГО МОРЕЙ**

**Артамонова К.В.<sup>1✉</sup>, Лукьянова О.Н.<sup>2</sup>, Гангнус И.А.<sup>3</sup>,  
Иванов В.В.<sup>3</sup>, Щука А.С.<sup>2</sup>, Сумкина А.А.<sup>3</sup>, Торгунова Н.И.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *ВНИРО, г. Москва*

<sup>2</sup> *ИО РАН, г. Москва*

<sup>3</sup> *МГУ, г. Москва*

✉ *ksusha.vniro@gmail.com*

**Ключевые слова:** арктические моря, атлантические воды, распресненные линзы, пространственная изменчивость, много-летняя изменчивость, биогенные элементы.

В работе проанализированы особенности пространственного распределения гидролого-гидрохимических характеристик вод Баренцева и Карского морей на основе собственных экспедиционных данных, полученных на океанографических разрезах в 93-м (2023 г.) и 96-м рейсах (2024 г.) НИС «Академик М. Келдыш», а также использовались данные из открытых источников.

По полученным данным установлено, что на западе Баренцева моря вся толща вод представлена теплыми и солеными атлантическими водами, для которых характерно более низкое содержание растворенного кислорода и более высокие концентрации нитратов; в центральной части хорошо прослеживаются трансформированные атлантические и баренцевоморские воды

(с более низкой температурой и соленостью и более высоким содержанием растворенного кислорода), на северо-востоке моря зафиксированы затоки трансформированных тёплых атлантических вод, на севере – арктические воды с минимальной температурой и более низкой по сравнению с баренцевоморскими солёностью. Установлено, что в Баренцевом море по атомарному соотношению силикатов, фосфатов и нитратов образование первичной продукции в летний период лимитирует азот и кремний. По срокам очищения Баренцева моря ото льда выделены «холодные» и «теплые» периоды, для которых на повторяющихся разрезах оценена межгодовая изменчивость гидролого-гидрохимических характеристик.

Для Карского моря также проанализированы особенности пространственной изменчивости: в северо-западной части (в районе жёлоба Святой Анны) структура вод схожа с баренцевоморской, зафиксирован заток трансформированных теплых и соленых атлантических вод, с ядром на глубине 150–300 м. В жёлобе Воронина заток атлантических вод не прослеживался, вся толща глубже верхнего прогретого слоя характеризовалась отрицательными температурами. В центральной и южной частях Карского моря по всем гидролого-гидрохимическим характеристикам хорошо прослеживался заток распреснённых вод, при этом в августе 2024 г. линза вод с соленостью от 4 до 13 епс распространялась из Обской губы на северо-запад и затем фиксировалась вдоль западного побережья о-ва Белый.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ «ВНИРО» № 076-00002-26-01 и Минобрнауки России для ИО РАН (тема № FMWE-2024-0020). Экспедиционные работы в 2024 г. 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-keldyish>.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЗОМАСШТАБНЫХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ МОРЯ В СЕВАСТОПОЛЬСКИХ БУХТАХ ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

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

*МГИ, г. Севастополь*  
✉ [a.bagaev1984@mhi-ras.ru](mailto:a.bagaev1984@mhi-ras.ru)

**Ключевые слова:** колебания уровня моря, приливы, инерционные колебания, сейши, Черное море, севастопольские бухты.

В 2024–2025 гг. с помощью ультразвуковых измерителей уровня моря (разработки МГИ РАН) проведена серия натурных наблюдений в трёх севастопольских бухтах: Голландия, Карантинная и Круглая. Дискретность измерений составляла 10 с, что позволило исследовать мезомасштабные колебания уровня в широком диапазоне периодов (от 2 до 24 ч).

В результате обработки данных выделены следующие виды колебаний: астрономические приливы с периодами 24 и 12 ч; инерционные колебания с периодом около 17 ч; гармоники радиационного прилива с периодами 8; 6; 4,8; 4 и 3,4 ч; а также моды глобальных сейш Черного моря с периодами 10,5; 7,5; 6,3; 5,5; 4,6; 3,3; 2,7 и 2,5 ч. Полусуточный прилив зафиксирован во всех сериях наблюдений. Инерционные колебания проявились не во всех сериях: в 2024 г. они наблюдались в бухте Голландия (сентябрь, ноябрь) и Карантинной (август, сентябрь); в 2025 г. – в Голландии (июль, август, ноябрь), Карантинной (апрель–август, октябрь, ноябрь) и Круглой (июнь, август).

Наибольшую интенсивность среди сейшевых мод в севастопольских бухтах имеют колебания с периодами 7,5; 6,3; 5,5; 4,6; 3,3; 2,7 и 2,5 ч, что удовлетворительно согласуется с теоретическими расчётами. Выделен также мощный пик на периоде 4,8 ч,

принадлежащий как собственной моде Черного моря, так и гармонике S5 радиационного прилива. Энергия колебаний уровня на периодах радиационных гармоник не уступает энергии собственных сейшевых мод; эти гармоники зафиксированы в большинстве серий наблюдений. Лишь в декабре 2025 г. в бухтах Голландия и Карантинная радиационные гармоники не обнаружены, что позволяет предположить их сезонную изменчивость с минимумом в зимний период.

Полученные результаты дополняют представления о колебательной динамике уровня Черного моря в севастопольском регионе на основе современных данных с высоким временным разрешением и демонстрируют эффективность разработанного измерителя для долговременного мониторинга. Установленные параметры колебаний могут служить основой для верификации численных моделей и оценки изменчивости мезомасштабных процессов в условиях меняющегося климата.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ по теме FNNN-2024-0016 «Прибрежные исследования».

## **ДВУХСЛОЙНАЯ И ТРЕХСЛОЙНАЯ СТРАТИФИКАЦИЯ ОПРЕСНЕННОГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ В МОРЯХ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ**

**Баженова Е.С.<sup>1,2</sup> ✉, Осадчиев А.А.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *ИО РАН, г. Москва*

<sup>2</sup> *МФТИ, г. Долгопрудный*

✉ *bazhenova.elena5467@yandex.ru*

**Ключевые слова:** талые воды, речной плюм, стратификация.

В Северном Ледовитом океане два основных источника пресной воды – речной сток и таяние морского льда. Их взаимодействие при формировании опресненного поверхностного слоя

остается малоизученными. Существуют два сценария взаимодействия речных плюмов с тальми водами. В акваториях, расположенных вблизи речных устьев, адвекция речных плюмов происходит до окончания ледотаяния. В этом случае тальные воды смешиваются с речным плюмом и формируется стандартная двухслойная стратификация поверхностного слоя моря. Если ледотаяние заканчивается раньше, чем происходит адвекция плюма, то речные воды распространяются поверх тальных вод. В результате этого формируется трехслойная стратификация поверхностного слоя моря: тальные воды формируют отдельный слой между речным плюмом и солеными морскими водами.

На основе натурных термохалинных измерений и данных спутниковой солености поверхности моря подробно изучено взаимодействие тальных вод с плюмом Оби–Енисея в Карском море в 2016 и 2021 годах и с плюмом Лены в море Лаптевых в 2019 и 2024 годах. Показано, что в обоих плюмах формируются обширные области как двуслойной, так и трехслойной стратификации. Формирование трехслойной стратификации изолирует тальные воды от атмосферного воздействия, что сохраняет их повышенную температуру в период осеннего охлаждения поверхности моря.

Разработана методика детектирования областей формирования двуслойной и трехслойной стратификации в начале безледного сезона с использованием исключительно спутниковых данных о солености поверхности моря и сплоченности морского льда.



## МЕХАНИЗМЫ ГЕНЕРАЦИИ И ПАРАМЕТРЫ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В МОРЕ СОДРУЖЕСТВА ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ И СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Бакуева Я.И.<sup>1✉</sup>, Козлов И.Е.<sup>1</sup>, Молчанов М.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> МГИ, г. Севастополь

<sup>2</sup> ААНИИ, г. Санкт-Петербург

✉ yasya1egurova@gmail.com

**Ключевые слова:** внутренние волны, залив Прюдс, Южный океан, STD, стратификация, частота Брента–Вяйсяля, уравнение KdV, механизмы генерации.

На основе данных натурных измерений, выполненных в январе 2016 г. и 2025 г. на разрезе вдоль 70° в. д. в море Содружества, проведен сравнительный анализ вертикальной структуры водных масс и оценены условия генерации короткопериодных внутренних волн (КВВ).

В ходе работы были рассчитаны частота плавучести, параметры пикноклина, толщина верхнего квазиоднородного слоя, нелинейная фазовая скорость первой бароклинной моды, нелинейный ( $\alpha$ ) и дисперсионный ( $\beta$ ) коэффициенты уравнения Кортевега – де Вриза (KdV). Показано, что значения фазовой скорости мало отличаются в 2016 и 2025 г. и возрастают с глубиной. Коэффициент нелинейности  $\alpha$  на разрезе 70° в. д. принимает малые значения и меняет знак как вдоль разреза, так и от года к году. Отношение  $|\alpha|/\beta$ , определяющее характерную амплитуду и ширину солитона, на 20–40 % выше в 2016 г. по сравнению с 2025 г.

Полученные результаты существенно дополняют результаты спутниковых радиолокационных наблюдений по данным Sentinel-1, позволяя интерпретировать наблюдаемые пакеты КВВ с позиций механизмов их генерации.

## РОЛЬ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОД В ФОРМИРОВАНИИ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА «А» В РАЙОНЕ ПЛАТО КЕРГЕЛЕН

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

МГИ, г. Севастополь  
✉ [yasya1egurova@gmail.com](mailto:yasya1egurova@gmail.com)

**Ключевые слова:** Хлорофилл «а», плато Кергелен, Полярный фронт, температура поверхности океана, геострофические течения, Южный океан, спутниковые данные, MODIS, AVISO, ERA5.

На основе многолетних (2003–2023 гг.) спутниковых данных MODIS Aqua/Terra по хлорофиллу «а» (Хл «а») и температуре поверхности океана (ТПО), данных реанализа ERA5 о приповерхностном ветре и альтиметрических данных AVISO о геострофических течениях исследовано влияние динамических параметров вод на межгодовую изменчивость концентрации фитопланктона в районе плато Кергелен (44–58° ю. ш., 60–90° в. д., Южный океан).

Установлено, что ключевым фактором, определяющим интенсивность меридионального цветения фитопланктона в зоне 46–54° ю. ш., 70–92° в. д., является положение Полярного фронта (ПФ) в районе 85° в. д. В годы аномального смещения ПФ к северу (до 54° ю. ш.) наблюдаются интенсивные цветения хлорофилла с высокими положительными аномалиями. В годы южного положения ПФ, а также в годы совпадения северного смещения ПФ с аномально высокой ТПО интенсивные цветения отсутствуют либо существенно подавлены. Корреляционный анализ выявил статистически значимые связи аномалий Хл «а» с аномалиями меридиональной компоненты поверхностных течений ( $r = -0,43$ ,  $p < 0,01$  при сдвиге 2 месяца) в зоне ПФ (52–58° ю. ш., 82–88° в. д.). Показана ведущая роль горизонтального адвективного переноса в снабжении региона биогенными элементами.

## РАЗВИТИЕ МЕТОДА ДИСТАНЦИОННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ДВУМЕРНЫХ СПЕКТРОВ ИЗМЕНЧИВОГО МОРСКОГО ВОЛНЕНИЯ ПО СПУТНИКОВЫМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ

Бондур В.Г.<sup>1</sup>, Дулов В.А.<sup>2</sup>, Козуб В.А.<sup>1</sup>,  
Мурынин А.Б.<sup>1,3</sup>✉, Юровский Ю.Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> НИИ «АЭРОКОСМОС», г. Москва

<sup>2</sup> МГИ, г. Севастополь

<sup>3</sup> ФИЦ ИУ РАН, г. Москва

✉ AMurynin@bk.ru

**Ключевые слова:** спектры морских волн, спутниковые изображения, дистанционные измерения.

Предложены направления развития метода восстановления двумерных пространственных спектров возвышений и уклонов морского волнения по спутниковым изображениям высокого пространственного разрешения. Разработанный метод позволяет проводить дистанционное измерение углового распределения энергии морских волн по одиночным спутниковым изображениям без ограничений, связанных с условиями получения этих изображений. Метод позволяет получать оценки угловых распределений пространственно-неоднородных морских волн. Валидация метода выполнена по результатам комплексного эксперимента, который включал спутниковую съемку акватории Черного моря оптической аппаратурой и подспутниковые измерения в контролируемых условиях со стационарной океанографической платформы.

Разработанный метод применялся для исследования различных антропогенных и естественных аномальных явлений в океане, проявление которых связано с деформациями углового распределения волновой энергии. Анализировались антропогенные аномалии, вызванные поверхностными проявлениями внутренних волн, генерируемых заглубленными сбросами вод. Исследовались аномальные области морской поверхности, связанные с проявлениями глубинных стоков в прибрежной

акватории Черного моря вблизи города Севастополя, а также в акватории Тихого океана.

Изучались также естественные аномалии, связанные с короткопериодными внутренними волнами, вызванными обрушениями внутренних волн, генерируемых при набегании приливных течений на материковый склон в акватории Тихого океана.

Анализируются возможности применения представленных разработок для выявления аномалий морской среды, обусловленных выпусками сточных вод, по спутниковым данным, полученным для акватории Авачинской бухты (Камчатка) при решении задач НИР «Разработка научно-технических решений в интересах мониторинга и прогнозирования опасных природных явлений и антропогенных воздействий в прибрежных морских акваториях Камчатки по спутниковым данным», выполняемой в рамках Межведомственной Комплексной Программы научных исследований Камчатского полуострова и сопредельных акваторий.

Работа НИИ «АЭРОКОСМОС» выполнена при поддержке государственного задания по теме FNEE-2024-0002. Работа МГИ РАН выполнена в рамках государственного задания МГИ РАН FNNN-2024-0001.

## **ИНДИЙСКИЙ ОКЕАНИЧЕСКИЙ ДИПОЛЬ И ЕГО ВЗАИМОСВЯЗЬ С ЭЛЬ-НИНЬО**

**Вязилова Н.А.<sup>1✉</sup>, Вязилов А.Е.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ВНИИГМИ– МЦД, г. Обнинск

<sup>2</sup> НПО-Тайфун, г. Обнинск

✉ [nav@meteo.ru](mailto:nav@meteo.ru)

**Ключевые слова:** Эль-Ниньо, Индийский Океанический Диполь, атмосферная циркуляция

В работе представлено сравнение особенностей аномалий основных составляющих климатической системы в экватори-

альном районе Индийского и Тихого океанов в годы с Эль-Ниньо, и канонического типа, и типа Модоки, отмеченных за период 1982–2025 гг., как сопровождающихся развитием Индийского Океанического Диполя (ИОД), так и без ИОД. Исследование выполнено на основе анализа карт пространственного распределения температуры поверхности океана, атмосферных осадков и динамических характеристик, рассчитанных по среднемесячным данным архивов NOAA Extended SST V5, Arkin-Xie Precipitation STD/CMAP и реанализа NCEP/NCAR.

Взаимодействие между аномалиями ТПО в Индийском океане и ЭНЮК подтверждается значительной корреляцией, которая существует между временными рядами индекса Индийского диполя (DMI) и аномалиями ТПО в экваториальном районе Тихого океана. Коэффициент синхронной корреляции индекса диполя (ИОД) и аномалий ТПО в регионе Niño 3 составляет 0,37. Однако, если использовать значения индексов, и океанического индекса ЭНЮК, и индекса Индийского диполя, сгруппированные по сезонам, значение коэффициента корреляции между индексами существенно повышается. Расчеты показали, что наибольшая корреляция наблюдается между медианными значениями ONI за июнь–декабрь и DMI за сентябрь–ноябрь (0,55) при уровне значимости 0,001. Можно предположить, что летне-осенние значения океанического индекса ЭНЮК (ONI) оказывают влияние на осенние значения индекса Индийского диполя (DMI).

Характер климатических аномалий, наблюдаемых в тропическом Индо-Тихоокеанском регионе в годы с Эль-Ниньо, и положительной фазой ИОД также показывает существование взаимодействия между этими важнейшими экстремальными явлениями и позволяет подчеркнуть роль зональной циркуляции в качестве важнейшего связующего звена в этом взаимодействии. Следует отметить, что в этом взаимодействии как Эль-Ниньо может оказывать влияние на развитие Индийского Океанического Диполя, так и Индийский Океанический Диполь может оказывать влияние на интенсивность Эль-Ниньо. В годы развития Эль-Ниньо формирование интенсивных нисходящих потоков в районе Индонезии в осенний и последующий зимний сезон, сезон кульминации теплых событий ЭНЮК, способствует усилению

западных аномалий зонального переноса в западной части экваториального района Тихого океана и формированию восточных аномалий в восточной части Индийского океана. Аномалии атмосферной циркуляции в нижнем слое тропосферы в экваториальном районе Индийского океана могут способствовать развитию положительной фазы Индийского диполя, сдвигу области конвекции и осадков из района климатического положения в западную часть океана и развитию интенсивных аномалий зональной циркуляции в верхнем слое тропосферы. Формирование интенсивных аномалий атмосферной циркуляции в экваториальном районе Индийского океана способствует дальнейшему усилению нисходящих движений в районе архипелага Индонезии и как следствие усилению западных аномалий зонального переноса в нижней тропосфере в западной части экваториального района Тихого океана. Известно, что интенсивные западные аномалии зонального переноса в западной части экваториального района Тихого океана играют ключевую роль в развитии и интенсивности Эль-Ниньо.

## ОПЫТ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ ЛЬДА ПО ДАННЫМ РЛС НЭС «СЕВЕРНЫЙ ПОЛЮС»

Гаврилов Ю.Г. ✉, Морозова О.А., Май Р.И., Хотченков С.В.

*ААНИИ, г. Санкт-Петербург*

✉ [gavrilov@aari.ru](mailto:gavrilov@aari.ru)

**Ключевые слова:** деформации льда, радиолокационные станции (РЛС), измерения параметров дрейфа льда, максимальная кросс-корреляция (МКК), метод оптического потока, НЭС «Северный полюс», радиолокационные ледовые индикаторы (РЛИ).

Работа современных дрейфующих станций «Северный полюс», базирующихся на одноимённом научно-экспедиционном судне (НЭС), позволяет применять для ледовых наблюдений судовые радиолокационные станции. С помощью имеющихся на

НЭС «Северный полюс» радиолокационных ледовых индикаторов производится постоянная запись радиолокационных изображений окружающей ледовой обстановки. На их основе выполнена оценка параметров локального дрейфа льда с помощью автоматизированных алгоритмов, основанных на методах максимальной кросс-корреляции и оптического потока. Применение метода оптического потока позволило получить покрытие радиолокационных изображений, соответствующих площади  $1,5 \times 2,7$  морских мили, сеткой данных измерений параметров дрейфа льда с шагом 80 метров. Дискретность по времени составила 30 минут.

В докладе представлены некоторые результаты анализа численных характеристик дрейфа льда за период с мая по июль 2023 года. Пространственные градиенты локального дрейфа позволили рассчитать численные оценки сдвиговой деформации и деформации, связанной с разрежением и сжатием ледяного покрова. Кроме того, была рассчитана завихренность поля локального дрейфа. Характеристики деформации льда были осреднены по пространству и времени в различных пространственно-временных масштабах. Были выявлены области локального разрежения и сжатия льда, приуроченные к кромке льдины, в которую было вморожено НЭС «Северный полюс». Средние по пространству характеристики градиентов дрейфа позволили выявить временной ход сдвиговой и дивергентной деформации. Результаты нашего анализа показали, что сдвиговая деформация ледяного покрова существенно больше деформации, связанной с дивергенцией векторов дрейфа. Во временном ходе общей деформации выделяются квазипериодические колебания с периодами от 5 до 7 суток, которые связаны с откликом ледяного покрова на прохождение барических образований.

Полученные данные о дрейфе элементов льда позволили исследовать зависимости мелкомасштабных деформаций ледяного покрова от комплекса гидрометеорологических условий различного пространственно-временного масштаба. Усвоение полученных результатов исследований деформаций ледяного покрова в прогностических моделях должно обеспечить повышение их информативности и надёжности в автоматическом определении

таких характеристик состояния ледяного покрова, как сжатие, торосистость, наслоенность, необходимых для обеспечения повышения качества работ по планированию маршрутов ледовой навигации, оценке ледовых нагрузок на гидротехнические сооружения.

## УСЛОВИЯ ОБЛЕДЕНЕНИЯ СУДОВ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В XXI ВЕКЕ

Гибадуллина А.И. ✉, Соколихина Н.Н.

*МГУ, г. Москва*  
✉ [natalia.sokolikhina@gmail.com](mailto:natalia.sokolikhina@gmail.com)

**Ключевые слова:** изменение климата, брызговое обледенение.

В работе были использованы судовые данные из архива ICOADS, содержащие информацию о факте, типе и интенсивности нарастания льда на судах. Были отобраны только случаи брызгового обледенения, представляющего наибольшую угрозу для безопасности судоходства, и соответствующие гидрометеорологические переменные: температура поверхности воды, температура воздуха и скорость ветра. Эти величины в дальнейшем использовались в качестве параметров для расчета интенсивности обледенения по методу Д. Оверлэнда, что позволило сопоставить модельные расчеты с фактическими судовыми наблюдениями и выполнить верификацию расчетного метода.

Для получения метеорологических полей использовались данные реанализа ERA5 высокого пространственно-временного разрешения; а для построения прогностических полей – результаты экспериментов климатических моделей проекта CMIP6.

В результате было выполнено сравнение двух методов расчёта брызгового обледенения судов Д. Оверлэнда: классического индексного и усовершенствованного, учитывающего стратификацию. По данным реанализа ERA5 усовершенствованный метод



даёт более высокие значения повторяемости, что объясняется более корректным воспроизведением стратификации, возникающей при контакте холодного воздуха с относительно тёплой морской поверхностью.

По данным реанализа ERA5 за 1984–2014 гг. в Баренцевом море максимальная повторяемость обледенения судов расположена в центральной части моря и к западу от Шпицбергена и Новой Земли (более 160 дней в год по усовершенствованному методу). Выявлена разнонаправленная структура трендов: в северной и восточной частях моря число дней с обледенением росло со скоростью до 30 дней за десятилетие, тогда как на юге и юго-западе оно сокращалось с той же скоростью. Такое распределение объясняется сокращением ледяного покрова: на юге температуры воздуха все чаще превышают точку замерзания, а на севере освобождение ото льда новых акваторий при сохранении низких температур создаёт дополнительные условия, при которых образуется обледенение.

По прогнозу на конец XXI века реакция обледенения судов на рост радиационного форсинга будет различной. Для брызгового обледенения максимальные риски ожидаются при сценарии SSP2-4.5 (к западу от Шпицбергена – более 60 дней в год, у Новой Земли – 50–60 дней), тогда как при сценарии SSP5-8.5 повторяемость снижается до 40–50 и 30–40 дней соответственно. Это объясняется сильным прогревом приземного воздуха при сценарии SSP5-8.5, из-за которого температуры все чаще превышают порог замерзания морской воды, несмотря на резкое сокращение ледового покрова.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые была проведена комплексная оценка способности моделей CMIP6 воспроизводить климатологию обледенения судов в Арктической зоне Российской Федерации, а также получен прогноз их пространственного распределения в XXI веке.

## РЕКОНСТРУКЦИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО ТЕЧЕНИЯ ПО ВИДЕОСЪЕМКЕ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Григорьев П.А.<sup>1✉</sup>, Дулов В.А.<sup>2</sup>, Кориненко А.Е.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Филиал МГУ в г. Севастополе*

<sup>2</sup> *МГИ, г. Севастополь*

✉ *petergs@yandex.ru*

**Ключевые слова:** морские натурные исследования, ветровые волны, дрейфовые течения, дисперсионное соотношение ветровых волн и эффект Доплера, видеосъемка морской поверхности.

Процессы обмена импульсом, теплом и веществом между атмосферой и океаном в значительной степени определяются состоянием верхнего слоя океана на горизонтах около 1 метра и менее от поверхности. Профиль скорости течения в этом слое тесно связан с переносом импульса, структурой турбулентности и диссипацией кинетической энергии. При проведении конкретных экспериментов в море оперативные оценки скорости течения в приповерхностном слое представляют очевидную важность. В настоящем сообщении представлена методика и алгоритмы для восстановления вертикальных профилей вектора скорости приповерхностного течения из видеозаписей морской поверхности с бытовой камеры, основанная на оценке дисперсионного соотношения коротких ветровых волн по трехмерному пространственно-временному спектру яркости морской поверхности.

Обработаны видеозаписи, полученные ранее с океанографической платформы МГИ РАН в Черном море для изучения обрушений ветровых волн. Оценены возможности методики и ошибки восстановления профилей вектора скорости течения. Выполнено сравнение со скоростями течений, полученными другими методами.

Работа выполнена в рамках государственного задания МГИ FNNN-2024-0001.

## СИНОПТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СИЛЬНЫХ ЛИВНЕВЫХ ОСАДКОВ ХОЛОДНОГО СЕЗОНА ГОДА В КРЫМУ

Данова Т.Е. ✉, Баянкина Т.М.

*МГИ, г. Севастополь*

✉ [danova8@mail.ru](mailto:danova8@mail.ru)

**Ключевые слова:** циклоны, холодный сезон года, ливневые осадки, Крымский полуостров.

Представлены исследования синоптических условий формирования сильных ливневых осадков холодного сезона года на территории Крымского п-ова. В качестве примера для анализа выбран случай 19 января 2024 г., характеризующийся необычайно длительными сильными ливневыми осадками, приведшими к многочисленным оползням, сходу селевых потоков в горной местности, подтоплениям жилых строений и транспортной инфраструктуры на полуострове. Для определения приземной погоды использовалась климатическая база «Расписание погоды» (<http://rp5.ru>) по станциям Крымского п-ова в дату прохождения циклона. Направления перемещения циклонов отслеживались по синоптическим приземным картам (<https://www.wetter3.de>) и спутниковым изображениям (<https://pics.eumetsat.int/viewer/index.html>).

Наибольшее количество осадков на территории полуострова было зафиксировано 19 января 2024 г. в горной местности и береговой зоне ЮБК. По данным климатической базы «Расписание погоды» максимальное количество осадков за 12 часов зафиксировано на станциях: Ай-Петри (159,0 мм), Алушта (25,0 мм), Ангарский перевал (43,0 мм), Никита (90,0 мм) и Ялта (113,0 мм). Учитывая, что годовая сумма осадков в 2024 г. составила соответственно: Ай-Петри (1598,9 мм), Алушта (843,4 мм), Ангарский перевал (1360,4 мм), Никита (1290,5 мм) и Ялта (1207,6 мм), для ряда станций количество выпавших осадков можно охарактеризовать как катастрофическое. За катастрофические осадки в данной работе приняты суточные суммы осадков

на станциях, превосходящие 10 % годовой суммы осадков для этих станций. Таким образом, для станций: Ай-Петри и Ялта выпавшее количество осадков соответствует градации катастрофические, а для станции Никита, осадки соответствуют градации экстремальные, т. е. превосходят 5 % годовой суммы осадков для этой станции.

Анализ синоптических карт показал, что случай 19 января 2024 г., характеризующийся необычайно длительными сильными ливневыми осадками, связан с прохождением над территорией Крымского п-ова хорошо развитого Атлантического циклона. На севере Европы этот циклон был фиксирован 00 UTC 18.01.24 в виде двухцентровой депрессии (с давлением в центре 980,0 гПа) и развитой системой фронтов, проходящих через всю территорию Европы. Спустя сутки, по состоянию на 06 UTC 19.01.24 на фронтальном разделе фиксировались уже четыре молодых циклона, ограниченные изобарами с давлением в центре от 980,0 гПа до 1005,0 гПа. На протяжении суток 19.01.24 полуостров находился в зоне действия циклона с выраженной системой фронтов окклюзии по типу теплового. На станциях фиксировалось выпадение осадков в горных районах и ЮБК, которые квалифицировались как сильные ливневые осадки в жидкой фазе. В 00 UTC 20.01.24 над Крымом фиксировалось прохождение холодной ветки фронта окклюзии. По данным приземного анализа после прохождения холодного фронта на станциях полуострова наблюдалось снижение температуры воздуха на 10,0 °C, до отрицательных значений. Карта относительной топографии  $OT_{1000}^{500}$  18 UTC 20.01.24 показывает прохождение через регион сформированной узконаправленной термической ложбины, связанной с холодным фронтальным разделом. Эта термическая ложбина сохранялась над территорией Крыма на протяжении двух суток. В этот период 20–21.01.2024 даже на южнобережных станциях Крыма наблюдались ливневые осадки в виде снега. Так, на ст. Ялта среднесуточные значения приземной температуры воздуха с +11,0 °C 19.01.24 снизились до +1,7 °C 23.01.24, при этом минимальные температуры по состоянию на 03 UTC 23.01.24 составили –1,1 °C. Процесс сопровождался сильными ливневыми

осадками, переходящими в ливневой снег, которые способны нанести ущерб на значительной территории.

Показано, что для образования сильных осадков, попадающих в градацию экстремальных и катастрофических, необходимо формирование мощной фронтальной зоны, простирающейся с севера на юг через всю территорию страны. Образование такой мощной фронтальной зоны возможно в случае выхода мощного атлантического циклона на европейскую территорию с формированием залива арктического воздуха и созданием узко-направленной термической ложбины.

## **ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ТЕПЛОЗАПАСА И СОЛЕЗАПАСА ВОД СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА**

**Даньшина А.В.<sup>1✉</sup>, Чанцев В.Ю.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ААНИИ, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup> РГГМУ, г. Санкт-Петербург

✉ [danshina@aari.ru](mailto:danshina@aari.ru)

**Ключевые слова:** Северный Ледовитый океан, теплозапас, солезапас, тенденции, тренды, аномалии, изменчивость.

В проведенном исследовании рассматриваются особенности пространственной изменчивости трендов плотности теплозапаса и солезапаса, которые были рассчитаны на основе данных величин потенциальной температуры и солености океанского реанализа GLOBAL\_MULTY\_YEAR\_PHY\_001-030 ([https://data.marine.copernicus.eu/product/GLOBAL\\_MULTIYEAR\\_PHY\\_001\\_030/description](https://data.marine.copernicus.eu/product/GLOBAL_MULTIYEAR_PHY_001_030/description)) и результатов численных расчетов с помощью модели NEMO (<https://nemo-ocean.eu>), адаптированной под условия Арктического региона за 26-летний период с начала 2000 г.

Расчет теплозапаса и солезапаса проводился для бассейна Северного Ледовитого океана и прилегающей к нему части

акватории Атлантического океана в трех выделенных слоях водной толщи. Так верхний слой от поверхности до глубины 150 м характеризует теплообмен с атмосферой, слой 150–800 м – проникновение атлантических вод в бассейн Северного Ледовитого океана, а слой от 800 м до дна – придонные воды.

Данное исследование выявило наличие неоднородностей в пространственном распределении межгодовой тенденции аномалий теплозапаса и солезапаса, а также зоны их наибольшего расхождения между результатами вычислений по реанализу и по данным ретроспективных расчетов на региональной конфигурации модели NEMO. Также было показано, что распределение пространственной неоднородности тенденции аномалий теплозапаса и солезапаса значительно отличается по выделенным слоям.

В течение рассматриваемого периода лет в верхнем слое Северного Ледовитого океана в большей степени проявляется тенденция к увеличению теплозапаса, тогда как в промежуточном и придонном слоях, наоборот, преобладает отрицательная тенденция в формировании аномалий теплозапаса.

Положительные тренды аномалии теплозапаса в поверхностном слое преобладают в западной части Норвежско-Гренландского бассейна, по пути проникновения атлантических вод, в Баренцевом и Карском морях, распространяясь в Канадскую котловину.

В промежуточном и придонном слоях отрицательный тренд аномалии теплозапаса распространяется на всю центральную часть Северного Ледовитого океана, при этом придонный слой Норвежско-Гренландского бассейна, наоборот, подвержен увеличению теплозапаса.

В целом в распределении солезапаса по площади Северного Ледовитого океана и прилегающих акваторий в верхнем и промежуточном слое преобладают тенденции по уменьшению величины. И только в придонном слое прослеживается тенденция по увеличению площади, занимаемой положительными аномалиями солезапаса. Тем не менее, наиболее значительные по величине положительные и высокосignификантные значения трендов аномалий солезапаса наблюдаются в поверхностном слое, особенно в районе, прилегающем к северной границе Восточно-

Сибирского моря и локализованном между 75° и 80° с.ш., а также в море Лаптевых.

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).

## **ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАЛИВА СИВАШ ПОСЛЕ ПЕРЕКРЫТИЯ СЕВЕРО- КРЫМСКОГО КАНАЛА ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ**

**Ерёмина Е.С. ✉, Станичный С.В.**

*МГИ, г. Севастополь*  
✉ *shchurova88@gmail.com*

**Ключевые слова:** Азовское море, дистанционные методы, залив Сиваш, Landsat, Sentinel-2, оптические характеристики.

Лагуны, в силу своих морфологических особенностей, обособленности от основного бассейна и затрудненного водообмена, чувствительны к антропогенной нагрузке. Сокращение пресноводной составляющей в водном балансе залива Сиваш после перекрытия Северо-Крымского канала привело к резкому скачку солености: всего за пять лет соленость возросла вдвое, изменение качества вод отразилось и на биооптических характеристиках водных масс залива. Задачей исследования было оценить состояние поверхности воды Сиваша с помощью дистанционных методов. В работе были отобраны спутниковые снимки высокого разрешения MODIS, Landsat 8-9, Sentinel-2 за 2016–2025 гг. Для анализа были выбраны контрольные точки в Южном Сиваше, Восточном Сиваше, Азовском море и вдоль Арабатской стрелки, где есть предполагаемые интрузии азовоморских вод.

Получены спектры восходящего излучения для данных точек за исследуемый период. Анализ временных рядов спектральной

отражательной способности акватории Сивашской лагуны за 2016–2025 гг. выявил несколько контрастных оптических состояний водной поверхности, сменяющих друг друга в соответствии с сезонным ходом температуры, солевого баланса и биопродуктивности. В холодные месяцы, при понижении температуры воды, вода становится белесого цвета, что в спектрах определяется высоким отражением в коротковолновой части видимого диапазона при низком ближнем ИК. Резкие изменения отражательной способности во всех каналах возникают с весенним прогревом вод. С мая по октябрь оптические характеристики водной поверхности залива типичны для гиперэвтрофированных мелководных лагун, в отдельные месяцы при дешифрировании снимков, вероятно, наблюдались маты нитчатой водоросли *Cladophora*. Воды отличаются высокой мутностью и приобретают зеленой оттенок, при этом на спектральных кривых наблюдаются: повышенные значения в зеленой части спектра; рост NIR-канала, что свидетельствует об фотосинтезирующей биомассе; рост SWIR-канала является индикатором биогенной составляющей мутности вод. Осенью, по мере снижения температуры и уменьшения инсоляции, лагуна переходит в состояние уравновешенного фона. Это выражено в снижении зеленого канала, низких значениях в NIR и SWIR каналах.

Анализ спутниковых спектров показал, что воды Сиваша характеризуются ярко выраженной сезонной сменой оптических состояний и значительной пространственной неоднородностью, спектры восходящего излучения существенно трансформировались после перекрытия канала.

Исследование было выполнено при поддержке гранта РФФ № 26-17-00198 «Изучение влияния антропогенных катастроф на характеристики морской среды на основе данных спутникового дистанционного зондирования».



## ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОВЕРХНОСТНОГО ОПРЕСНЁННОГО СЛОЯ КАРСКОГО МОРЯ ПО СПУТНИКОВЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ И ДАННЫМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Жихарь Я.М. ✉, Жук В.Р.

*МГИ, г. Севастополь*

✉ [zhikhar.jaros@yandex.ru](mailto:zhikhar.jaros@yandex.ru)

**Ключевые слова:** поверхностный опреснённый слой, Карское море, солёность, спутниковые измерения, океанический реанализ.

Карское море – ключевой арктический бассейн, принимающий около 40 % совокупного стока рек Северного Ледовитого океана. Суммарный сток Оби и Енисея превышает 1500 км<sup>3</sup>/год, формируя поверхностный опреснённый слой (ПОС), занимающий до четверти акватории моря. ПОС играет критическую роль в стратификации вод, ледовом режиме и биопродуктивности региона. Традиционные контактные измерения фрагментарны, поэтому актуально использование спутниковых данных (SMAP) и океанических реанализов (GLORYS12v1, ORAS5, TOPAZ5) для мониторинга динамики ПОС в безлёдный период 2015–2024 гг.

В результате верификации реанализов установлено, что ORAS5 демонстрирует наилучшую точность (RMSE = 4,4 PSU, bias = –0,8 PSU), TOPAZ5 – наивысшую корреляцию с SMAP (R = 0,86), а GLORYS12v1 систематически занижает солёность на 15–20 % (bias = –1,3 PSU), что ограничивает его применение. Выделены два основных типа распространения ПОС: западный (2015, 2017, 2019, 2022–2024 гг.) и восточный (2016, 2018, 2020, 2021 гг.). При западном типе площадь ПОС достигает 200–320 тыс. км<sup>2</sup>; в 2015 г. под действием аномальных северо-восточных ветров и подхвата Западно-Новоземельским течением площадь составила рекордные 320 тыс. км<sup>2</sup>. При восточном типе плум прижат к побережью Таймыра, площадь составляет 150–

195 тыс. км<sup>2</sup>, при этом обнаружена линейная зависимость площади от объёма стока ( $R^2 = 0,89$ ), что даёт прогностическую возможность.

Сравнение положения изогалины 28 PSU показало, что ORAS5 и TOPAZ5 наиболее точно воспроизводят границу ПОС (расхождение до 50 км для восточного типа), тогда как ошибки GLORYS12v1 достигают 200 км. Подтверждён механизм осенней конвекции, приводящий к формированию подлёдного течения и зимнему экспорту пресной воды через пролив Вилькицкого в море Лаптевых со скоростью 0,32 м/с и объёмом ~1150 км<sup>3</sup> за зиму. Результаты значимы для верификации гидродинамических моделей, прогноза ледовых условий на трассах Северного морского пути и оценки климатических изменений в Арктике.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ АГЕОСТРОФИЧЕСКОЙ КОМПОНЕНТЫ МОРСКИХ ТЕЧЕНИЙ ПРИ ПОМОЩИ СПУТНИКОВОЙ АЛЬТИМЕТРИИ

Жмур В.В.<sup>1,2,3,4</sup>, Травкин В.С.<sup>1,2</sup>✉, Белоненко Т.В.<sup>2</sup>,  
Красильников Д.С.<sup>1,3,4</sup>, Фомин Ю.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> СПбПУ, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup> СПбГУ, г. Санкт-Петербург

<sup>3</sup> ИО РАН, г. Москва

<sup>4</sup> МФТИ, г. Москва

✉ [vtravkin99@gmail.com](mailto:vtravkin99@gmail.com)

**Ключевые слова:** спутниковые наблюдения, геострофическая скорость, число Россби, агеострофическая скорость.

Несмотря на то, что спутниковая альтиметрия сегодня является ключевым и наиболее информативным источником данных о крупномасштабной океанической циркуляции, получаемые по ней поля скорости, как правило, сводятся к их трактовке исключительно в рамках геострофического приближения. Оно позволяет успешно описывать существенную

часть мезомасштабной изменчивости Мирового океана, однако по определению исключает агеострофические компоненты течений, которые тесно связаны с фронтальными зонами, вихревой эволюцией, ветровым воздействием, а также волновыми процессами. В последние десятилетия все больше внимания уделяется разработке методов, позволяющих, опираясь исключительно на альтиметрические данные, выйти за рамки чисто геострофического описания и получить более полную и физически согласованную картину океанических течений.

Целью данной работы является физически обоснованная разработка метода оценки агеострофической компоненты скоростей океанических течений по данным спутниковой альтиметрии,

основанного на анализе отклонений от геострофического баланса в синоптическом масштабе при малых числах Россби.

В нашей работе используются данные глобального массива спутниковых данных аномалий высоты морской поверхности, а также глобальный статический массив, содержащий оценку ошибки измерений аномалий уровня моря.

В результате был разработан физически обоснованный метод оценки агеострофической компоненты скорости океанических течений по данным спутниковой альтиметрии с учётом измерительных и интерполяционных ошибок. На глобальных масштабах и для характерного пространственного масштаба  $\sim 100$  км циркуляция океана преимущественно квазигеострофическая ( $Ro < 0,1$ ), а агеострофическая составляющая в большинстве районов сопоставима с общей погрешностью альтиметрии. Региональное исследование систем Куроисио, Гольфстрима и Агульясса показало, что агеострофическая компонента в этих западных пограничных течениях является устойчивым элементом циркуляции, которая связана с фронтальными зонами, меандрированием струй и мезомасштабными вихрями и проявляет выраженную сезонную и региональную специфику. Полученные результаты демонстрируют, что, несмотря на доминирование геострофической компоненты, агеострофические процессы играют ключевую роль в динамически активных регионах океана.

Авторы выражают благодарность за финансовую поддержку исследования Санкт-Петербургскому государственному университету (грант № 129659573). Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение № 075-03-2026-218, проект FSEG-2026-0020).

## **АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ЛЕДОВОГО ПОКРОВА ПО ДАННЫМ SENTINEL-1 В БАРЕНЦЕВОМ И КАРСКОМ МОРЯХ**

**Жук В.Р. ✉, Петренко В.И., Ситак Н.П.,  
Добродий В.А., Манько А.А.**

*МГИ, г. Севастополь*  
✉ zhuk-vlad1slav@ya.ru

**Ключевые слова:** Sentinel-1, морской лед, глубокое обучение, Баренцево море, Карское море.

Мониторинг морского льда в Арктике критически важен для безопасной навигации по Северному морскому пути, однако ручной анализ спутниковых данных не является оптимальным способом из-за значительного роста объема информации ДЗЗ. Использование радиолокационных снимков Sentinel-1 и методов глубокого обучения позволяет автоматизировать сегментацию льда, вместе с этим для акваторий Баренцева и Карского морей необходима адаптация моделей из-за недостатка обучающих данных и необходимости тщательной предобработки для устранения аппаратных артефактов.

Целью работы является разработка автоматизированного алгоритма бинарной сегментации «лёд/вода» на основе данных Sentinel-1. За основу взяты архитектуры MSDA-Net и U-Net. Ключевым улучшением стала предобработка, включающая явное вычитание теплового шума по данным, содержащимся в метаданных продукта, и нормализацию обратного рассеяния по

локальному углу падения, что устраняет ложную классификацию зашумлённых участков открытой воды. Обучение выполнялось на общедоступном наборе данных, собранном за период с 10 по 15 августа 2021 г. в различных районах Северного Ледовитого океана. В результате модель достигла среднего показателя IoU (пересечение над объединением) 0,9 на тестовой выборке, однако на новых сценах 2024 г. показала систематическую недооценку ледового покрова.

Для адаптации к региональным особенностям был создан собственный набор данных из 106 сцен и выполнено дообучение модели (fine-tuning) с уменьшенной скоростью обучения. На тестовой выборке метрика IoU для класса «лёд» увеличилась с 0,76 до 0,89, средний IoU – с 0,80 до 0,86, при этом практически полностью устранены ложные срабатывания на тепловой шум и пропуски льда. Сочетание улучшенной предобработки и дообучения обеспечило точность, близкую к требованиям оперативного мониторинга.

Исследование выполнено в рамках государственного задания № FNNN-2024-0012.

## **О РАССЛОЕНИИ ЛИНЕЙНО-СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ ПО СОЛЕННОСТИ ВОДНОЙ СРЕДЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ БОКОВОГО НАГРЕВА (ЛАБОРАТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ)**

**Зацепин А.Г. ✉, Герасимов В.В.**

*ИО РАН, г. Москва*

✉ [zatsepin@ocean.ru](mailto:zatsepin@ocean.ru)

**Ключевые слова:** водный слой, линейная солёностная (плотностная) стратификация, боковой нагрев, формирование ступенчатой тонкой структуры, параметризация толщины слоев.

Выполнена серия лабораторных опытов по боковому нагреву водного слоя с изначально постоянным вертикальным градиентом солёности (плотности) за счет постоянного нагрева

электрическим током погруженной в жидкость вертикальной пластины. Мощность нагрева, а также начальный градиент плотности (частота Вайсяля – Брента) изменялись от опыта к опыту. В результате теплового воздействия на непрерывную соленостную стратификацию в подавляющем большинстве опытов происходило образование ступенчатой структуры, выражающейся в виде последовательности квазиоднородных слоев, разделенных высокоградиентными прослойками.

Процесс образования ступенчатой структуры визуализировался и регистрировался 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) отождествлялись 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.

Благодаря многократно повторяющимся в течение каждого опыта зондированиям водного слоя датчиком температуры получены профили температуры и рассчитаны значения вертикального градиента плотности за счет вклада температуры на масштабах тонкоструктурного расслоения. Показано, что значения этого параметра в прослойках многократно превышают его значения в квазиоднородных слоях. Обнаружены локальные области формирования (роста) высокоградиентных прослоек, являющихся необходимым начальным условием образования ступенчатой структуры. Выделены этапы эволюции тонкослойного расслоения – образование термического конвективного пограничного слоя на пластине, возникновение областей начального формирования высокоградиентных прослоек, горизонтальное распространение слоев и развитие дифференциально-диффузионной конвекции в них, рост толщины слоя за счет слияния соседних слоев. Начальная толщина слоев определялась в каждом опыте.

Установлена зависимость безразмерной начальной толщины слоев от определяющего безразмерного параметра задачи, зависящего как от плотностной стратификации (начального значения частоты Вяйсаля – Брента), так и потока плавучести, обусловленного нагревом пластины.

Выполненный эксперимент в определенной степени моделирует интрузионное тонкоструктурное расслоение в зоне термохалинных фронтов в океане.

Работа выполнена по теме госзадания № FMWE-2024-0016.

## **ИСПАРИЕНИЕ. ОТ ТРАДИЦИОННОЙ МЕТОДИКИ К СОВРЕМЕННЫМ МЕТОДАМ ОЦЕНКИ ИСПАРИЕНИЯ С АКВАТОРИИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ**

**Ильяшенко Е.Ф. ✉, Землянов И.В., Горелиц О.В.**

*ГОИН, г. Москва*

✉ [ilyashenko20@yandex.ru](mailto:ilyashenko20@yandex.ru)

**Ключевые слова:** Каспийское море, испарение, водный баланс, методика ГОИНа, реанализ ERA5, bulk-аэродинамические формулы.

Каспийское море – крупнейший на Земле замкнутый внутриконтинентальный водоем, гидрологический режим которого целиком определяется соотношением компонентов его водного баланса. Испарение – главный расход водного баланса, точная оценка которого важна для понимания колебаний уровня Каспия и прогнозирования его состояния при изменении климата. В исследовании реализован комплексный подход к оценке испарения с применением трех различных методик. Первая основана на традиционных эмпирических формулах ГОИНа и данных береговых станций. Второй подход использует регулярные сеточные данные высокого разрешения реанализа ERA5, при этом площадь Каспия по месяцам динамически меняется в соответствии с цифровой моделью рельефа. Третий подход базируется на bulk-аэродинамических формулах (методе аэродинамических связей)

с использованием алгоритма COARE 3.5 (Coupled Ocean-Atmosphere Response Experiment).

Традиционно использовавшаяся методика ГОИНа сталкивается с проблемами редкой сети наблюдений на акватории и сложностями интерполяции данных. Современные методы, такие как сеточные данные реанализа ERA5 и bulk-аэродинамические формулы, решают проблему пространственной непрерывности, но требуют взаимной верификации и адаптации под особенности Каспийского региона. Целью данной работы является сравнительный анализ этих трех методов расчета испарения с акватории Каспийского моря за период 1990–2020 гг. с учетом динамики его площади.

## **ИНТЕНСИВНЫЕ ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ НА СКЛОНЕ БЕРИНГОВА МОРЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ТУРБУЛЕНТНЫЙ ОБМЕН**

**Козлов И.Е.<sup>1✉</sup>, Копышов И.О.<sup>1,2</sup>, Бетке И.А.<sup>1,2</sup>,  
Морозов А.Н.<sup>1</sup>, Фер И.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> МГИ, г. Севастополь

<sup>2</sup> МФТИ, г. Долгопрудный

<sup>3</sup> Университет Бергена, г. Берген, Норвегия

✉ [ik@mhi-ras.ru](mailto:ik@mhi-ras.ru)

**Ключевые слова:** интенсивные внутренние волны, микроструктурные измерения, вертикальный турбулентный обмен, Берингово море.

В работе представлены результаты анализа комплексных натурных измерений, выполненных в районе наблюдения интенсивных внутренних волн (ИВВ) над континентальным склоном Берингова моря в сентябре 2025 г. в ходе экспедиции НИС «Профессор Мультановский» в рамках программы «Плавучий университет».



Для исследования гидрофизических процессов применялся комплекс аппаратуры: мультипараметрический микроструктурный зонд MSS90L, акустический доплеровский профилограф течений (ADCP) Workhorse Monitor 300 kHz, термопрофилирующие косы «TPArctic» и «TPArctic-Buoy», а также данные аэросъёмки с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) DJI Mavic 2 Pro/Zoom.

Общая методика измерений состояла из следующих этапов.

1) В начале каждой станции параллельно с работой розетки начинались измерения термопрофилера с борта судна или на буге в стороне от него, а также съёмка с дрона для регистрации поверхностных проявлений внутренних волн.

2) Если в данных термопрофилера наблюдались выраженные короткопериодные колебания (с периодом 5–20 минут), то в носовой части судна начинали выполняться учащенные «йо-йо» зондирования СТД-зондом, а на корме – микроструктурным зондом до глубин 50–100 м.

3) Общая продолжительность непрерывных измерений определялась наличием выраженных колебаний термоклина в данных термопрофилера и, как правило, не превышала 6 часов.

Учащенные вертикальные зондирования выполнялись со средним периодом около 3–5 минут, запись термопрофилеров велась непрерывно с частотой 1 Гц. Конфигурация измерений представляла собой треугольник с расстоянием между точками измерений в пределах 30–100 м, местоположение термопрофилера на буге определялось на основе записи его GPS-трека и фиксации положения в съёмке дрона.

В ходе дрейфа судна в районе континентального склона общей продолжительностью около 6 часов в слое термоклина на глубинах 15–70 м регистрировались ИВВ высотой до 25 м и периодами 10–30 мин. Их проявления также были видны в поле скорости поверхностных течений, достигая 0,4–0,45 м/с относительно фоновых 0,1–0,2 м/с. За весь период дрейфа зафиксировано 9 ИВВ с амплитудами преимущественно 10–15 м.

При прохождении ИВВ в слое термоклина значения скорости диссипации турбулентной кинетической энергии возрастали на

три порядка (до  $5 \cdot 10^{-6}$  Вт/кг) по сравнению с фоновыми условиями. Вертикальное распределение концентрации хлорофилла-а и растворенного кислорода испытывало существенные вариации под влиянием ИВВ, а вертикальные турбулентные потоки тепла существенно возрастали.

Микроструктурные измерения и анализ влияния внутренних волн на вертикальный турбулентный обмен выполнены в рамках гранта РНФ № 25-17-00309, <https://rscf.ru/project/25-17-00309/>. Измерения гидрологического режима в районе исследований выполнены в рамках государственного задания № FNNN-2024-0017.

## **ПРИЛИВНАЯ ДИНАМИКА И ТУРБУЛЕНТНОЕ ПЕРЕМЕШИВАНИЕ В ПРОЛИВЕ ВЕЛИКАЯ САЛМА БЕЛОГО МОРЯ**

**Козлов И.Е. ✉, Копышов И.О., Коржув В.А.,  
Гайский П.В., Шутов С.А.**

*МГИ, г. Севастополь*  
✉ [ik@mhi-ras.ru](mailto:ik@mhi-ras.ru)

**Ключевые слова:** приливы, внутренние волны, динамика океана, микроструктурные измерения, пролив Великая Салма, Белое море.

В работе представлены результаты натурных измерений гидрологической структуры и приливной динамики вод пролива Великая Салма Белого моря, выполненных зимой и летом 2026 г. Измерения выполнялись на станциях вдоль нескольких поперечных и продольных разрезов через пролив, включая области резких склонов с перепадами глубин от 30 до 100 м и от 100 до 200 м. И в зимний, и в летний периоды в проливе наблюдается выраженная плотностная стратификация вод, которая усиливается летом. Непрерывные измерения на суточных станциях показали интенсивную приливную динамику вод, обусловленную генерацией и распространением внутренних волн

приливного и субприливного периодов. Высота приливных колебаний достигает 20–25 м. Детальные микроструктурные измерения позволили оценить интенсивность вертикального турбулентного обмена в разных районах пролива в разные фазы прилива. Аномально высокие значения скорости диссипации турбулентной кинетической энергии и вертикальных потоков тепла наблюдались в слое сезонного пикноклина и придонном слое.

Натурные измерения гидрологического режима в проливе Великая Салма выполнены в рамках государственного задания FNNN-2024-0017. Исследование приливной динамики и вертикального турбулентного обмена по данным микроструктурных измерений выполнено в рамках гранта РФФИ № 25-17-00309, <https://rscf.ru/project/25-17-00309/>.

## **ЗАКОНОМЕРНОСТИ СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ПРИБРЕЖНОГО ТЕЧЕНИЯ НА ЧЕРНОМОРСКОМ ГИДРОФИЗИЧЕСКОМ ПОДСПУТНИКОВОМ ПОЛИГОНЕ**

**Кузнецов А.С.**

*МГИ, г. Севастополь*  
✉ [kuznetsov\\_as@mhi-ras.ru](mailto:kuznetsov_as@mhi-ras.ru)

**Ключевые слова:** Южный берег Крыма, прибрежное течение, инструментальный мониторинг, пространственно-временная изменчивость, энергетический спектр.

По результатам многолетнего комплексного эксперимента, выполняемого со стационарной океанографической платформы Черноморского гидрофизического подспутникового полигона МГИ у м. Кикинеиз Южного берега Крыма, определены режимные характеристики мономодального вдольберегового течения западо-юго-западных румбов и исследованы статистические и энергетические характеристики его изменчивости в диапазонах

от инерционно-гравитационных до долгопериодных климатических колебаний. Поскольку кинетическая энергия среднего течения в прибрежной зоне на порядок меньше его пульсаций, то для минимизации вклада искажений, вносимых адвективными и вергентными возмущениями в структуру стационарного течения, применена модифицированная информационная технология обработки векторных массивов поля течения, включая процедуру текущей нормировки значений скоростей течения по глубине. При этом выделяется набор когерентных по глубине изотак прибрежного течения от поверхностного до придонного слоя.

В докладе представлены результаты анализа и систематизации среднесноголетних закономерностей сезонной изменчивости вертикальных профилей нормированных скоростей прибрежного течения, где выделяются особенности динамики вод в придонном пограничном слое у Южного берега Крыма.

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

## **О РЕАКЦИИ ПОВЕРХНОСТИ МАЛОГО АРАЛЬСКОГО МОРЕЯ НА СОЛЕ-ПЫЛЕВЫЕ БУРИ, ВЫЗВАННЫЕ СЕВЕРО-ВОСТОЧНЫМИ ВЕТРАМИ (РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ОПТИЧЕСКИХ ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ СО СПУТНИКОВ AQUA/TERRA)**

**Кузьмичёва Т.Ф.**

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

**Ключевые слова:** Малое Аральское море, спутники Aqua/Terra, оптический диапазон; соле-пылевые бури, северо-восточный ветер; течения в виде струй или грибовидных структур, направленных против ветра.

В работе показано, как реагирует поверхность Малого Аральского моря, находившаяся в состоянии покоя, на внезапное появление соле-пылевых бурь, которые в настоящей работе стали индикатором северо-восточных ветров. Первым реагирует *залив Сары-Чеганак*, находящийся на самом северо-востоке Малого моря, дно у которого песчаное, а максимальная глубина в исследуемом 2018 г. равнялась 3 метрам. Светло-зелёная поверхность приобретает светло-коричневый цвет, что свидетельствует о перемешивании воды с поднявшимся со дна песком. Часть воды через узкий пролив, разделяясь на два рукава, выходит в направлении ветра в северо-восточную часть *залива Берга*, что хорошо видно по изменившемуся цвету воды. Один рукав прижимается к северному берегу залива Берга, другой к восточному. Показано, что северный рукав может трансформироваться в циклонический вихрь диаметром 8 км.

Затем, либо в тот же день, либо на следующий, в зависимости от силы ветра, появляются области перемешивания в нагонных юго-западных областях каждой трети Малого моря. У нагонной юго-западной стороны *залива Берга*, самой восточной части Малого моря, ширина полосы перемешивания в одном случае равнялась 7 км, в другом 25 км. После прекращения ветра область перемешивания может трансформироваться в антициклонический вихрь, заполняющий собой всё пространство *залива Берга*. В нагонной юго-западной области средней части, в зависимости от силы ветра, может появляться антициклонический вихрь небольшого диаметра, который после прекращения ветра может трансформироваться в грибовидную структуру, заполняющую собой всё пространство средней части. У нагонной юго-западной стороны *залива Шевченко* сначала формируется область перемешивания, ширина которой зависит от силы ветра и в предлагаемой работе в одном случае равнялась 2,5 км, а в другом 5 км. Затем появляется струя, направленная против ветра. Струя эта после прекращения ветра может трансформироваться в грибовидную структуру.

## ИНДЕКСЫ ЦИРКУЛЯЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИНТЕНСИВНОСТИ ОСНОВНОГО ЧЕРНОМОРСКОГО ТЕЧЕНИЯ ПО ДАННЫМ АЛЬТИМЕТРИИ

Лемешко Е.Е. ✉, Лемешко Е.М.

*МГИ, г. Севастополь*  
✉ [e.lemeshko@mhi-ras.ru](mailto:e.lemeshko@mhi-ras.ru)

**Ключевые слова:** индексы циркуляции, ОЧТ, завихренность ветра, альтиметрия, реанализ ERA-5, спутниковые методы, численное моделирование, Черное море, климат.

Одним из главных элементов общей циркуляции Черного моря является Основное Черноморское течение (ОЧТ). Скорости ОЧТ имеют выраженный сезонный ход и значительную межгодовую изменчивость. Развитие спутниковой альтиметрии позволяет в квази-оперативном режиме получать информацию о положении и скоростях ОЧТ. Для оценки отклонений от сезонных и климатических норм необходимо использовать количественные показатели. Для этого предлагается использовать годовые индексы циркуляции как меру относительной изменчивости скорости течений от климатической нормы за 1993–2023 гг. Индексы рассчитывались для 4-х районов, которые определялись по максимуму модуля скорости течений. Аналогично были рассчитаны месячные индексы как мера изменчивости относительно сезонного хода скорости течений для тех же районов.

В результате совместного анализа рассчитанных индексов и завихренности скорости ветра по данным атмосферного реанализа ERA-5 за 1993–2023 гг. оказалось, что индексы для северного и восточного района зависят от завихренности скорости ветра, осредненной по всей акватории моря. Индексы для западного и южного районов лучше описываются изменчивостью завихренности скорости ветра, осредненной для западной части моря. Полученные закономерности изменчивости индексов

циркуляции могут быть использованы как для мониторинга динамики ОЧТ, так и для климатических исследований зависимости динамики моря от атмосферного воздействия.

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

## **О РЕЗУЛЬТАТАХ СИНХРОННЫХ ПРЯМЫХ И КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ СКОРОСТИ ЗВУКА В МОРСКОЙ ВОДЕ**

**Логачёв В.Н., Марьина А.А.,  
Румянцев К.А., Светличный А.С.**

*АО «Морские неакустические комплексы и системы»,  
г. Санкт-Петербург  
✉ [nac@naeco.ru](mailto:nac@naeco.ru)*

**Ключевые слова:** скорость звука, прямые и косвенные измерения, интеллектуальные измерительные системы.

**Актуальность и методы измерений.** Одним из ключевых параметров морской воды является скорость звука. Точное измерение скорости звука в воде необходимо для эффективного применения гидроакустических средств, решающих задачи освещения подводной обстановки и обеспечения безопасности мореплавания. В настоящее время измерения скорости звука в морской воде выполняются прямым или косвенным методами. Прямой метод метрологически обеспечен ГСССД 190-2000 и ГСССД 202-02, косвенный использует международное уравнение состояния морской воды TEOS-10. Поскольку данные измерения выполняются различными независимыми способами, актуальной задачей является сличение их результатов, полученных в условиях рабочих зондирований.

**Гидрологический зонд типа «ОЛД-1», как средство сличения в условиях реальных зондирований.** Гидрологический зонд типа «ОЛД-1» имеет в своем составе как канал прямого измерения скорости звука (импульсный метод), так и каналы

измерения температуры, давления и относительной электрической проводимости морской воды. Совмещение всех четырех каналов в одном устройстве позволяет выполнять как прямые, так и косвенные синхронные измерения скорости звука. По результатам нескольких сотен рабочих зондирований произведена оценка воспроизводимости измерений скорости звука.

По результатам прямых измерений можно исследовать тонкую структуру профиля скорости звука с подтверждением надежности результатами косвенных измерений. Анализ разностей показал, что в слоях с разными градиентами поля скорости звука абсолютные значения расхождения результатов прямых и косвенных измерений, выполненных (в динамическом режиме) зондом типа «ОЛД-1» не превышают 0,2 м/с. Среднеквадратическое отклонение по всему диапазону равно 0,039 м/с. Анализ разностей подтверждает практическую эквивалентность косвенного и прямого методов измерений.

**Зонд типа «ОЛД-1» как интеллектуальная измерительная система.** Измерительный канал скорости звука был откалиброван в дистиллированной воде по таблицам ГСССД 190-2000 при различных значениях температуры. Наличие в составе зонда канала прямых измерений скорости звука не только обеспечивает анализ профиля скорости звука, но и создает информационную избыточность. В соответствии с ГОСТ Р 8.673-2009 интеллектуальная измерительная система может быть построена на основе информационно-избыточных датчиков, подключенных к устройству обработки сигналов, а также датчиков, измеряющих различные величины, связь между которыми в технологическом процессе известна с требуемой точностью. Такими датчиками в зонде типа «ОЛД-1» являются преобразователи температуры, давления, электрической проводимости и вычисленная на их основе скорость звука (косвенные измерения), а также измерительный преобразователь скорости звука (прямые измерения). Реализация принципа интеллектуальной информационной системы, возможная путем модификации программного обеспечения, позволит осуществлять контроль метрологической исправности средства измерения и увеличить его межповерочный интервал.



## **ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОЛОЖЕНИЯ КРОМКИ ЛЬДА В КАНДАЛАКШСКОМ ЗАЛИВЕ БЕЛОГО МОРЯ В ЗИМНИЕ СЕЗОНЫ 2024/25 И 2025/26 ГГ. И ЕЁ СВЯЗЬ С МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ**

**Львова Е.В. , Заболотских Е.В.**

*РГГМУ, г. Санкт-Петербург*

 *lvova317@gmail.com*

**Ключевые слова:** Белое море, Кандалакшский залив, AMSR2.

В работе выполнен анализ изменчивости положения кромки льда в Кандалакшском заливе Белого моря в течение зимних сезонов 2024/25 и 2025/26 гг. Исследование основано на данных дистанционного зондирования, позволяющих проследить пространственно-временную динамику ледяного покрова в период с октября по май.

Для каждого сезона была сформирована серия положений кромки льда, на основе которой оценены особенности развития ледовых условий, сроки начала ледообразования, максимального распространения льда и его разрушения. Для выявления факторов, определяющих изменчивость ледовой обстановки, проведено сопоставление положения кромки льда с метеорологическими параметрами, включая температуру поверхности воздуха и характеристики ветрового режима.

Предварительный анализ показывает существенные различия между рассматриваемыми сезонами как по площади распространения льда, так и по продолжительности существования ледяного покрова. Наиболее интенсивное продвижение кромки льда в акваторию залива наблюдается в периоды устойчивых отрицательных температур, тогда как потепления сопровождаются её отступлением. Значительное влияние на пространственное распределение льда оказывают также ветровые условия, способствующие перераспределению ледяных масс и изменению конфигурации кромки.

## СРАВНЕНИЕ ПРОДУКТОВ СПЛОЧЁННОСТИ МОРСКОГО ЛЬДА В КАРСКОМ МОРЕ СО СПУТНИКОВЫМИ ДАННЫМИ AMSR2 ЗА 2022–2024

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

*МГИ, г. Севастополь*  
 zhuk-vlad1slav@ya.ru

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

Точные данные о сплочённости морского льда необходимы для планирования судоходства, эксплуатации прибрежной инфраструктуры и проведения климатического мониторинга в Арктике. Поскольку ледовая обстановка меняется быстро, проверка качества современных продуктов, поступающих как от оперативных моделей, так и от реанализов, остаётся одной из актуальных задач.

В работе анализируется сплочённость льда в Карском море за трёхлетний период с января 2022 г. по декабрь 2024 г. В качестве эталона использовались спутниковые данные сплоченности AMSR2, относительно которых сопоставлялись пять продуктов: модель МГИ РАН на основе комплекса NEMO 3.6, реанализы TOPAZ5, TOPAZ4, GLORYS12v1 и ORAS5. Все поля приводились к единой пространственной сетке и усреднялись для каждого месяца, после чего рассчитывались систематическое смещение (bias), среднеквадратичная ошибка (RMSE) и коэффициент корреляции (R).

По итогам сопоставления наименьшие отклонения от спутниковых данных показал ORAS5 (bias = –1,22 %; RMSE = 7,35 %; R = 0,985), близкие результаты получены и для GLORYS12v1 (bias = –1,19 %; RMSE = 8,93 %; R = 0,979). Продукты TOPAZ5 и TOPAZ4 продемонстрировали сопоставимые между собой характеристики с небольшим положительным смещением (2,47 % и 3,13 % соответственно) и RMSE в диапазоне 11,4–12,2 % при сохранении высокой корреляции (0,966 и 0,962). Для модели МГИ РАН bias составил 2,25 %, RMSE = 18,32 %, а корреляция оказалась несколько ниже, чем у остальных продуктов (R = 0,906). При

этом стоит отметить, что полученные характеристики находятся на сопоставимом с остальными продуктами уровне, несмотря на отсутствие в модели процедур прямой ассимиляции спутниковых данных о сплочённости ледового покрова.

Рассмотрение сезонного хода ошибок относительно AMSR2 показало, что в период устойчивого ледостава (январь–май) модель МГИ РАН демонстрирует низкие значения смещения (до 0,05), по точности соответствия спутниковым данным не уступая, а в отдельные месяцы и превосходя рассмотренные продукты. Наибольшие расхождения у модели приходятся на период активного таяния льда в июне и июле, когда смещение возрастает до 0,15–0,16, а стандартное отклонение ошибки достигает 0,265–0,267, заметно превышая значения других продуктов. Для GLORYS12v1 характерен переход от слабого отрицательного смещения зимой (январь–апрель, около –0,02) к положительному в начале лета (май–июль, до 0,05–0,06). TOPAZ4 на протяжении почти всего года сохраняет небольшое положительное смещение с максимумами в феврале (0,09) и декабре (0,06), тогда как ORAS5 в течение всего годового цикла держится ближе к нулевой линии и обладает наименьшей сезонной изменчивостью ошибки среди всех рассмотренных продуктов.

Исследование выполнено в рамках государственного задания № FNNN-2024-0017.

## **ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА ЯРКОСТИ ТОЛЩИ ВОД В ПРИБРЕЖНО-ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ 2002–2025**

**Маньковская Е.В. ✉, Корчёмкина Е.Н.**

*МГИ, г. Севастополь*  
✉ [emankovskaya@mhi-ras.ru](mailto:emankovskaya@mhi-ras.ru)

**Ключевые слова:** коэффициент яркости, Черное море, глубина видимости белого диска, угол цветности, доминирующая длина волны, чистота цвета.

В докладе рассмотрены измерения спектрального коэффициента яркости вод Черного моря за период с 2002 по 2025 гг., полученные на стационарной океанографической платформе Морского гидрофизического института в пгт. Кацивели, а также в экспедициях НИС «Профессор Водяницкий» на станциях с глубиной до 200 м. Рассчитаны средние спектры коэффициента яркости в различные месяцы года за указанный период, проанализирована сезонная и годовая изменчивость яркости толщи вод Черного моря, построены пространственные распределения спектральных максимумов коэффициента яркости. По измеренным спектрам коэффициента яркости рассчитаны цветовые характеристики: доминирующая длина волны в спектре излучения моря, чистота цвета воды, угол цветности. Получены эмпирические соотношения для цветовых характеристик коэффициента яркости и глубины видимости белого диска.

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

## **ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ В ГЛУБИННЫХ СЛОЯХ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ СОВРЕМЕННЫХ ЭКСПЕДИЦИЙ**

**Морозов А.Н.✉, Маньковская Е.В.**

*МГИ, г. Севастополь*  
✉ [anmorozov@mhi-ras.ru](mailto:anmorozov@mhi-ras.ru)

**Ключевые слова:** Черное море, потенциальная температура, термическая структура, изотермический слой, глубинный слой, изопикнические поверхности.

В докладе обсуждаются результаты анализа материалов 87-го и 95-го рейсов НИС «Профессор Водяницкий», проходивших летом 2016 и 2017 гг. в центральном секторе северной части

Черного моря. Основной акцент сделан на исследование современного состояния термической структуры вод в диапазоне глубин от 400 м до 1600 м.

CTD-измерения выполнялись зондом *SBE 911Plus*. В качестве количественного параметра, характеризующего неоднородность распределения потенциальной температуры на изопикнических поверхностях, принималось среднеквадратичное отклонение от ее среднего значения. Для установления основных факторов, определяющих неоднородность распределения температуры, рассматривались полиномиальные зависимости ее вариаций на изопикнах от географических координат и глубины моря.

Получено, что в изотермическом слое в диапазоне глубин от 400 м до 650 м большая часть вариаций температуры может быть представлена полиномиальной зависимостью от географических координат (коэффициент детерминации 0,8). Изопикнически осредненный профиль потенциальной температуры в этом слое показывает наличие пары максимум и минимум, которая наиболее контрастно проявляется в юго-восточной части полигона. В северо-западной части полигона осредненный профиль потенциальной температуры проявляет почти монотонное увеличение ее значения с глубиной. В центре изотермического слоя распределение потенциальной температуры выявляет структурированную зависимость от долготы и широты. В слое глубин от 950 м до 1600 м вариации температуры в основном определяются линейной зависимостью от глубины моря, с коэффициентом детерминации не менее 0,7.

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

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ СОЛЁНОСТИ ВОДЫ В ЧЕРНОМ МОРЕ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ ВИДИМОГО ДИАПАЗОНА

**Морозов Е.А.**

*МГИ, г. Севастополь*

✉ [frisman@list.ru](mailto:frisman@list.ru)

**Ключевые слова:** солёность, спутниковые данные видимого диапазона, ОС-CCI, Черное море, искусственные нейронные сети.

Исследована способность полносвязных искусственных нейронных сетей с двумя скрытыми слоями, содержащими различное число нейронов, восстанавливать поверхностную солёность (0–5 м) в Черном море. В качестве входных данных использованы объединенные мультисенсорные данные видимого диапазона ОС-CCI. Солёность представлена данными судовых измерений и буев Argo. Точность оценивалась по коэффициенту корреляции и среднеквадратической ошибке. Исследована 121 нейронная сеть с числом нейронов в первом и втором скрытых слоях от 5 до 90. Определены пределы параметров архитектуры сети, выход за пределы которых не рекомендуется. Показано, что оптимальное число нейронов первого и второго скрытых слоев соответственно находится в диапазоне 15–30 и 10–30. Общее число нейронов не должно превышать 60, а соотношение числа нейронов в соседних слоях – 2,5. Число связей между нейронами должно находиться в диапазоне от 1000 до 3000. Полученные результаты являются важным этапом в разработке алгоритма восстановления поверхностной солёности, а также могут быть использованы для выбора архитектуры нейронных сетей, используемых в аналогичных моделях.

Исследовано влияние учета дополнительных предикторов (географические координаты, день года) на точность восстановления поверхностной солёности.

## МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК ХОЛОДНОГО ПРОМЕЖУТОЧНОГО СЛОЯ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА (1993–2025 ГГ.)

Новицкая В.П. ✉, Новицкий А.В., Нуриев С.А.

*МГИ, г. Севастополь*

✉ [victory.novitskaya@mhi-ras.ru](mailto:victory.novitskaya@mhi-ras.ru)

**Ключевые слова:** холодный промежуточный слой, межгодовая изменчивость, термическая структура, Чёрное море, реанализ.

Исследована многолетняя динамика ключевых характеристик холодного промежуточного слоя (ХПС) в прибрежной зоне Южного берега Крыма (ЮБК) за период 1993–2025 гг. Работа выполнена на основе данных реанализа Copernicus Marine Service. С использованием программного комплекса MATLAB проведен анализ вертикальных профилей температуры для прибрежного района ЮБК. На основе изотермы 8,35 °C, принятой в качестве современной границы ХПС, рассчитаны интегральные индексы мощности ядра ХПС.

Анализ изменчивости вертикального распределения температуры воды Чёрного моря показывает, что ограничивающая ХПС изотерма 8,35°C непрерывно регистрировалась в слое от 30 до 140 м до 2019–2020 гг., за исключением периодов её отсутствия в 2011 г. и 2014–2016 гг. После 2020 г. ХПС практически полностью исчезает из вертикальной структуры вод, кратковременно проявляясь лишь на глубинах 70–90 м в зимне-весенний период 2023 г. Данная динамика подтверждается ходом расчетного интегрального индекса мощности ядра ХПС на глубинах более 30 м, демонстрирующим устойчивый отрицательный тренд со скоростью -2,850 °C·м/год.

Важность района ЮБК заключается в морфологии его дна: из-за узкого шельфа глубоководные процессы здесь напрямую влияют на прибрежную зону. Динамика вод в этом районе определяется частыми апвеллингами и сгонами, выносящими ХПС к поверхности. Данные реанализа показывают, что в период

2015–2025 гг. из-за прогрессирующей деградации ХПС существенно изменились физические свойства поднимающихся к берегу вод, что напрямую отразилось на термическом режиме прибрежной зоны Крыма.

## **ОСОБЕННОСТИ ЗИМНЕЙ ДИНАМИКИ ТЕЧЕНИЙ НА ШЕЛЬФЕ КРЫМА ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ ADCP-ИЗМЕРЕНИЙ**

**Новицкий А.В.**

*МГИ, г. Севастополь*  
✉ [unovalex@mail.ru](mailto:unovalex@mail.ru)

**Ключевые слова:** ADCP, шельф Крыма, Черное море, изменчивость течений, инерционные колебания, бризовая циркуляция, спектральный анализ.

Представлены результаты анализа пятимесячной серии натуральных измерений течений, выполненных стационарным профилографом ADCP WorkHorse Sentinel (600 кГц) на шельфе Крыма (пгт. Качивели) с ноября 2024 по март 2025 г. Исследованием охвачен вертикальный слой 1–24 метра, что позволило детально описать динамические процессы в зимний период при слабой стратификации вод.

Установлено, что прибрежная динамика полностью подчинена вдольбереговому переносу на запад–юго-запад со средними скоростями 8–10 см/с, обусловленному влиянием Основного Черноморского течения (ОЧТ). Вертикальные профили скоростей указывают на квазибаротропный характер течений со слабым сдвигом ( $0,2\text{--}0,4\text{ см/с}\cdot\text{м}^{-1}$ ) и высокой корреляцией между горизонтами ( $r > 0,65$ ). На фоне монотонного транзита по данным прогрессивных векторных диаграмм фиксируются петлеобразные структуры синоптического масштаба (3–12 суток), формирующие известную бимодальность течений региона.

Спектральный анализ выявил сильную пространственную анизотропию основных энергетических пиков. На зональной



компоненте  $U$  обнаружен выраженный инерционный пик на 18,18 ч; его низкочастотное смещение на 0,78 ч относительно теоретического значения (17,40 ч) указывает на антициклоническую относительную завихренность фонового потока ОЧТ в зимний период. На меридиональной компоненте  $V$  инерционные колебания подавлены береговой чертой, однако в поверхностном слое до 9 м доминирует резкий суточный пик (24 ч) бризового происхождения. Полученные результаты количественно описывают механизмы трансформации волновых движений под влиянием береговых ограничений и крупномасштабной циркуляции.

## **КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ВОДНЫХ МАСС ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ РЕАНАЛИЗА GLORYS ЗА ПЕРИОД 1993–2020 ГГ.**

**Павлушин В.А.**

*МГИ, г. Севастополь*  
✉ [pavlushin.92@mail.ru](mailto:pavlushin.92@mail.ru)

**Ключевые слова:** Атлантический океан, сезонная изменчивость, спутниковые измерения, течения.

В работе проводится кластеризация водных масс юго-восточной части Атлантического океана на основе данных реанализа GLORYS12 за период 1993–2020 гг.

Юго-восточная часть Атлантического океана (район Намибии и Анголы) является одним из наиболее динамически сложных регионов Мирового океана с точки зрения взаимодействия водных масс. Здесь сходятся течения и водные массы субтропического, тропического и субполярного происхождения, формируя устойчивый набор из четырёх основных типов, каждый из которых несёт уникальную комбинацию термохалинных характеристик и биогеохимических свойств.

Область исследования охватывает восточную часть Южной Атлантики в диапазоне 5–20° в. д., 38–18° ю. ш. Выбор региона

обусловлен наличием здесь нескольких конкурирующих водных масс различного происхождения, интенсивной системой прибрежного апвеллинга и значимостью зоны для продуктивности Намибийско-Ангольского шельфа. Для анализа вертикальной структуры использовался слой 0–500 м, перекрывающий пространство залегания основных центральных и промежуточных водных масс.

## ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ВЕТРОВЫХ ВОЛН ПО КАЧКЕ СУДНА В РЕЖИМЕ ПОПУТНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Панов Д.К.<sup>1✉</sup>, Дронов М.П.<sup>2</sup>, Юровский Ю.Ю.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> МФТИ, г. Долгопрудный

<sup>2</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

<sup>3</sup> МГИ, г. Севастополь

✉ [panov.dk@phystech.edu](mailto:panov.dk@phystech.edu)

**Ключевые слова:** поверхностные волны, попутные измерения, инерциальный датчик, ГНСС измерения.

Инструментальное определение параметров ветрового волнения представляет собой актуальную задачу океанографии, имеющую важное прикладное значение для верификации и калибровки волновых моделей и спутниковых алгоритмов. Долговременные постановки волноизмерительных буйев, равно как и экспедиционные измерения, хотя и позволяют формировать репрезентативные временные ряды, необходимые для решения широкого круга задач, характеризуются значительными материальными затратами и не всегда осуществимы в рамках стандартных рейсов. Альтернативой специализированным измерениям служат попутные наблюдения, выполняемые с борта судов без привлечения дополнительных ресурсов и участия персонала (см., например, Voluntary Observing Ships, VOS).

В настоящей работе рассмотрена возможность проведения подобных попутных измерений на основе массива данных,

полученных в ходе научного рейса НИС «Профессор Молчанов» в июле 2026 г. в акватории Баренцева моря. На борту судна была развернута система регистрации его пространственного движения, включающая магнитно-инерциальные датчики (акселерометр, гироскоп и магнитометр) и ГНСС-приемники, установленные в нескольких точках на корпусе судна. Продолжительность измерительной кампании составила около 22 суток при общем пройденном пути порядка 5000 км. В течение этого периода были зафиксированы как штилевые условия, так и эпизоды развивающегося и затухающего волнения с максимальным периодом спектрального пика до 10 с и значительной высотой волн около 2 м.

В качестве референтных данных для верификации алгоритмов восстановления волновых параметров использовались результаты измерений, выполненных на 45 океанологических станциях, расположенных на четырех разрезах между архипелагами Новая Земля и Земля Франца-Иосифа. Измерения на станциях проводились с помощью экспериментальных образцов волноизмерительных буев, апробированных ранее в Черном море и оснащенных дополнительными ГНСС-датчиками. Волновые поля в пределах станции и в течение получаса до и после ее выполнения (что соответствует ~10 км пройденного пути при скорости судна ~10 уз) принимались стационарными и пространственно однородными, что позволило сформировать репрезентативный массив данных для тестирования алгоритмов оценки волновых характеристик.

Для восстановления спектральных и интегральных параметров волнения были проанализированы различные комбинации измерений: акселерометра, гироскопа и магнитометра (с учетом существенных искажений сигнала, обусловленных намагниченностью корпуса судна и большим магнитным наклоном, характерным для высоких широт), а также вертикальных и горизонтальных доплеровских скоростей судна, полученных по прямым ГНСС-наблюдениям относительно видимых спутников. Основной вклад в энергию собственных колебательных движений судна вносят бортовая и килевая качка с характерными периодами ~8,5 и ~4,5 с соответственно. Высокочастотные помехи, связанные с вибрациями корпуса от работы судовых механизмов и обтекания выступающих частей, проявляются на

частотах порядка 5 Гц и выше, что значительно превышает частотный диапазон энергонесущих волн и не оказывает влияния на точность оценки их параметров.

Работа выполнена по результатам экспедиции «Арктический Плавающий университет» в рамках Всероссийской научно-образовательной программы «Плавающий университет» (соглашение № 075-03-2026-305), при поддержке Госзадания ФГБУН ФИЦ МГИ № FNNN-2024-0001.

## **ОСОБЕННОСТИ ВОДООБМЕНА ЧЕРЕЗ ПРОЛИВ ХИНЛОПЕНА (АРХ. ШПИЦБЕРГЕН)**

**Петренко Л.А.**

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

**Ключевые слова:** архипелаг Шпицберген, пролив Хинлопена, водообмен, ветровое воздействие, атлантические воды, полярные воды.

Пролив Хинлопена разделяет острова Западный Шпицберген и остров Северо-Восточная Земля архипелага Шпицберген и играет заметную роль в формировании гидрологических и ледовых условий в районе архипелага. Исследовались особенности переноса вод через пролив в зависимости от ветровых условий и ледовой обстановки.

В ходе работы были использованы радиолокационные изображения Sentinel-1 A/B за 2014–2021 гг., данные судовых CTD- и LADCP-измерений, выполненных летом 2014 г., а также данные о ветре из реанализов ECMWF и ERA5.

В ходе исследования было установлено, что направление переноса вод в проливе Хинлопена определяется ветровыми условиями и наличием льдов на его концах. Перенос в южном направлении наблюдается при умеренных и сильных северо-западных ветрах у северной границы пролива. Напротив,

формирование течения с юга на север происходит при ветрах юго-восточных румбов в южной части пролива. Северный перенос также может усиливаться при восточных ветрах в северной части Баренцева моря.

Данные LADCP-измерений показали сложную вертикальную структуру течений. Выявлено, что в северной части пролива происходит заток теплых атлантических вод в подповерхностном слое вдоль западного берега. Атлантические воды прослеживаются на глубинах от 75 м и ниже. По данным судовых измерений в августе 2014 г. температура воды и соленость в проливе убывали по направлению к восточному берегу, вдоль которого отмечался встречный поток более холодных и менее соленых вод. Скорости переноса вод в проливе в августе 2014 г. не превышали 30 см/с. Усиление южных ветров, проходящих через пролив, приводит к отжимному смещению и деформации ледяного поля и поддерживает размеры полыньи к северу от архипелага Шпицберген.

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

## **УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ШТОРМОВЫХ СИТУАЦИЙ В РАЙОНЕ МОРСКОЙ СТАНЦИИ ЧЕРНОМОРСКОЕ**

**Полозок А.А.<sup>1,2✉</sup>, Полозок П.В.<sup>2</sup>, Фомина И.Н.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> МГИ, г. Севастополь

<sup>2</sup> ГОИН, г. Москва

✉ [polozok.umi@gmail.com](mailto:polozok.umi@gmail.com)

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

Исследование условий возникновения штормовых ситуаций на западном побережье Крыма является актуальной задачей. В

данной статье описана штормовая активность в районе пгт. Черноморское, где шторма неоднократно приводили к затоплению частных домовладений и разрушали объекты прибрежной инфраструктуры.

Для изучения условий возникновения штормовых ситуаций в районе морской гидрометеорологической станции (МГ) Черноморское проведен анализ срочных данных по уровню моря (3 измерения в сутки) за период 01.01.2007 – 31.10.2011 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 МГ Черноморское установлено, что за период 01.01.2007–31.10.2011 наблюдалось 20 опасных нагонов. Опасные сгоны в указанный временной интервал не фиксировались.

Штормовые нагоны в 20 % случаев сопровождались ветром ЗСЗ направления со скоростью 7–20 м/с. В 3 ситуациях (15 % случаев) во время штормовых повышений уровня дул ветер СЗ направления со скоростью 9–10 м/с. По 2 раза опасные нагоны сопровождались ветром С направления со скоростью 6–11 м/с и ветром ССЗ направления со скоростью 6–8 м/с.

По 1 разу штормовые повышения уровня возникали при ветрах ЗЮЗ, В, ЮЗ, ЮЮВ, ССВ, З, ЮЮЗ, СВ, ВЮВ направлений. Скорость ветра колебалась от 2 до 13 м/с.

Наибольшее повышение уровня (до 530 см) за указанный период произошло 11 ноября 2007 г. Штормовой нагон сопровождался ветром ЗСЗ направления со скоростью 20 м/с. Фактический измеренный уровень моря был выше установленных критических отметок на протяжении суток.

Наиболее часто опасные нагоны в районе МГ Черноморское наблюдались в марте (7 ситуаций) и феврале (6 ситуаций). По 1 штормовому повышению уровня зарегистрировано в январе, июне, июле, августе, сентябре, ноябре и декабре. В апреле, мае, октябре опасные гидрологические ситуации не наблюдались.

За рассматриваемый временной интервал в 20 % случаев (4 ситуации) штормовым нагонам предшествовал ветер ЗЮЗ направления. 3 раза (15 % случаев) перед опасным повышением уровня моря дул ветер ВСВ направления. По 2 раза перед штормовым нагоном фиксировали ветра ЗСЗ, ЮЗ, СЗ, З, ЮЮЗ, С направлений. Ветер ССВ направления наблюдался перед штормовой ситуацией 1 раз.

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

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

## **ИЗУЧЕНИЕ АПВЕЛЛИНГОВ ПО ДАННЫМ ТЕРМОПРОФИЛЕМЕРА В 2021–2023 ГГ. В РАЙОНЕ ЮБК**

**Рубакина В.А. ✉, Симонова Ю.В.,  
Кубряков А.А., Гайский П.В.**

*МГИ, г. Севастополь*  
✉ [valenru93@mail.ru](mailto:valenru93@mail.ru)

**Ключевые слова:** температура моря, апвеллинг, контактные измерения, измерительная система, Южный берег Крыма, Черное море, спутниковые данные.

В настоящей работе продемонстрирована возможность использования данных термопрофилемера, установленного на Океанографической платформе ЧГПП МГИ в Качивели в 2021–2023 гг., для исследования термических процессов и явлений, таких как апвеллинг, в прибрежной зоне Чёрного моря в районе Южного берега Крыма (ЮБК). Показано, что данные термопрофилемера могут быть успешно использованы для мониторинга

высокочастотной изменчивости температуры моря в зоне ЮБК. Временной ход температуры поверхности моря по данным термопрофилемера хорошо согласуется с контактными береговыми измерениями.

В работе представлен статистический анализ событий апвеллинга. За исследуемый период по данным термопрофилемера выделен 21 полный прибрежный апвеллинг в разные сезоны года. Эти события подтверждаются данными береговых измерений и дистанционного зондирования.

Были рассмотрены наиболее яркие случаи апвеллинга для каждого из четырех сезонов: их длительность и временное развитие, амплитуда, ветровые условия формирования, проведена оценка скорости поднятия глубинных вод.

Установлено, что временные лаги между максимумом вдоль-берегового ветра и подъемом холодных вод на поверхность в теплое время года составляют около 24 часов и более, в холодное время года около 10–12 часов. Это связано, прежде всего, с бароклинностью апвеллингов (устойчивой стратификацией) летом и интенсивным конвективным перемешиванием в осенне-зимние сезоны. Эти процессы хорошо отображают диаграммы вертикального распределения, построенные по данным термопрофилемера. Сезонная изменчивость величины временного лага наглядно продемонстрирована на рассмотренных в настоящей работе событиях апвеллинга.

Проанализирована связь событий апвеллинга со скоростью ветра. Определено, что максимальные величины перепада температур за период апвеллинга наблюдаются при положительных направлениях  $x$ -компоненты скорости ветра, т. е. при западных направлениях. Наиболее ярко выраженными являются апвеллинги, зарегистрированные в теплый период года.

В работе показано, что рассмотренные события апвеллинга подтверждаются спутниковыми данными сканеров MODIS и SEVIRI. Разность ТПМ в зоне апвеллинга и окружающих водах варьируется от 2–3 °C для осенне-зимнего периода до 10–15 °C в летние месяцы.

Сочетание спутниковой информации с данными контактных наблюдений способствует всестороннему анализу термических



процессов на разных пространственно-временных масштабах. Поскольку в основе контактных и спутниковых измерений лежат различные физические принципы и различные горизонты измерения, это нужно учитывать при сопоставлении этих данных.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ по темам FNNN-2024-0012, FNNN-2024-0016 и FNNN-2024-0001.

## **ДИНАМИКА МОРСКОГО ЛЬДА В ОБЬ-ЕНИСЕЙСКОМ УСТЬЕВОМ РЕГИОНЕ (ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ)**

**Ситак Н.П. ✉, Петренко Л.А.**

*МГИ, г. Севастополь*  
✉ [java.javasik@gmail.com](mailto:java.javasik@gmail.com)

**Ключевые слова:** ледовые условия, Карское море, спутниковые радиолокационные снимки, речной сток, ветровой режим, ледообразование, дрейф льда, метод максимальной кросс-корреляции, климатические изменения.

В работе представлены результаты анализа многолетней изменчивости ледовых условий в Обь-Енисейском устьевом регионе Карского моря по данным спутникового мониторинга за период 2015–2024 гг. Исходным материалом послужили радиолокационные снимки уровня L1 со спутников Sentinel-1 A/B, полученные через платформу Alaska Satellite Facility, а также оптические данные. Обработка включала радиометрическую калибровку и геокодирование в средах SNAP и MATLAB, что позволило построить серию карт положения ледовой кромки с высоким пространственным разрешением.

Установлено, что продолжительность ледообразования варьировалась от 7 до 28 суток, а максимальные скорости распространения ледовой кромки (до 80 км/сут) наблюдались при

восточных ветрах; западные и южные ветры, напротив, препятствовали продвижению льда. До 2018 г. в осенний период устойчиво преобладали южные ветры, однако в последующие годы ветровой режим стал менее предсказуемым с ростом доли восточных и северных румбов. Для весеннего периода (март 2024 г.) методом максимальной кросс-корреляции оценены скорости дрейфа льда в устьевой зоне Обской губы: при северных и северо-западных ветрах скорости не превышали 30 см/с, тогда как при интенсивном южном ветре (до 15 м/с) дрейф ускорялся до 0,5 м/с с образованием зон разрежения и трещин. Полученные результаты подтверждают определяющую роль ветрового режима в формировании ледовой обстановки и могут быть использованы для совершенствования прогнозов ледовых условий в целях обеспечения безопасности судоходства.

## **СЕЗОННОЕ КЛИМАТИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ АРКТИКИ И АНТАРКТИКИ В РАМКАХ РЕГИОНАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ ВМО**

**Смоляницкий В.М. ✉, Даньшина А.В., Ревина А.Д.**

*ААНИИ, г. Санкт-Петербург*  
✉ [vms@aari.aq](mailto:vms@aari.aq)

**Ключевые слова:** климатическое обслуживание, региональный климатический центр ВМО, сезонный мониторинг, сезонное прогнозирование, температура воздуха, осадки, морской лед, термохалинные характеристики, ERA5, CMEMS.

Сезонное климатическое обслуживание в рамках Всемирной метеорологической организации (ВМО) подразумевает реализацию следующих основных функций: мониторинга метеорологических условий за прошедший сезон на основе синтеза достоверных данных наблюдений (наземных и дистанционных) и численных реанализов и прогнозирования метеорологических условий на новый сезон на основе информации

назначенных центров долгосрочного прогнозирования с преимущественным использованием ансамблевого мультимодельного подхода (wmo1c.org). Список характеризуемых параметров должен включать как глобальные климатически-значимые переменные (КЗП) – приземную температуру воздуха (ПТВ) и осадки, так и региональные переменные, в случае Арктики и Антарктики – это параметры морского льда, полярного океана и наземной криосферы.

Для регионов Арктики (к северу от 50°/60° с. ш. для Американского/Евразийского секторов) и Антарктики (к югу от 60° ю. ш.) обслуживание реализуется Арктическим и Антарктическим региональными климатическими центрами – сеть ВМО (АркРКЦ-сеть – [arctic-rcc.org](http://arctic-rcc.org), АнтРКЦ-сеть – [antarcticrcc-network.org](http://antarcticrcc-network.org)) и соответствующими Арктическим и Антарктическим климатическими форумами (два раза в год, май/ноябрь), поддерживаемыми консорциумами национальных метеорологических служб (в случае АнтРКЦ-сеть также национальными научными центрами) с поддержкой Мировым центром данных «Морской лед» ФГБУ «ААНИИ» функции сезонного мониторинга и координацией подготовки консенсусных заявлений ([wdc.aari.ru/prcc](http://wdc.aari.ru/prcc)).

Разработанный ААНИИ для Арк/АнтРКЦ-сеть формат консенсусных заявлений включает в части сезонного мониторинга статистические характеристики (аномалии, ранги) ПТВ, осадков, морского льда (ледовитость, кромка, толщина), полярного океана (температура поверхности океана – ТПО, теплосодержание, соленость) и наземной криосферы (теплосодержание поверхностного слоя) на основе данных полярных станций (Арктика, Антарктика), ледового анализа и наиболее репрезентативных по совокупному критерию разрешение–временной охват–погрешность реанализов ERA5 C3S (Copernicus Climate Change Service) и анализа и прогнозирования Мирового океана CMEMS (Copernicus Marine Environment Monitoring Service). Раздел сезонного прогнозирования, формируемый членами консорциумов Арк/АнтРКЦ-сеть, включает как вероятностный, так и детерминистский прогноз ПТВ, осадков и ТПО, равно верификацию

предыдущего прогноза. Представление обзорной и прогностической информации выполняется с месячной и сезонной дискретностью по стандартным (зима–весна–лето–осень) и скользящим (ЯФМ, ФМА и т. д.) сезонам и обобщением по регионам и субрегионам Арк/АнтрКЦ-сеть, например, моря Западной/Восточной/Канадской Арктики или сектора Антарктического п-ова/ Западной/ Восточной Антарктики/моря Росса–Плато.

В качестве иллюстративной основы доклада используются обзорная информация по морской и наземной Арктике и Антарктике за период с сентября 2025 по август 2026 гг., прогностическая информация на октябрь–декабрь 2026 г. и актуальная информация по региональным трендам отдельных КЗП за 1996–2025/2026 гг.

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).

## **ВЫЯВЛЕНИЕ ЗОН ЦВЕТЕНИЯ ФИКОЭРИТРОЦИАНИН СОДЕРЖАЩЕГО ФИТОПЛАНКТОНА В ТАГАНРОГСКОМ ЗАЛИВЕ ПО СПУТНИКОВЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ**

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

*МГИ, г. Севастополь*

✉ *sstanichny@mail.ru*

**Ключевые слова:** Таганрогский залив, цианобактерии, OLCI, MSI, Sentinel, фикоэритроцианин.

Массовое развитие цианобактерий классифицируется как вредоносное цветение, поскольку представляет серьезную угрозу

для водных экосистем и здоровья человека. Это определяет особую важность развития методов детектирования зон цветения таких цианобактерий. Типичные для Таганрогского залива цианобактерии содержат фикоцианин (ФЦ), поглощающий в красной области спектра, однако, ряд видов наряду с фикоцианином содержат и фикоэритрин (ФЭ), поглощающий в синезеленой области спектра солнечного излучения. ФЭ-содержащий фитопланктон может находиться как в плавающем состоянии, создавая на поверхности сплошной слой (маты), так и во взвешенном. Соответственно спектры в таких зонах будут существенно отличаться, особенно в ближнем ИК диапазоне.

Для идентификации зон цветения цианобактерий анализировались спутниковые данные оптического диапазона Sentinel-3 OLCI, MSI Sentinel-2. Учитывая, что яркость восходящего излучения обратно пропорциональна поглощению, в зонах развития цианобактерий, содержащих фикоэритроцианин (ФЭЦ), должно наблюдаться уменьшение яркости во всём видимом диапазоне спектра. Максимальные величины яркости восходящего излучения наблюдаются во фронтальных конвергентных зонах скопления фитопланктона. Были предложены спектральные индексы для детектирования зон развития ФЭЦ содержащих цианобактерий.

Такие цветения ФЭЦ-содержащих цианобактерий в Таганрогском заливе наблюдаются ежегодно с середины июня по середину августа при температуре вод от 24 °С.

Исследование выполнено в рамках гранта РНФ № 26-17-00198 «Изучение влияния антропогенных катастроф на характеристики морской среды на основе данных спутникового дистанционного зондирования».

## АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК МОРСКИХ ВОЛН ТЕПЛА БЕРИНГОВА МОРЕЯ ЗА 1993–2022 ГГ.

Травкин В.С.<sup>1,2</sup>✉, Белоненко Т.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> СПбПУ, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup> СПбГУ, г. Санкт-Петербург

✉ vtravkin99@gmail.com

**Ключевые слова:** морские волны тепла, морской лед, Берингово море, спутниковые наблюдения.

Морские волны тепла (МВТ) представляют собой дискретные события в той или иной части Мирового океана, при которых температура воды на протяжении 5 и более суток превышает 90 % перцентиль температуры воды (за 30-летний промежуток) для данного календарного периода. В последнее время МВТ были обнаружены во многих частях Мирового океана, при этом они могут быть причиной социально-экономических потерь, поскольку негативно влияют на состояние морской экосистемы. Такие явления могут существовать на протяжении нескольких месяцев и даже лет, занимая сотни тысяч км<sup>2</sup>. Образование МВТ может быть связано как с океанологическими, так и с атмосферными процессами. При этом обнаружено наличие связи между интенсивностью МВТ и крупномасштабными климатическими процессами, например, Эль-Ниньо.

Климатические изменения последних десятилетий привели к существенному увеличению как числа МВТ, так и их интенсивности, причем наибольший рост обнаружен в высоких широтах и Арктическом бассейне.

Районом исследования является Берингово море, играющее важную роль в добыче рыбы, при этом подверженное существенным изменениям ледового режима, а также увеличению температуры воды на поверхности. Целью данной работы является обнаружение МВТ в Беринговом море и анализ их основных характеристик, а именно: количества, продолжительности жизни,

интенсивности, кумулятивной величины, пространственного распространения, а также сезонной и межгодовой изменчивости.

Полученные результаты свидетельствуют о статистически значимом увеличении всех параметров МВТ, а именно: количества (+1 событие за декаду), средней интенсивности (+0,17 °C за декаду), средней и суммарной продолжительности (+4,1 сут. и +24 сут. соответственно). В глубоководных частях Берингова моря зафиксировано наибольшее количество МВТ (более 70 случаев за 30 лет), при этом они относительно слабы (интенсивность менее 1,5 °C), тогда как на шельфе МВТ более интенсивны (2,7 °C в среднем) и продолжительны (до 60 сут.). Обнаружена отрицательная значимая корреляция между интенсивностью МВТ и глубиной перемешанного слоя (−0.61), демонстрирующая ключевую роль стратификации – в районах с небольшим перемешанным слоем даже малое поступление тепла приводит к формированию сильных аномалий температур воды, тогда как в районах с развитым верхним перемешанным слоем обнаружены волны малой интенсивности, но с большей продолжительностью.

Максимальная интенсивность МВТ обнаружена в июле (около 2,15 °C), а наибольшая продолжительность в октябре–марте. Теплосодержание МВТ максимально в зимне-весенний период. Наиболее интенсивная МВТ в Беринговом море наблюдалась в 2017–2018 гг. и в отдельные периоды занимала 90 % акватории. Ее эволюция сопровождалась рекордным сокращением площади морского льда, а также аномалиями температуры воды на поверхности до 3 °C по сравнению со среднеклиматическими значениями.

Авторы выражают благодарность за финансовую поддержку исследования Санкт-Петербургскому государственному университету (грант № 129659573). Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение № 075-03-2026-218, проект FSEG-2026-0020).

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИН ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ В РАЙОНЕ БАКАЛЬСКОЙ КОСЫ ПО ДАННЫМ SENTINEL-2/MSI С ПРИМЕНЕНИЕМ ДВУХКАНАЛЬНОЙ КАЛИБРОВКИ

Федоров С.В.<sup>1✉</sup>, Станичный С.В.<sup>1</sup>, Алескерова А.А.<sup>1</sup>,  
Харитонов Л.В.<sup>1</sup>, Руднев В.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> МГИ, г. Севастополь

<sup>2</sup> ИО РАН, г. Москва

✉ s.fedorov.mhi@gmail.com

**Ключевые слова:** спутниковая батиметрия, Бакальская коса, Каркинитский залив, Sentinel-2, MSI.

Появление спутниковых оптических сканеров цветности с высоким пространственным разрешением и частотой съёмки, дало мощный толчок развитию методов определения глубин моря по дистанционным данным. Спутниковая батиметрия – это метод определения глубин прибрежных мелководий, основанный на анализе спектральной яркости водной поверхности, восстановленной по данным оптических сенсоров.

Согласно Международной гидрографической организации, спутниковая батиметрия служит важным источником данных для оценки актуальности навигационных карт и рационального планирования мест проведения судовых промерных работ. Особенно она востребована в акваториях, где регулярные судовые промеры затруднены или экономически нецелесообразны, в частности в зонах с быстрыми изменениями рельефа дна и береговой линии. Одним из таких районов является Каркинитский залив и ландшафтно-рекреационный парк «Бакальская коса».

Ранее авторами была продемонстрирована принципиальная возможность восстановления спутниковой батиметрии для акватории Каркинитского залива. В настоящей работе предложена усовершенствованная методика, основанная на построении временного композита по серии снимков



Sentinel-2/MSI. Формирование такого композита позволяет отбирать сцены или их отдельные фрагменты, характеризующиеся оптимальными погодными условиями и наименьшей мутностью воды – фактором, который, как известно, вносит наиболее существенные искажения в точность спутниковой батиметрии.

Другая особенность данной методики заключается в дифференцированном подходе к расчёту глубин: на мелководье (до 4 м) использовались коэффициенты яркости красного канала, на больших глубинах – зелёного. Такое разделение обусловлено различным поглощением солнечного излучения в этих спектральных диапазонах, а следовательно, и разной чувствительностью к изменениям глубины.

Описанная методика использовалась для расчетов спутниковой батиметрии за период 2017–2025 гг. Калибровка и валидация выполнялась по данным эхолотных съёмок, проведённых в июне 2018 и 2019 гг. В диапазоне глубин 1–9 м средняя абсолютная ошибка (MAE) составила 0,46 м, среднеквадратическое отклонение (RMSE) – 0,57 м, систематическая ошибка – минус 0,29 м, что указывает на систематическое занижении расчётных глубин. Значения абсолютной (AbsAcc) и относительной (RelAcc) точности равны 0,9, что подтверждает очень высокую достоверность полученных оценок. Коэффициент корреляции между спутниковыми и измеренными глубинами составил 0,97.

Помимо оценки точности по всей валидационной выборке, аналогичные расчеты выполнены для отдельных диапазонов глубин. MAE для всех диапазонов глубин варьировала от 0,27 до 0,71 м: минимальные значения зафиксированы на 2–3 м, максимальные – на 8–9 м. Для диапазона 1–2 м отмечены низкие значения RelAcc и AbsAcc (около 70 %), а MAE была достигла 0,45 м. Столь низкая точность в этом диапазоне частично может быть объяснена малым объёмом выборки – количеством измерений здесь в 2–6 раз меньше, чем в других диапазонах.

Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ № 25-27-00234 «Исследование формирования и перераспределения взвешенного вещества в Азовском море и на западном побережье Крыма».

## МЕЖГОДОВАЯ, СЕЗОННАЯ И СУТОЧНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА ПРИМЕРЕ ЧЕРНОМОРСКОГО ГИДРОФИЗИЧЕСКОГО ПОДСПУТНИКОВОГО ПОЛИГОНА

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

*МГИ, г. Севастополь*  
✉ [nadin.khamitsevich@mhi-ras.ru](mailto:nadin.khamitsevich@mhi-ras.ru)

**Ключевые слова:** атмосферные осадки, интенсивность осадков, индексы засушливости, гидротермический коэффициент.

Вариации атмосферных осадков на ЮБК определяются рядом факторов, главными из которых являются вариации солнечной радиации и парниковый эффект, сезонные и многолетние изменения потоков тепла в системе «океан-атмосфера-суша». 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. Важное значение приобретает знание регионального изменения климатических ресурсов. Активизация процессов оползнеобразования на склонах непосредственно связана с интенсивностью атмосферных осадков. В результате изменений регионального и глобального климата следует проводить исследования влияния крупномасштабных циркуляционных процессов на окружающую среду. Важны также оценки частоты и продолжительности экстремальных явлений, в том числе засушливости и увлажнения. Изменения засушливости наиболее удобно определяют индексами засушливости, которые в своем большинстве являются фактической мерой отклонения метеорологических величин от их среднего распределения на изучаемой территории. Значения метеопараметров получены в результате

регулярных метеонаблюдений в ЧГПП МГИ РАН (п.г.т. Кацивели), начиная с 1984 г.

Атмосферные осадки характеризуются высокой временной изменчивостью. Наименьшее количество осадков приходится на июль, август; максимум – на декабрь, январь. Среднесуточные значения атмосферных осадков за период 1984–2025 гг. варьируют от 1,4 мм до 85,2 мм. Максимальное значение наблюдалось 18 июня 2021 г.

Среднедекадные значения изменяются от 14,2 мм до 123,4 мм. Максимальное значение зафиксировано во второй декаде сентября 2002 г. Среднемесячные значения колеблются от 42,3 мм до 183,6 мм. Максимальное значение отмечено в августе 1997 г.

Среднегодовые суммы осадков меняются в диапазоне от 280,2 мм в 1993 г. до 817,6 мм в 1997 г. Среднее многолетнее значение годовых сумм осадков за указанный период составило 507,8 мм.

На диапазон от 1 мм до 20 мм приходится 72,6 % выпавших осадков, на интервал от 20 мм до 50 мм – 22,9 %, осадки более 50 мм отмечены в 4,5 %. Прослеживается отрицательная динамика случаев превышения суточных осадков размером 20 мм, при которых происходит чувствительный процесс водной эрозии практически на любых склонах. Увеличились случаи превышения суточных осадков 50 мм, при которых практически происходит наводнение прилегающих территорий, и имеется особая опасность для гидротехнических сооружений.

Для определения условий атмосферных засух использовался индекс засушливости Д.А. Педя ( $S_i$ ), который характеризует различную степень интенсивности засушливых и избыточно увлажненных условий. Среднее значение  $S_i$  за период 1985–1994 гг. составило -0,66, за период 1995–2004 гг.  $S_i = -0,57$ , в интервале 2005–2014 гг.  $S_i = 0,37$ . В 2015–2024 гг.  $S_i = 0,97$ . В 2025 г.  $S_i = 1,40$ , среднее многолетнее значение  $S_i = 0,03$ .

Наиболее используемым показателем метеорологических исследований является гидротермический коэффициент увлажнения (ГТК) Г.Т. Селянинова, представляющий собой отношение суммы осадков за период не менее месяца к сумме температур выше 10 °C за этот же период. Среднее значения ГТК в период 1985–1994 гг. составило 0,54, в 1995–2004 гг. – 0,75,

в 2005–2014 гг. – 0,54, в 2015–2024 гг. – 0,48. В 2025 г. ГТК = 0,50, среднее многолетнее значение ГТК = 0,58.

Максимальные (экстремальные) осадки преобладают в теплый период года, с июня по октябрь, в этот же период наблюдается и увеличение интенсивности осадков. Это увеличение, по-видимому, наблюдается в связи с общим потеплением климата, поскольку теплый воздух потенциально может содержать большее количество влаги, которая, концентрируясь, способствует более интенсивным экстремальным осадкам. Можно отметить снижение сумм годовых осадков и количества дней с осадками при увеличении максимальных показателей суточных значений атмосферных осадков. Установлено увеличение индексов засушливости за последние два десятилетия и снижение ГТК. Проведенный статистический анализ данных наблюдений за максимальными суточными осадками подтверждает гипотезу об их повышении и увеличении частоты случаев опасных осадков за последние десятилетия в результате потепления климата.

Работа выполнена в рамках научной темы № FNNN-2024-0016 государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ 2026.

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДВУХ БЛОКИНГОВ И ОЦЕНКА ИХ ВЛИЯНИЯ НА ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ТЕМПЕРАТУРНЫЕ РЕЖИМЫ В ЧЕРНОМОРСКОМ РЕГИОНЕ**

**Чересов А.А.<sup>1✉</sup>, Шкаберда О.А.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> ВИТ «ЭРА», г. Анапа

<sup>2</sup> МГИ, г. Севастополь

✉ [cheresov01@bk.ru](mailto:cheresov01@bk.ru)

**Ключевые слова:** блокирующий антициклон, Черноморский регион, температура воздуха, атмосферное давление, НАО, Эль-Ниньо.

В условиях усиления климатической изменчивости особую актуальность приобретает изучение блокирующих антициклонов как одного из основных факторов формирования длительных экстремальных погодных явлений. Эти барические центры действия атмосферы оказывают существенное влияние на региональные и глобальные климатические аномалии, включая аномальную жару, засухи и экстремальные морозы. Однако прогресс в этой области сдерживается рядом фундаментальных проблем: нерегулярностью возникновения блокирующих ситуаций, значительной неоднородностью их характеристик и отсутствием универсальной теории, описывающей их жизненный цикл.

Цель – сравнительный анализ пространственно-временной изменчивости блокирующих антициклонов в Черноморском регионе на основе двух жарких периодов 1998 и 2010 гг.

Исследование базировалось на анализе метеорологических массивов и климатических норм из открытых источников: данные ВНИИГМИ МЦД ([meteo.ru](http://meteo.ru)), [pogodaiklimat.ru](http://pogodaiklimat.ru), карты барической топографии ([wetter3.de](http://wetter3.de)). Временное разрешение – суточные данные за 1991–2024 гг., область исследования – Черноморский регион (Краснодарский край, респ. Крым).

Для оценки влияния крупномасштабных мод атмосферной циркуляции использовались индексы: Арктическое колебание (AO), Эль-Ниньо – Южное колебание (ENSO), Североатлантическое колебание (NAO), Тихоокеанская декадная осцилляция (PDO), Тихоокеанско-Североамериканский индекс (PNA) и Западно-Средиземноморский индекс (WeMOi).

Анализ выявил системный характер блокирующих антициклонов над Черноморским регионом и их существенный вклад в формирование экстремальных температурных аномалий. Наиболее значимым событием за исследуемый период стал блокинг лета 2010 г. продолжительностью 47 суток в Краснодарском крае и 40 суток в респ. Крым (3 июля – 19 августа), который стал рекордным по длительности и воздействию на температурный режим двух регионов.

Ранжирование наиболее продолжительных эпизодов блокирования в Черноморском регионе: 2010 г. – 47 дней; 1998 г. – 18 дней; 1999 г. – 16 дней; 2016 г. – 14 дней.

Пространственное распределение повторяемости блокингов показало выраженную неоднородность: максимальные значения (53 %) зафиксированы в Поволжском регионе; средние (32–37 %) – в Центральном Черноземье, части Среднего Поволжья и в Черноморском регионе (Краснодарский край, респ. Крым); минимальные (26 %) – на периферии зоны влияния.

Детальный разбор случая 2010 г. показал, что блокинг относился к типу омега-блокинга и характеризовался: нарушением западно-восточного переноса и деформацией струйного течения; вертикальной экстраполяцией высотного гребня и формированием устойчивой области высокого давления (1020–1025 гПа); подавлением конвекции (КО-индекс  $> 6$ ), что исключило выпадение осадков; интенсивным прогревом приземного слоя за счёт солнечной радиации и адиабатического сжатия.

На исследуемой территории отклонения температуры от нормы достигали 9–14 °С, а продолжительность аномалии – до 47 дней (Краснодарский край, 2010 г.).

Ключевым механизмом возникновения блокинга 2010 г. стало формирование стационарной волны Россби с гребнем над ЕТР и ложбиной над Западной Европой. Этому способствовали аномалии температуры поверхности океана в Северной Атлантике и Северной Пацифике, а также отрицательная фаза NAO и АО, усилившие меридиональную циркуляцию.

Дальнейшее изучение механизмов формирования и эволюции блокирующих антициклонов критически важно для адаптации к климатическим изменениям и минимизации ущерба от экстремальных погодных явлений.

Исследование выполнено в рамках государственного задания по теме № FNNN-2024-0014 (взаимодействие океана и атмосферы).

## **О НЕОБХОДИМОСТИ НОВОГО ПОДХОДА К АТМОСФЕРНОЙ КОРРЕКЦИИ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ НАД ЧЁРНЫМ МОРЕМ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ВЫСОТ СОЛНЦА С ПЕРСПЕКТИВОЙ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ АРКТИЧЕСКИХ ВОД**

**Шибанов Е.Б. , Папкова А.С.**

*МГИ, г. Севастополь*  
 *e-shybanov@mail.ru*

**Ключевые слова:** атмосферная коррекция, низкое солнце, коэффициент яркости моря, OLCI.

Точное восстановление спектрального коэффициента яркости морской поверхности по спутниковым данным необходимо для корректного расчёта биооптических параметров. Ключевой этап – атмосферная коррекция, которая позволяет исключить вклад атмосферы из измеренных данных. Наиболее распространённый метод Гордона и Ванга предполагает наличие достаточного солнечного освещения и работает корректно только высотах солнца, больших  $20^\circ$ . Однако в регионах, где солнце большую часть года находится низко над горизонтом, этот метод приводит к неправильным результатам: возникают некорректные отрицательные значения коэффициента яркости, появляются систематические ошибки в коротковолновом диапазоне и увеличивается уровень шума.

В настоящей работе рассматриваются зимние утренние спутниковые измерения на акватории Чёрного моря (OLCI Sentinel 3В/3А), когда высота солнца не превышает  $25^\circ$ . В качестве исходных данных используются измерения яркости на верхней границе атмосферы (уровень обработки Level-1). К этим данным применяется стандартный продукт атмосферной коррекции Level-2, основанный на методе Гордона и Ванга, а также разработанный нами альтернативный подход, адаптированный для условий низкого положения солнца над горизонтом. Валидация результатов проводится путём сравнения с натурными

измерениями спектрального коэффициента яркости со станции AERONET-OC Section-7\_Platform, расположенной в Чёрном море.

Сравнительный анализ показывает, что стандартный метод Гордона и Ванга в условиях низких высот солнца демонстрирует значительные ошибки. Применение нового разработанного подхода к тем же самым исходным данным и последующее сравнение с натурными измерениями на станции AERONET-OC Section-7\_Platform показывает, что новый метод не приводит к значительным ошибкам по сравнению со стандартным продуктом Level-2. Расхождение с данными AERONET-OC сокращается в несколько раз, частота появления нефизических отрицательных значений снижается до единичных случаев, а форма восстановленных спектров становится гораздо более близкой к реальной.

Учитывая, что проблема спутниковых наблюдений при низком положении солнца над горизонтом характерна не только для Чёрного моря в утренние и вечерние часы и в зимний период, но и в гораздо большей степени для высоких широт, то в дальнейшем планируется разработка аналогичного подхода для арктических морей. В Арктике фактор низкого солнца является одним из доминирующих негативных условий для атмосферной коррекции на протяжении всего лета. Адаптация разработанного нами метода для арктических вод позволит получать корректные спутниковые продукты цвета океана как летом и в начале осени, так и в весенний период, когда биологическая активность в арктических морях наиболее высока. Это открывает новые возможности для мониторинга экосистем российских арктических морей, оценки продуктивности и отслеживания изменений, связанных с климатическими процессами.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме «Оперативная океанография» (шифр государственного задания FNNN-2024-0001).



## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСТУПНЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЙ СОЛЁНОСТИ ЧЁРНОГО МОРЯ

Шукало Д.М.<sup>1✉</sup>, Шульга Т.Я.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> МГИ, г. Севастополь

<sup>2</sup> СО ГОИИ, г. Севастополь

✉ mitya.googlovich@gmail.com

**Ключевые слова:** Черное море, солёность, дистанционное зондирование, SSS, SMAP, SMOS.

Солёность поверхности океана (SSS) – один из ключевых параметров, определяющих плотностную структуру и циркуляцию вод. Долгое время единственным источником данных оставались контактные измерения, страдающие крайней неравномерностью пространственно-временного охвата. Запуск спутниковых радиометров L-диапазона принципиально изменил ситуацию, сделав возможным глобальное покрытие с периодичностью в несколько дней. Однако каждая из доступных систем обладает собственными техническими характеристиками, алгоритмическими решениями и ограничениями, что требует осознанного выбора продукта при региональных исследованиях.

Основными источниками дистанционных измерений SSS являются миссии SMOS (ESA, 2009 – н. в.) и SMAP (NASA, 2015 – н. в.), работающие на частоте ~1,4 ГГц (L-диапазон). Физической основой определения SSS является зависимость диэлектрической проницаемости воды от концентрации растворённых солей: ионы изменяют поляризационные свойства среды, что отражается в величине коэффициента излучения и, следовательно, в измеряемой радиометром яркостной температуре. Принципиальные различия между миссиями лежат в геометрии съёмки и алгоритмической обработке измерений. SMOS реализует апертурный синтез и даёт многократные ракурсы на одном проходе, позволяя рассчитывать SSS независимо от априорных допущений о ветровом волнении. SMAP, изначально нацеленный на влажность почвы, использует коническое сканирование с постоянным углом 40°, что вместе с шириной полосы 1000 км даёт

пространственное разрешение ~40 км и практически ежедневное покрытие в средних широтах.

Несмотря на многолетнее развитие технологии, дистанционное восстановление солёности сталкивается с рядом фундаментальных ограничений. Во-первых, точность определения солёности резко падает при понижении поверхностной температуры воды (SST). При SST ниже ~10 °C погрешность возрастает в 2–3 раза, что критично для Чёрного моря в зимний период. Во-вторых, возмущенная поверхность создаёт дополнительное излучение, маскирующее полезный сигнал, для его коррекции необходимы независимые данные о ветре и модели спектра волнения, которые вносят собственные неопределённости. В-третьих, радиочастотные помехи (РП) от наземных источников и суши приводят к отбраковке измерений и снижению доступности данных в прибрежной полосе шириной 50–80 км. Расчёт солёности – это всегда компромисс между пространственно-временным охватом и точностью.

Продукты SMAP предварительно обрабатываются научными группами: Лабораторией реактивного движения (JPL) и исследовательской компанией Системы дистанционного зондирования (RSS). Их алгоритмы по-разному корректируют шероховатость поверхности, удаляют РП и фильтруют прибрежные загрязнения. Сравнительный анализ с привлечением судовых наблюдений и данных буев Арго показывает, что в открытом море все продукты демонстрируют сопоставимую точность (RMSE 0,2–0,4 psu), однако при приближении к берегу картина резко меняется. Продукт RSS SMAP теряет больше данных из-за строгих критериев отбраковки, тогда как JPL сохраняет охват, но демонстрирует тенденцию к завышению солёности вблизи границ маски суши. SMOS в прибрежной зоне страдает от азимутальных искажений, выражающихся в полосчатых артефактах на северо-западном шельфе. В холодный сезон ошибки всех систем возрастают.

Таким образом, единого «лучшего» продукта для Чёрного моря не существует. Сама необходимость использования спутниковых данных не вызывает сомнений: только они способны регулярно и синхронно освещать весь бассейн, предоставляя информацию о текущем состоянии водных масс, недоступную эпизодическим натурным измерениям.

**СЕКЦИЯ 2**  
**«ОПЕРАТИВНАЯ ОКЕАНОЛОГИЯ И ЧИСЛЕННОЕ**  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И**  
**БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МОРСКИХ**  
**СИСТЕМАХ»**

**ВЛИЯНИЕ ВНУТРЕННИХ ВОЛН НА ФОРМИРОВАНИЕ**  
**ВЕРТИКАЛЬНОЙ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ**

Анкудинов Н.О.<sup>1</sup>, Слепышев А.А.<sup>1,2</sup> ✉

<sup>1</sup> МГИ, г. Севастополь

<sup>2</sup> Филиал МГУ в г. Севастополе

✉ [slep55@mail.ru](mailto:slep55@mail.ru)

**Ключевые слова:** внутренние волны, вертикальная тонкая структура, турбулентная вязкость и диффузия.

Вертикальная тонкая структура гидрофизических полей была открыта во второй половине прошлого века и большую роль в этом сыграло создание высокоразрешающей зондирующей аппаратуры. Под тонкой структурой понимают изрезанность вертикальных профилей температуры и солености до масштаба 1 м, неоднородности меньшего масштаба относят к микроструктуре. Микроструктура обычно связывается с мелкомасштабной турбулентностью, а тонкая структура с внутренними волнами. Но не только внутренние волны ответственны за ее формирование. Если температура и соленость уменьшаются (или растут) с глубиной, то механизм двойной диффузии ответственен за формирование вертикальной тонкой структуры. На арктическом шельфе, как правило, температура уменьшается с глубиной, а соленость растет. Поэтому механизм двойной диффузии не реализуется, зато присутствие интенсивных внутренних волн,

например, в проливе «Карские ворота» создает благоприятные условия для формирования тонкой структуры.

Известно, что при прохождении волновых пакетов за счет нелинейных эффектов индуцируются средние на масштабе волны поправки к скорости течения и плотности. Они пропорциональны квадрату текущей амплитуды волны и после прохождения волнового пакета невозмущенный профиль стратификации восстанавливается и тонкая структура имеет обратимый характер. Но если учесть горизонтальную турбулентную вязкость и диффузию, то вертикальный волновой поток массы отличен от нуля и приводит к генерации необратимой тонкой структуры, т. е. после прохождения волны поправки сохраняются.

В предлагаемой работе коэффициент горизонтального турбулентного обмена не предполагается постоянным, а зависит от масштаба явления по формуле Окубо, 1971. Под масштабом явления подразумевается длина волны. Наличие течения приводит к анизотропии дисперсионных кривых. Если при отсутствии течения изолинии частоты фиксированной моды в плоскости горизонтальных волновых чисел – окружности, то при наличии сдвигового течения изолинии вытягиваются в направлении, противоположном преимущественному распространения волны. При достаточно большой частоте волны изолинии размыкаются. Частота размыкания у второй моды меньше, чем у первой. Размыкание обусловлено приближением частоты волны со сдвигом Доплера к максимуму частоты Брента – Вайсяля. Рассчитанные для наблюдавшихся в Карском море 15-минутных внутренних волн с амплитудой 2 м тонкоструктурные поправки к температуры и солености в целом согласуются с данными натурных измерений вертикальной тонкой структуры.

Авторы благодарны Козлову И.Е. и Копышову И.О. за предоставленный экспериментальный материал.

## **КАВКАЗСКИЕ ВИХРИ В АПРЕЛЕ–ИЮНЕ 2026 Г. В АТМОСФЕРЕ НАД ЧЕРНЫМ МОРЕМ ПО ДАННЫМ ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И НЕЙРОСЕТИ**

**Барабанов В.С.**

*МГИ, г. Севастополь*

✉ *sl0b0@yandex.ru*

**Ключевые слова:** численное моделирование, Черное море, атмосферный прогноз, AIGFS, GFS, WRF.

Циклонические вихри в атмосфере над восточной частью Черного моря, возникающие при обтекании Кавказских гор северо-восточным ветром, представляют интерес как с теоретической, так и с практической стороны. Надежное прогнозирование этих явлений важно для моделирования морских течений, ветровых волн и контроля за распространением загрязнений в морской и воздушной среде.

В современных массивах данных (прогноза и реанализа на основе численных моделей динамики атмосферы) с пространственным разрешением около 25 км и выше многие мезомасштабные явления, в том числе кавказские вихри, воспроизводятся довольно успешно. Нейросетевой прогноз AIGFS метеослужбы США, который работает с конца 2025 г., использует статистический подход (нейросеть Google DeepMind GraphCast обучается на данных NOAA).

В данной работе рассматриваются возможности динамического прогноза GFS и нейросетевого AIGFS по воспроизведению кавказских вихрей. Анализируются результаты прогнозов с апреля по июнь 2026 г. При моделировании перемещения кавказских циклонов использовалась также мезомасштабная модель WRF-ARW с горизонтальным шагом сетки 9 км. Проведено сравнение использовавшихся массивов и данных реанализа по полям приводных потоков импульса, тепла и влаги, использующимся в качестве атмосферного форсинга для морских моделей.

## СООТНОШЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СМЕЩЕНИЙ ВОДНЫХ МАСС В ОСНОВНОМ ПИКНОКЛИНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

**Белокопытов В.Н.**, Жук Е.В. , Коротаев Г.К.

*МГИ, г. Севастополь*

 *alenixx@gmail.com*

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

Для анализа вертикальных и горизонтальных смещений водных масс в основном пикноклине Черного моря используются данные температуры и солёности массива на регулярной сетке, полученного по регрессионной модели, а также сами регрессионные соотношения.

Термохалинная структура вод Черного моря восстанавливается с использованием регрессионных соотношений, описывающих взаимосвязь между данными контактных измерений температуры и солёности и данными спутниковой альтиметрии и температуры поверхности моря.

Топография изопикнических поверхностей с высокой точностью зависит однопараметрически от динамической топографии на поверхности моря, которая хорошо соответствует топографии уровня моря. Эта зависимость с определенной степенью точности и определяется коэффициентами регрессии  $\alpha$  и  $\gamma$ .

Смещение изопикнических (изохалинных, изотермических) поверхностей на любых глубинах зависит от смещения уровня. В то же время  $T'(z) = \alpha \zeta'$ ,  $S'(z) = \gamma \zeta'$ . Получаем подобие нормированных на градиент коэффициентов регрессии:  $\alpha/(dT/dz) \approx \gamma/(dS/dz)$ .

Данное подобие хорошо выполняется в слое глубже 60–70 м (верхней границе пикноклина), но наблюдаются и региональные расхождения. Так в западном круговороте нормированные коэффициенты перестают совпадать, что указывает на

нарушение однопараметрической зависимости глубины залегания изопикн от уровня. Причиной является влияние горизонтальной адвекции: перенос водных масс, сформированных на Северо-западном шельфе и Мраморноморских вод, затекающих через Босфор.

Регрессионная модель учитывает горизонтальную структуру вод лишь через привязку коэффициентов к узлам сетки, но не включает явные пространственные корреляционные связи между соседними точками.

Работа выполнена в рамках тем госзадания ФГБУН ФИЦ МГИ FNNN-2024-0014 «Взаимодействие океана и атмосферы» и FNNN-2024-0012 «Оперативная океанология».

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СРЕДСТВ ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОГРАФИИ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ КРИЗИСНЫМИ СИТУАЦИЯМИ В АКВАТОРИЯХ МОРЕЙ РОССИИ**

**Георга-Копулос А.А.**

*МГИ, г. Севастополь  
apr@mhi-ras.ru*

**Ключевые слова:** моделирование траектории дрейфа, нефтепродукты в морской среде, НЦУКС, оперативная океанография, FOTS, геоинформационные технологии.

Чрезвычайные ситуации в Черноморско-Азовском регионе, связанные с загрязнением морской среды в результате техногенных катастроф, таких как разрушение дамбы Каховского водохранилища, кораблекрушения танкеров в Керченском проливе 15 декабря 2024 года, повреждения танкеров в результате атак БПЛА южнее Керченского пролива и повреждения нефтяного терминала и НПЗ в г. Туапсе в апреле 2026 года, показали важность инструментов и средств оперативной океанографии для эффективного управления кризисными ситуациями органами федеральной и региональной исполнительной власти. Во всех этих

случаях Правительственными комиссиями, МЧС России, Роспотребнадзором, Минтрансом России, контрольно-надзорными органами, властями причерноморских регионов Российской Федерации активно использовались данные прогноза распространения загрязнений в акваториях Чёрного и Азовского морей, оперативно подготавливаемые ФГБУН ФИЦ МГИ.

Аналитические справки Морского гидрофизического института содержали как данные моделирования распространения загрязняющих веществ по поверхности морей, на различных горизонтах, локации возможных выбросов нефтепродуктов и иных загрязняющих веществ на береговую линию, так и иные материалы, которые позволяли органам государственной власти заблаговременно концентрировать необходимые силы и ресурсы для предотвращения и ликвидации последствий чрезвычайной ситуации в критически важных районах. Был получен бесценный опыт взаимодействия между научными организациями, федеральными органами исполнительной власти и региональными властями в сфере ликвидации последствий разлива тяжелых нефтепродуктов в морской среде, налаживания системы оперативного мониторинга за распространением загрязняющих веществ, а также организации прикладных исследований в сфере применения дистанционных методов исследований и средств оперативной океанографии для нужд государства.

Эффективное использование программного комплекса FOTS разработки ФГБУН ФИЦ МГИ, предназначенного для численного моделирования распространения загрязнений в морской среде с последующей визуализацией рассчитанной траектории дрейфа на картографических материалах, а также адаптация FOTS с данными гидродинамических моделей акватории Черного и Азовского морей, показало колоссальный потенциал данных геоинформационных технологий для решения различных задач, не связанных с распространением загрязняющих веществ, в оперативном режиме: расчёт траектории дрейфа при поисково-спасательных операциях, расчёт траектории дрейфа особо опасных объектов, использование моделирования для расчёта обратной траектории для нужд правоохранительных и контрольно-надзорных органов и в других аналогичных случаях.



В настоящее время в ФГБУН ФИЦ МГИ завершается разработка нового поколения программного комплекса FOTS, предусматривающего расширенный функционал и возможности для выше указанных целей: многослойность картографии, отображение траектории дрейфа загрязняющих веществ на спутниковых снимках акватории, одновременное отображение траектории дрейфа загрязняющих веществ из нескольких источников загрязнения. Новая версия FOTS прошла успешное тестирование в условиях прогнозирования потенциальных ЧС в апреле–июне 2026 года.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЙШЕВЫХ КОЛЕБАНИЙ В СМЕЖНЫХ БУХТАХ

Довгая С.В. ✉, Манилюк Ю.В., Фомин В.В.

МГИ, г. Севастополь

✉ [dovgayasvetlana0309@yandex.ru](mailto:dovgayasvetlana0309@yandex.ru)

**Ключевые слова:** сейши, связанные бухты, математическое моделирование, модель *FUNWAVE*.

Смежные бухты образуют систему связанных осцилляторов, что приводит к расширению модового состава и интенсификации сейшевых колебаний в них, а также может способствовать возникновению опасных явлений в портах. В особенности это касается систем, где имеется бухта, превышающая прочие по размерам. Важным является вопрос – насколько далеко распространяется действие связи между бухтами через их входы и при каких расстояниях между бухтами можно считать, что они прекращают взаимодействовать друг с другом. Данный вопрос остается практически не исследованным к настоящему времени. Эффект связи между бухтами необходимо обязательно учитывать при проектировании искусственных гаваней и модернизации существующих бухт.

На базе нелинейной численной гидродинамической модели *Fully Nonlinear WAVE model (FUNWAVE)* проведено исследование влияния связи между смежными бухтами на параметры сейшевых колебаний в них. Расчетная область имела прямоугольную форму с длиной, равной 25,5 км, и шириной – 61,9 км. В восточной части расчетной области располагались две бухты прямоугольной формы постоянной глубины, равной 10 м. Длина большей бухты  $A$   $l_1 = 1000$  м, меньшей бухты  $B$  –  $l_2 = 500$  м. Ширины бухт  $A$  и  $B$  во всех численных экспериментах задавались равными 500 м. В расчетах расстояние между бухтами с варьировалось от 500 до 11000 м с шагом 500 м, при этом передвигалась бухта  $B$ . В западной, южной и северной глухих частях бассейна с целью имитации свободного прохождения волн устанавливались поглощающие слои, предназначенные для гашения отраженных волн. Глубина основной части расчетной области выбиралась равной 50 м. К восточной области с бухтами примыкал шельф шириной 4 км, глубина которого изменялась по линейному закону от 50 до 10 м. Численное моделирование выполнялось на равномерной прямоугольной сетке с шагом 20 м ( $1276 \times 3096$  узлов). В качестве начального возмущения использовалась уединенная волна высотой  $a_0 = 0,5$  м, которая задавалась на расстоянии 13,29 км от западной границы расчетной области. Данный вид возмущения позволяет сгенерировать широкий спектр сейшевых колебаний в бухтах. Шаг интегрирования по времени  $\Delta t$  равнялся 0,2 с, период интегрирования составлял 4200 с.

В результате численного моделирования установлено следующее.

1. Мода Гельмгольца большей бухты проникает за счет связи в меньшую бухту и имеет в ней высокую интенсивность.

2. За счет связи между бухтами свободные колебания уровня в них могут усиливаться на 30–35 %. При этом усиление свободных колебаний в большей бухте происходит, когда расстояние между бухтами меньше четырех длин большей бухты ( $c < 4l_1$ ), а в малой, наоборот, когда  $c > 4l_1$ .

3. При увеличении расстояния между бухтами с связь между ними ослабевает. Когда  $c > 8l_1$  связь между бухтами не проявляется и колебания в каждой из них происходят независимо.

4. В энергетических спектрах, построенных для акваторий бухт, выявлены пики, обусловленные шельфовыми сейшами, значения которых сопоставимы с пиками для собственных мод бухт.

5. Аналитические оценки значений периодов собственных мод бухт и периодов шельфовых сейш дают удовлетворительное согласование с данными численного моделирования.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ (FNNN-2024-0016). Моделирование проводилось на вычислительном кластере МГИ РАН.

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СПОСОБОВ ЗАДАНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЦИРКУЛЯЦИИ ЧЕРНОГО МОРЯ**

**Дорофеев В.Л. ✉, Сухих Л.И.**

*МГИ, г. Севастополь*  
✉ [viktor.dorofeev@mhi-ras.ru](mailto:viktor.dorofeev@mhi-ras.ru)

**Ключевые слова:** Черное море, модель циркуляция, потоки тепла, балк-формулы, температура моря, соленость.

Одним из главных факторов, влияющих на качество результатов численного моделирования циркуляции морей и океанов, является корректная постановка граничных условий на свободной поверхности. Эти условия определяют потоки импульса, тепла и пресной воды через верхнюю границу области интегрирования уравнений модели. Важность граничных условий на поверхности особенно проявляется при моделировании динамики полужамкнутых водоемов, каковым является Черное море. В этом случае практически все потоки тепла и импульса определяются атмосферным воздействием.

При задании потоков на границе атмосфера-море применяются два различных подхода. В первом используются потоки тепла и пресной воды из атмосферных моделей, во втором – балк-формулы учитывающие результаты моделирования. В первом

случае существует односторонняя связь между атмосферным воздействием и результатами моделирования динамики моря, во втором – результаты моделирования влияют на атмосферное воздействие.

Целью данной работы является оценка того, на сколько сильно могут различаться результаты, полученные по одной модели, но с разными подходами к заданию граничных условий на свободной поверхности моря.

Для достижения этой цели была применена модель циркуляции Черного моря МГИ. В граничных условиях на свободной поверхности использовались два набора данных из результатов атмосферного реанализа ERA-5 (ECMWF). Для первого эксперимента применялись потоки тепла и пресной воды, полученные непосредственно в атмосферном реанализе. Во втором эксперименте потоки явного и скрытого тепла, уходящая длинноволновая радиация и испарение рассчитывались по балк-формулам.

Расчеты в обоих экспериментах проводились на 12 лет (2007–2018 гг.). По результатам расчетов средняя температура в верхнем слое моря, полученная во втором эксперименте, оказалась выше. Наибольшая разница наблюдается летом, когда она может достигать в отдельных районах 2 °C. В то же время средняя соленость верхнего слоя Черного моря выше для результатов первого эксперимента. Наибольшая разность также наблюдается летом. В обоих вариантах присутствуют положительные межгодовые тренды температуры и солености.

Была проведена валидация полученных в обоих экспериментах результатов. Для этого использовались профили температуры и солености, полученные буями АРГО, дрейфовавшими в Черном море в рассматриваемый период. Кроме того, использовались спутниковые данные температуры поверхности моря, которые представляли собой подготовленный CMEMS ежесуточный набор полей на регулярной сетке. Валидация показала, что приповерхностная температура Черного моря лучше воспроизводится при использовании в граничных условиях на поверхности балк-формул.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕРМОХАЛИННОГО РЕЖИМА ЧЕРНОГО МОРЯ В 2011–2021 ГГ.

Дымова О.А., Глухов Л.А. ✉

МГИ, г. Севастополь  
✉ [quitSlackin@yandex.ru](mailto:quitSlackin@yandex.ru)

**Ключевые слова:** Черное море, осолонение, бюджет энергии.

На основе результатов численного моделирования в работе исследуется переход термохалинного режима Черного моря от холодного и распресненного состояния к теплomu и соленому. С помощью модели МГИ проведено моделирование циркуляции моря в 2011–2021 гг. с ассимиляцией данных наблюдений температуры и солености. Для задания условий на свободной поверхности использовались данные атмосферного форсинга ERA5. Помимо реконструкции гидрофизических полей, в работе выполнен численный анализ компонент бюджета кинетической энергии (КЭ) и доступной потенциальной энергии (ДПЭ), что позволило разделить вклады атмосферного воздействия и динамической перестройки вод.

Анализ результатов эксперимента показал, что на протяжении всего расчетного периода температура верхнего деятельного слоя увеличивалась со скоростью  $0,086\text{ }^{\circ}\text{C}$  в год. В отличие от температуры, средняя соленость демонстрировала нелинейную динамику. Соленость в слое 0–100 м до 2014 г. медленно понижалась, а начиная с 2015 г. наблюдалась тенденция к осолонению, составившая приблизительно  $0,02\text{ }‰$  в год. При сравнении атмосферных, гидрофизических и энергетических характеристик установлено, что изменение тренда солености с отрицательного на положительный не объясняется только атмосферным воздействием, а связано с динамикой вод и энергообменом в слое 0–1000 м. Переход от холодного и распресненного состояния к теплomu и соленому можно разделить на два этапа.

1. Распреснение и накопление энергии в 2014–2015 гг. Проникновение менее соленых поверхностных вод под пикноклин

под действием антициклонических вихрей в центральной части моря и интенсивная адвекция распресненных шельфовых вод вдоль побережья привели к уменьшению средней солености и увеличению ДПЭ.

2. Осолонение и трансформация энергии в 2016–2021 гг. Вследствие уменьшения вклада работы силы ветра, наиболее энергетически значимой компонентой бюджета становится работа силы плавучести, следовательно, в этот период главным механизмом изменения структуры циркуляции является бароклинная неустойчивость. Знак и величина работы силы плавучести указывают на переход энергии из накопленной ДПЭ в КЭ. Таким образом, высвобождение энергии привело к усилению скоростей течений в слое пикноклина и ниже. В свою очередь, активизация динамики способствовала подъему глубинных вод повышенной солености, что и обеспечило увеличение средней солености всего рассматриваемого слоя.

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

## **РАЗВИТИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ВЫСОКОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО РАЗРЕШЕНИЯ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ С АССИМИЛЯЦИЕЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ**

**Евстигнеева Н.А. ✉, Демышев С.Г.**

*МГИ, г. Севастополь*  
✉ [naevstigneeva@yandex.ru](mailto:naevstigneeva@yandex.ru)

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

Целью исследования является реализация граничных условий типа Дирихле в параметризации Меллора-Ямады 2.5 при расчете

коэффициентов турбулентной вязкости и диффузии по вертикали в области с открытыми границами (у Южного берега Крыма) для более точного моделирования гидрофизических полей высокого горизонтального разрешения (около  $\sim 500$  м). Численные эксперименты по реконструкции полей течений, температуры, солености выполнены в периоды проведения рейсов НИС «Профессор Водяницкий» в 2017 г. (13 июня – 5 июля и 14 ноября – 6 декабря) на основе численной модели Морского гидрофизического института с ассимиляцией всех доступных данных наблюдений (экспедиционные измерения температуры и солёности, спутниковые данные о поверхностной температуре за 2017 г.). В уравнениях переноса использованы новые аппроксимации для нелинейных слагаемых, которые обеспечивали сохранение температуры и солености в степени больше двух (температура в первой и пятой, соленость в первой и пятой степени). Численные схемы модели предусматривали задание граничных значений скорости, температуры и солености на трех боковых границах. При использовании в модели параметризации Меллора-Ямады 2.5 решались два дифференциальных уравнения для кинетической энергии турбулентности и макромасштаба турбулентности. Для постановки граничных условий на открытых границах выбраны массивы данных (для кинетической энергии турбулентности и макромасштаба турбулентности), рассчитанные по модели с разрешением 1,6 км.

В летний сезон наблюдалось снижение интенсивности переноса Основного Черноморского течения (ОЧТ) вдоль побережья. Этот период характеризовался формированием вихрей различного размера, а также вдольбереговых течений с высокой изменчивостью направления. Антициклонический вихрь радиусом около 35 км у юго-восточного берега Крыма фиксировался на протяжении всего расчета. Обтекание ОЧТ береговой линии приводило к квазипериодической генерации в верхнем слое циклонического вихря (радиус  $\sim 15$  км) у м. Аю-Даг и мелких вихрей между м. Сарыч и м. Аю-Даг.

В осенне-зимний сезон течения были более интенсивны (скорость на верхнем горизонте до 90 см/с), в восточной части области фиксировался интенсивный поток ОЧТ с формированием разномасштабных вихрей. Крупный антициклонический

вихрь у юго-восточного побережья мог смещаться в юго-западном направлении. Под влиянием крайне изменчивого ветрового воздействия и особенностей береговой черты вдоль побережья в верхнем слое формировались вихри малых масштабов и прибрежный поток мог менять направление.

Выполнен анализ полученных полей течений и термохалинных полей с полями, учитывающими параметризацию Филандера-Пакановского. Применение параметризации Меллора-Ямады 2.5 привело к усилению скорости ОЧТ, более высоким значениям скорости в крупном антициклоническом вихре у юго-восточного берега Крыма, усилению скорости вдоль берегового течения, изменению местоположения некоторых вихрей, более точному воспроизведению толщины верхнего квазиоднородного слоя и областей пониженной температуры, фиксируемых по спутниковым данным, вдоль побережья в летний сезон.

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

## **СИСТЕМА ДОСТУПА К ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИМ ДАННЫМ ФГБУН ФИЦ МГИ**

**Жук Е.В.**

*МГИ, г. Севастополь*

✉ [alenixx@gmail.com](mailto:alenixx@gmail.com)

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

Система доступа к океанографическим данным предназначена для обеспечения сотрудников МГИ океанографическими данными с использованием web-технологий на базе Клиент-Серверной архитектуры. Серверная часть реализована с использованием фреймворка Django 5.2, пользовательский интерфейс – Vue.js. Взаимодействие между клиентской и серверной частью



реализовано с помощью Django REST API. Картографический сервис встроен в пользовательский интерфейс и реализован с помощью Open Layers. Для хранения океанографических данных применяется СУБД PostgreSQL.

Сегмент метаданных спроектирован в парадигме OLTP, а хранилище данных наблюдений построено по OLAP-принципам, что обеспечивает эффективность выполнения транзакций.

Метаданные содержат основные характеристики океанографических станций, такие как координаты, время, рейс. Данные – измеренные гидрологические и гидрохимические параметры показаны на определенной глубине. Такая структура позволяет учесть двойственный характер запросов: с одной стороны, обеспечивается интерактивная работа пользователей с метаданными при формировании запросов на получение данных, с другой стороны, обеспечивается выборка больших объемов данных в соответствии с критериями, заданными пользователем.

При входе в систему происходит авторизация и определяется тип пользователя. Предусмотрено протоколирование действий пользователей как при работе с системой доступа к данным, так и при работе с БД.

Интерфейс системы предоставляет функционал для выборки данных на основе метаданных для заданных критериев:

- выборка по рейсу осуществляется по атрибутам рейса (наименование рейса, наименование судна, год проведения). Поддерживается множественный выбор записей;
- выборка по пространственному признаку задается путем выделения прямоугольной области на карте;
- выборка по временному признаку определяется указанием диапазона дат и/или выбором отдельных месяцев из списка.

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

## РЕГРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТЕРМОХАЛИННОЙ СТРУКТУРЫ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ

**Жук Е.В. ✉, Мизюк А.И., Холод А.Л.,  
Вецало М.П., Карпелянский А.О.**

*МГИ, г. Севастополь*

✉ [alenixx@gmail.com](mailto:alenixx@gmail.com)

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

Представляется статистическая модель восстановления вертикальной термохалинной структуры вод Черного моря до глубины 350 м на основе данных спутниковой альтиметрии и температуры поверхности моря. Модель построена с использованием множественной линейной регрессии по данным дистанционных и контактных измерений за период 1993–2023 гг.

На её основе выполнен расчет полей температуры и солености за период 1993–2025 гг. Валидация на независимой выборке подтвердила высокую точность воспроизведения полей температуры и солености.

Разработанное программное обеспечение не требует высокопроизводительных вычислительных ресурсов и обеспечивает оперативную оценку состояния морской среды.

Интеграции данных контактных измерений в массив термохалинных полей, полученный по регрессионной модели, позволяет дополнительно повысить точность воспроизводимых массивов температуры и солености.

Проведены численные эксперименты по ассимиляции регрессионных термохалинных полей в модель NEMO для морей Эвксинского каскада; установлено, что использование регрессионного алгоритма позволяет повысить точность ретроспективного анализа динамики океана.

Работа выполнена в рамках тем госзадания ФГБУН ФИЦ МГИ FNNN-2024-0014 «Взаимодействие океана и атмосферы» и FNNN-2024-0012 «Оперативная океанология».

## **ПРИМЕНЕНИЕ БИБЛИОТЕКИ OCEANANIGANS.JL ДЛЯ ОДНОМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ЧЕРНОГО МОРЯ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРИЗАЦИЙ ТУРБУЛЕНТНОГО ОБМЕНА С УЧЕТОМ МЕХАНИЗМА ДИАПИКНИЧЕСКОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ**

**Казаков Д.А.**

*МГИ, г. Севастополь*

✉ [dk@mhi-ras.ru](mailto:dk@mhi-ras.ru)

**Ключевые слова:** Oceananigans, Чёрное море, диапикническая вентиляция, GPU-ускорение, турбулентность, схемы турбулентного замыкания, одномерная модель, валидация.

В работе представляется разработка одномерной модели, реализованной на библиотеке Oceananigans.jl с исполнением на графическом процессоре, которая предназначена для прогностического расчёта профилей температуры и солёности в открытой части Чёрного моря. Модель решает одномерные уравнения переноса тепла и соли для вертикального столба воды и включает четыре схемы турбулентного замыкания: постоянный коэффициент диффузии, параметризацию Пакановского-Филандера, однопараметрическую схему CATKE и двухпараметрическую k-ε модель. Для переноса температуры и солёности в модели используются схемы адвекции WENO (третьего и пятого порядка точности) и центрированные схемы (второго и четвёртого порядка). Особое внимание уделено встраиванию механизма диапикнической вентиляции — он реализован как GPU-совместимый дискретный источник, использующий реальную гипсометрию бассейна и климатический расход средиземноморской струи через Босфор. С целью проверки гипотезы о том, что учёт этого механизма улучшает качество моделирования, был проведен ряд численных экспериментов длительностью 270 суток, в которых варьировались вертикальное разрешение, схемы адвекции и параметры турбулентности. Валидация выполнялась по данным гидрологических станций 95 и 98 рейсов НИС «Профессор Водяницкий» с использованием набора метрик, включая

среднеквадратичную ошибку, коэффициент корреляции Пирсона и модифицированный индекс согласия Уилмотта. Результаты показали, что все конфигурации, занявшие лидирующие позиции по интегральному показателю качества, обязательно включают механизм диапикнической вентиляции, причём наилучшее согласие в области холодного промежуточного слоя достигается при сочетании замыкания Пакановского-Филандера с пониженной фоновой вязкостью и включённым плюмовым источником. Отключение этого механизма при прочих равных условиях ухудшает интегральный показатель.

Модель в должной мере воспроизводит глубоководную структуру, её изменчивость и сезонный термоклин, однако сохраняет характерное для одномерных постановок смещение значений температуры в ядре холодного промежуточного слоя (30–100 м), что указывает на ограничения, связанные с отсутствием горизонтального переноса. В целом разработанный инструмент на базе Oceananigans.jl демонстрирует высокую эффективность и гибкость, а полученные результаты подчёркивают важность учёта диапикнического обмена для реалистичного моделирования термохалинной структуры Чёрного моря и открывают возможности для дальнейшего совершенствования параметризаций вертикального турбулентного обмена в рамках этой вычислительной платформы.

## **МИКРОСТРУКТУРНАЯ ТУРБУЛЕНТНОСТЬ И ЕЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДЕКОРРЕЛЯЦИЯ В ПРОЛИВЕ КАРСКИЕ ВОРОТА: НАТУРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ И НЕГИДРОСТАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ MITGCM**

**Коржуев В.А. , Козлов И.Е., Кубряков А.А.**

*МГИ, г. Севастополь*

 [korzhuev.vladimir@yandex.ru](mailto:korzhuev.vladimir@yandex.ru)

**Ключевые слова:** микроструктура, турбулентность, внутренние волны, натурные данные, численное моделирование, Арктика.

Пролив Карские Ворота – район сильных внутренних приливов и короткопериодных внутренних волн (КВВ). Приливный поток над порогом пролива переводит энергию баротропного прилива в бароклинную, а изопикны смещаются на десятки метров (Morozov E.G., Paka V.T., Bakhanov V.V. Strong internal tides in the Kara Gates Strait // GRL, 2008, 35, L16603). Эти волны модулируют перемешивание и, предположительно, задают пространственную структуру турбулентной диссипации  $\epsilon$ . По прямым микроструктурным измерениям исследована пространственно-временная структура поля  $\epsilon$  и оценены масштабы его декорреляции, а с помощью негидростатической модели проверен механизм их формирования.

Использованы измерения зондом MSS (экспедиция Плавучий университет, июль 2023 г): около 63 часов, ~130 профилей, дрейфовые станции йо-йо зондирования и океанологические разрезы. Диссипацию  $\epsilon$  рассчитывали по стандарту сообщества ATOMIX. Параллельно поставлена негидростатическая модель MITgcm в двух конфигурациях: детальной 2D ( $\Delta x = 25$  м,  $\Delta z = 2,5$  м) и 3D ( $\Delta x = \Delta y = 88,4$  м,  $\Delta z = 2,5$  м); форсинг – баротропный полусуточный прилив  $M_2$ . Для натурных и модельных данных использован единый алгоритм анализа: эмпирическая автокорреляция и вариограмма, блочный бутстрап, калибровка масштабов под геометрию съемки и виртуальный отбор модельных данных в точках и в моменты времени, соответствующие реальным измерениям.

По детальному 2D-прогону построены виртуальные йо-йо – модельные ряды  $\epsilon$  в точках реальных станций. Их временная автокорреляция и характерный период когерентности согласуются с натурными. Доминирующий временной масштаб соответствует короткопериодным внутренним волнам (десятки минут), а не приливу. Это указывает на то, что модель воспроизводит временные масштабы, характерные для волновой модуляции турбулентности.

Поле  $\log_{10}\epsilon$  рассмотрено в рамках модели гауссова мультипликативного хаоса (GMC) (Rhodes R., Vargas V. Gaussian

multiplicative chaos and applications: A review // *Probab. Surv.*, 2014, 11, 315), описывающей логарифмически коррелированные поля: логарифмическую корреляцию  $C(\ell) = \mu \cdot \ln(L/\ell)$  с оценкой  $\mu \approx 0,2$  сравнивали с гипотезой выделенного масштаба. Интегральный масштаб составил  $L \approx 61$  км. При этом масштаб декорреляции  $\varepsilon$  оказался почти на порядок меньше и близок к длине КВВ:  $ds \approx 5-8$  км при  $\lambda \approx 6$  км (первый ноль корреляции  $\approx 4,6$  км). Длину волны  $\lambda$  оценивали по пространственным осцилляциям смещений изопах в модели. Автокорреляция  $\rho(\ell)$  немонотонна: на  $\ell \approx \lambda$  она отрицательна ( $\rho(\lambda) \approx -0,4$  в квазисинхронных 12-часовых подвыборках). Такое поведение соответствует чередованию в пространстве полос «турбулентно/спокойно» с периодом порядка длины волны. С сужением окна квазисинхронности осцилляция растет, с расширением – слабеет, что указывает на пространственную (волновую), а не приливную природу структуры.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что на масштабах полусуточного прилива механизм КВВ играет определяющую роль в формировании пространственной структуры турбулентности в проливе: он удерживает декорреляцию диссипации в пределах длины короткопериодной внутренней волны. Наблюдается связь «геометрия/механизм  $\rightarrow$  диссипация»: турбулентность возникает скачкообразно, полосами, привязанными к фазе волны. Согласие временных масштабов натурных данных и модели и близость пространственного масштаба  $\varepsilon$  к  $\lambda$  дают согласованную картину.

Работа выполнена в рамках государственного задания FNNN-2024-0001 при поддержке гранта РФФ 25-17-00309.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОТ ТОЧЕЧНОГО ИМПУЛЬСНОГО ИСТОЧНИКА В АЗОВСКОМ МОРЕ

Кочергин В.С. ✉, Кочергин С.В.

*МГИ, г. Севастополь*  
✉ [vskocher@gmail.com](mailto:vskocher@gmail.com)

**Ключевые слова:** модель переноса, примесь, источник загрязнения, Азовское море.

В последнее время динамика экологической обстановки в акватории Азово-Черноморского бассейна приводит к пониманию необходимости создания систем мониторинга окружающей среды, которые позволяют получать оценки ее состояния, особенно в районах техногенного воздействия. К таким объектам относятся акватории портов, транспортных путей, районы дноуглубительных работ и т. д. Такие системы должны включать в себя оперативные данные измерений концентрации загрязняющих веществ в море, метеорологическую и батиметрическую информацию. Использование современных численных моделей и вычислительной техники дает возможность получения информации о состоянии исследуемого объекта. Чаще всего при решении подобного рода задач на основе гидродинамических моделей рассчитываются поля течений в исследуемом районе, а решение задачи переноса загрязнений различного характера в море ищется на основе интегрирования модели переноса примеси.

В работе на основе баротропной модели циркуляции в Азовском море рассчитаны поля течений для различных метеорологических ситуаций, а именно при воздействии интенсивных ветров различной направленности. Полученная информация использовалась в дальнейшем для прогнозирования распространения пятна загрязнения от мгновенного единичного точечного источника расположенного в районе порта Темрюк. В работе проанализирована динамика распространения загрязняющих веществ, полученная при различном ветровом воздействии за 5 суток модельного времени. Построены возможные области загрязнений, полученные при таком ветровом форсинге.

## БРИЗОВЫЕ ВАРИАЦИИ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ НА ЮЖНОМ БЕРЕГУ КРЫМА

Краевская Н.Ю.<sup>1✉</sup>, Дулов В.А.<sup>1</sup>, Шокуров М.В.<sup>1</sup>,  
Юровский Ю.Ю.<sup>1</sup>, Каменев О.Т.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> МГИ, г. Севастополь

<sup>2</sup> ИАПУ, г. Владивосток

✉ [krayevskaja@gmail.com](mailto:krayevskaja@gmail.com)

**Ключевые слова:** морской бриз, ветровые волны, морские натурные исследования, моделирование ветровых волн, региональный волновой климат.

Бризовая циркуляция в атмосфере – широко распространенное явление в прибрежной зоне. Интенсивность и направление скорости ветра в бризе меняется в течение суток: дневной бриз направлен с моря на сушу, ночной – с суши на море. Под влиянием силы Кориолиса в течение суток в Северном полушарии скорость ветра как правило вращается антициклонически, по часовой стрелке. Бризовая циркуляционная ячейка расположена частично над сушей, частично над морем. В расположенной над морем части ячейки бризовый ветер воздействует на ветровые волны, вызывая вариации их характеристик в течение суток.

Как правило, в средних широтах относительно слабая бризовая циркуляция существует совместно с синоптическими атмосферными процессами. Характерные скорости ветра в бризе составляют 2–3 м/с, а ширина морской части бризовой циркуляционной ячейки примерно 20–30 км. В этом случае ветровые волны управляются синоптическим полем ветра с временным масштабом более суток, масштабом скорости ветра порядка 10 м/с, пространственными масштабами, намного превышающими размеры бризовой ячейки. При этом, однако, бриз вызывает модуляции характеристик волн, приводя к их суточной изменчивости.

Данная работа посвящена исследованию влияния морского бриза на волновые характеристики вблизи поселка Качивели на



Южном берегу Крыма на основе натурных измерений и численного моделирования для летнего периода 2025 года, когда бризовая циркуляция была хорошо выражена.

Чтобы получить суточную изменчивость, данные скорости ветра и двумерные волновые спектры волн усреднялись по всему периоду измерений за фиксированный час суток.

В результате показано, что в летний сезон, когда морской бриз ярко выражен, а синоптические процессы слабы, характеристики ветровых волн у Южного побережья Крыма испытывают суточные модуляции, вызванные бризом.

Анализ осредненного годографа бризовых вариаций скорости ветра показал, что в течение суток формируются 3 максимума. Максимальное значение скорости достигается в 17 часов по местному времени и составляет 2,8 м/с при ветре юго-западного направления ( $230^\circ$ ). Значительная высота волны модулируется бризовым ветром, диапазон превышает 8 см, при чем в течение суток волны достигают наибольших высот после полудня, а в утренние часы высота волн минимальна.

Направление относительно коротких волн с частотами, превышающими 0,7 Гц, совершает полный поворот за сутки, так же, как и вектор скорости в бризе. Бриз оказывает влияние и на более длинные волны, связанные с синоптическими процессами. После осреднения за исследуемый период получено, что эти волны имеют два климатических доминирующих направления распространения – юго-восточное ( $100^\circ$ ) и юго-западное ( $220^\circ$ ); а также, что в направлении длинных волн проявляется суточный ход: волны с юго-восточного направления максимальны утром и днем, а волны юго-западного направления максимальны вечером.

Исследование выполнялось по договору ЕП-28/2026 от 27 апреля 2026 г. в рамках проекта Министерства науки и высшего образования РФ № 075-15-2024-642.

## ТРЕХМЕРНОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ОСАЖДЕНИЕ МАЗУТА В ВОДАХ ЧЁРНОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ МОДЕЛИ НЕФТЯНЫХ РАЗЛИВОВ FOTS

Кубряков А.А. ✉, Георга-Копулос А.А., Мизюк А.И.,  
Холод А.Л., Станичный С.В., Кременчуцкий Д.В.

*МГИ, г. Севастополь*

✉ [arskubr@yandex.ru](mailto:arskubr@yandex.ru)

**Ключевые слова:** мазут, нефтяное загрязнение, трёхмерное моделирование, FOTS, лагранжева модель, осаждение на дно, минеральная взвесь, биodeградация, Чёрное море, «Волгонефть».

Авария танкеров «Волгонефть-212» и «Волгонефть-239» 15 декабря 2024 г. в Керченском проливе привела к попаданию в море 2500–3000 т мазута М-100. В отличие от лёгких нефтепродуктов, мазут характеризуется высокой плотностью, низкой летучестью и склонностью к оседанию на дно при взаимодействии со взвешенным веществом, что создаёт риск вторичных загрязнений побережья при подъёме осевшего мазута штормовым волнением. Существующие оперативные модели нефтяных разливов ориентированы преимущественно на поверхностный перенос, что потребовало разработки трёхмерной версии модели FOTS (Floating Oil Trajectory System) с явным учётом вертикальной динамики загрязнения.

Модель FOTS v2 реализована в лагранжевой постановке: нефтяное пятно представлено ансамблем частиц, каждая из которых характеризуется координатами, глубиной, объёмом, толщиной слоя и физико-химическими свойствами. Помимо трёхмерного переноса по полям течений NEMO/BAMS, вертикального оседания капель по закону Стокса, налипания минеральной взвеси на капли (механизм ОМА) и оседания нефти на взвеси (SPM) с переходом массы в придонный слой, в усовершенствованной модели дополнительно учтён полный комплекс остальных процессов трансформации мазута: гравитационное и

вязкое растекание, волновая дисперсия, испарение, эмульгирование, биodeградация и растворение ароматических компонентов, – каждый из которых может активироваться или отключаться в зависимости от типа нефтепродукта. Концентрация взвешенного вещества задаётся по спутниковым данным.

Выполнен трёхмерный расчёт распространения мазута для сценария аварии «Волгонефть» в Азово-Черноморском бассейне с использованием оперативных полей NEMO (форсинг BAMS, разрешение 4,6 км) и GFS за период декабрь 2024 – январь 2025 г. Источник загрязнения задан в районе затонувшей части танкера «Волгонефть-212». Расчёт показал, что большая часть мазута осталась на поверхности и дрейфовала к побережью Севастополя и Евпатории по поверхности. Заметное осаждение частиц мазута на дно происходит после 4–5 суток взаимодействия со взвешенным веществом высокой концентрации. Наиболее существенное накопление осевшего мазута зафиксировано вблизи Керченского пролива и мелководной прибрежной зоне Анапы, которая характеризовалась интенсивным взмучиванием донных осадков. Кроме того, часть мазута осела в центральной части моря на глубинах более 1000 м. Построены области кумулятивного донного оседания, сопоставленная с данными радиолокационной съёмки Sentinel-1 и полевыми наблюдениями выхода мазута на берег (Анапа, 18–19 декабря 2024 г.), что подтверждает согласованность расчётов с натурными данными.

Усовершенствованная трёхмерная модель FOTS v2 позволяет количественно оценивать распределение мазута между поверхностным переносом, донным оседанием и содержанием в толще воды. Полученные оценки времени и локализации донного осаждения мазута могут быть использованы для планирования водолазных работ по очистке дна и прогнозирования вторичных загрязнений побережья Чёрного моря.

Работа выполнена при поддержке государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ № FNNN-2026-0003.

## **ВОЗДЕЙСТВИЕ ВИХРЕВОЙ ДИНАМИКИ НА ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА В ЧЕРНОМ МОРЕ: АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

**Лишаев П.Н. ✉, Кубряков А.А., Кубрякова Е.А.**

*МГИ, г. Севастополь*

✉ *pavellish@mail.ru*

**Ключевые слова:** численное моделирование, фитопланктон, NEMO, BFM, вихревая динамика.

В работе исследуется влияние вихревой динамики на распределение и цветение фитопланктона в Чёрном море по данным результатов численного моделирования на основе совместной биогеохимической модели NEMO-BFM за период 2008–2011 гг.

В районе континентального склона основное воздействие вихрей на цветение мелких и крупных диатомовых водорослей обусловлено горизонтальным переносом продуктивных шельфовых вод. Концентрация фитопланктона существенно возрастает внутри антициклонов, захватывающих богатые биогенными веществами воды на бровке шельфа. Этот механизм действует как в летний, так и в зимний период.

В северо-западной части моря ярко проявляется влияние Севастопольского антициклона, который транспортирует шельфовые воды от западного побережья Крыма в район континентального склона и далее в центр бассейна. Антициклоническая динамика приводит к горизонтальной интрузии шельфовых вод в открытую часть моря, вызывая рост концентрации фитопланктона на соответствующих глубинах. На периферии антициклонов интенсивные динамические процессы усиливают турбулентность, способствуют вовлечению фитопланктона в верхний продуктивный слой и значительно увеличивают его толщину. Аналогичные закономерности уверенно регистрируются по спутниковым данным: повышенные концентрации хлорофилла (Хл) устойчиво наблюдаются именно на периферии

антициклонов. Особенно важное значение антициклонический перенос имеет для развития крупных диатомовых водорослей, основная масса которых сосредоточена на континентальном склоне бассейна.

В отличие от антициклонов, циклоны оказывают преимущественное влияние в центральной части моря. Действие циклона стимулирует рост концентрации мелких диатомовых в слое глубинного максимума у нижней границы эвфотической зоны (около 40 м).

В области циклонических вихрей концентрация фитопланктона за счёт дополнительного вертикального потока биогенных веществ на 10–20 % выше, чем в среднем по центральной части моря.

Напротив, антициклоны в центре бассейна формируют локальные минимумы концентрации фитопланктона на глубинах глубинного максимума.

Таким образом, вихревая динамика играет определяющую роль в пространственно-временном распределении фитопланктона, причём антициклоны обеспечивают горизонтальный биогенный перенос со шельфа, а циклоны – вертикальное обогащение центральной части моря. Эти процессы необходимо учитывать при моделировании продуктивности и прогнозировании цветений в Чёрном море.

## **СРАВНЕНИЕ ПРОДУКТОВ СПЛОЧЁННОСТИ МОРСКОГО ЛЬДА В КАРСКОМ МОРЕ СО СПУТНИКОВЫМИ ДАННЫМИ AMSR2 ЗА 2022–2024**

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

*МГИ, г. Севастополь*  
✉ *zhuk-vlad1slav@ya.ru*

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

Точные данные о сплочённости морского льда необходимы для планирования судоходства, эксплуатации прибрежной инфраструктуры и проведения климатического мониторинга в Арктике. Поскольку ледовая обстановка меняется быстро, проверка качества современных продуктов, поступающих как от оперативных моделей, так и от реанализов, остаётся одной из актуальных задач.

В работе анализируется сплочённость льда в Карском море за трёхлетний период с января 2022 г. по декабрь 2024 г. В качестве эталона использовались спутниковые данные сплоченности AMSR2, относительно которых сопоставлялись пять продуктов: модель МГИ РАН на основе комплекса NEMO 3.6, реанализы TOPAZ5, TOPAZ4, GLORYS12v1 и ORAS5. Все поля приводились к единой пространственной сетке и усреднялись для каждого месяца, после чего рассчитывались систематическое смещение (*bias*), среднеквадратичная ошибка (RMSE) и коэффициент корреляции (*R*).

По итогам сопоставления наименьшие отклонения от спутниковых данных показал ORAS5 (*bias* =  $-1,22\%$ ; RMSE =  $7,35\%$ ; *R* = 0,985), близкие результаты получены и для GLORYS12v1 (*bias* =  $-1,19\%$ ; RMSE =  $8,93\%$ ; *R* = 0,979). Продукты TOPAZ5 и TOPAZ4 продемонстрировали сопоставимые между собой характеристики с небольшим положительным смещением ( $2,47\%$  и  $3,13\%$  соответственно) и RMSE в диапазоне  $11,4\text{--}12,2\%$  при сохранении высокой корреляции (0,966 и 0,962). Для модели МГИ РАН *bias* составил  $2,25\%$ , RMSE  $18,32\%$ , а корреляция оказалась несколько ниже, чем у остальных продуктов (*R* 0,906). При этом стоит отметить, что полученные характеристики находятся на сопоставимом с остальными продуктами уровне, несмотря на отсутствие в модели процедур прямой ассимиляции спутниковых данных о сплочённости ледового покрова.

Рассмотрение сезонного хода ошибок относительно AMSR2 показало, что в период устойчивого ледостава (январь–май) модель МГИ РАН демонстрирует низкие значения смещения (до 0,05), по точности соответствия спутниковым данным не уступая, а в отдельные месяцы и превосходя рассмотренные продукты. Наибольшие расхождения у модели приходятся на период

активного таяния льда в июне и июле, когда смещение возрастает до 0,15–0,16, а стандартное отклонение ошибки достигает 0,265–0,267, заметно превышая значения других продуктов. Для GLORYS12v1 характерен переход от слабого отрицательного смещения зимой (январь–апрель, около –0,02) к положительному в начале лета (май–июль, до 0,05–0,06). TOPAZ4 на протяжении почти всего года сохраняет небольшое положительное смещение с максимумами в феврале (0,09) и декабре (0,06), тогда как ORAS5 в течение всего годового цикла держится ближе к нулевой линии и обладает наименьшей сезонной изменчивостью ошибки среди всех рассмотренных продуктов.

Исследование выполнено в рамках государственного задания № FNNN-2024-0017.

## **ДИНАМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ВОД ВБЛИЗИ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО МАТЕРИКОВОГО СКЛОНА ЧЕРНОГО МОРЯ**

**Маркова Н.В. , Глухов Л.А.**

*МГИ, г. Севастополь*

 *n.v.markova@mail.ru*

**Ключевые слова:** Черное море, глубоководные течения, материковый склон, циркуляция, противотечения, вихри, моделирование.

На основе данных численного реанализа CMEMS (версия BSe3r1) исследована динамика вод северо-западной части Черного моря в 2017 г. с акцентом на изучение особенностей глубоководных течений вблизи материкового склона и условий их возникновения. Эффекты сдвига скорости с глубиной фиксировались в исследуемом районе по данным натурных измерений в нескольких экспедициях, в том числе в результатах годовой постановки доплеровских акустических измерителей течений вблизи нижней части материкового склона в 2017 г. Однако, в

силу недостаточного пространственного и/или временного разрешения имеющихся рядов наблюдений, особенности поля течений не могли быть достаточно тщательно проанализированы. Предварительные предположения заключались в том, что наблюдаемые развороты скорости могли быть вызваны вихревыми структурами либо течениями, обратными по направлению относительно поверхностной циркуляции – противотечениями. При этом имеющиеся натурные наблюдения не давали возможности масштабной пространственной оценки динамических структур, вызывающих подобную изменчивость скорости с глубиной, в отличие от трехмерных по пространству и ежесуточных модельных полей.

При анализе результатов моделирования динамики моря в 2017 г. была выполнена дополнительная двухфазная валидация используемых модельных данных (для более узкого пространственно-временного диапазона, чем в CMEMS). Сначала была проведена статистическая оценка модельных полей в сравнении с данными профилирования температуры и солености буями Argo – только для выбранного годового интервала, для всего бассейна. Затем проведена валидация по внешним относительно CMEMS данным – для северной части моря (станции пяти рейсов НИС «Профессор Водяницкий» в 2017 г.). Статистические оценки модельных температуры и солености под основным пикноклином оказались удовлетворительными даже в сравнении с региональными судовыми наблюдениями, что позволило считать связанные с ними модельные поля скорости адекватно описывающими глубоководную циркуляцию.

На основе среднесуточных модельных полей скорости, термохалинных параметров и рассчитанных производных характеристик морской среды проведен анализ пространственно-временной изменчивости циркуляции вблизи материкового склона в районе натурных наблюдений. Показано, что северо-восточная направленность переноса вод в нижней части склона, зафиксированная по данным инструментальных наблюдений течений на глубине 1700 м, могла быть обусловлена эволюцией ансамбля мезомасштабных вихрей разного знака, формирующихся на особенностях рельефа дна. В вышележащих слоях в районе



наблюдений в гидрофизических полях идентифицированы возмущения, передаваемые интенсивными поверхностными вихрями до глубин 700–800 м. В вертикальной структуре среднемесячных профилей завихренности на горизонтах 550–900 м выявлен слой локального минимума, характеризующийся отсутствием годового хода. В среднегодовом профиле кинетической энергии минимум достигался на горизонтах 900–1100 м, ниже которых ее значения слабо возрастали ко дну. Подобные эффекты, полученные для района северо-западной части материкового склона, вероятно, могут быть обнаружены и в других регионах и требуют дополнительных исследований, в том числе с привлечением результатов других модельных расчетов и натурных измерений.

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

## **ОЦЕНКА НАКАТА ВЕТРОВЫХ ВОЛН НА РАЗНОТИПНЫЕ БЕРЕГОВЫЕ ПРОФИЛИ СЕВЕРНОЙ СТОРОНЫ СЕВАСТОПОЛЯ**

**Михайличенко С.Ю. , Харитонов Л.В.**

*МГИ, г. Севастополь*  
 *liham1984@rambler.ru*

**Ключевые слова:** ветровое волнение, SWASH, горизонтальный заплеск, вертикальный заплеск, береговые профили, размыв пляжей.

В работе с помощью одномерной негидростатической модели SWASH выполнена оценка параметров трансформации и наката ветровых волн для шести характерных профилей северного побережья Севастопольского региона (от м. Лукулл до м. Толстый). Исследованы участки с разной морфологией: ненарушенные берега между м. Лукулл и с. Андреевка (R1); естественные пляжи и береговые откосы у пгт Кача (R2); склон у Немецкой балки, где не проводилась подрезка склонов (R3); пересыпь в устьевой области р. Кача около с. Орловка (R4); берег у аэродрома Бельбек (R5); оползнеопасный участок у м. Толстый (R6). Набегающие

волны задавались спектром JONSWAP с параметрами экстремальных штормов повторяемостью от 1 до 100 лет на основе данных реанализа на изобате 20 м. Определялись максимальные значения горизонтального (дальность проникновения волны по суше) и вертикального (превышение уровня уреза) заплеска.

Результаты показали, что для профилей с высоким крутым берегом (R1–R3, R5, R6) величины наката закономерно возрастают с увеличением штормовой обеспеченности. Максимальный горизонтальный заплеск зафиксирован на профилях R2 и R5, что связано с наличием пологих пляжевых зон. Наибольший вертикальный заплеск отмечен для профилей R5 и R3, что объясняется крутизной берегового склона.

Особый интерес представляет профиль R4 (пересыпь высотой ~2,2 м). Анализ расчетов указывает на то, что при сильных штормах волны полностью перехлестывают через пересыпь и проникают в тыловую пониженную часть берега, что создает риск заливания прибрежной территории.

Анализ рассчитанных осредненных по глубине орбитальных скоростей показал, что для профилей R2 и R5 при штормах высокой обеспеченности значения скоростей достигают критических отметок, способных вызвать активный размыв пляжа. Получены значения минимальной ширины пляжей, необходимой для полного гашения волновой энергии в каждом случае.

Таким образом, численные эксперименты позволили количественно оценить параметры волнового воздействия на разные типы берегов северной стороны Севастополя, выявить наиболее уязвимые участки и определить условия, при которых происходит затопление и размыв пляжей.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания № FNNN-2024-0016.

## LES-МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНВЕКТИВНОГО АТМОСФЕРНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ НАД МОРЕМ

Онищенко Н.С. ✉, Шокуров М.В.

*МГИ, г. Севастополь*  
✉ [nickonishmail@mail.ru](mailto:nickonishmail@mail.ru)

**Ключевые слова:** численное моделирование, конвекция, LES, RANS.

Структура конвективного атмосферного пограничного слоя (АПС) над морем представляет собой как теоретический, так и практический интерес, например, для прогноза конвекции над морем при вторжениях холодного воздуха с суши, а также в холодном секторе синоптического циклона в открытом океане.

Поэтому точное количественное описание структуры конвективного АПС – поверхностного слоя, термиков, зоны вовлечения – заслуживает специального рассмотрения.

Для исследования АПС или океанского верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) традиционно используется три инструмента: теория, натурные измерения и численное моделирование. В данной работе для изучения конвективного АПС над морем использовалось численное LES-моделирование по следующим причинам. По сравнению с RANS-моделями LES-модели дают описание 3-мерных турбулентных вихрей. В то же время DNS-моделирование не может быть использовано для АПС из-за слишком большого числа Рейнольдса.

Для исследования структуры конвективного АПС в разных режимах было выполнено 15 численных расчетов для разных значений геосторфической скорости ветра и разных значений потока тепла на поверхности. Можно выделить два режима конвекции в АПС.

1) При моделировании конвективного АПС в режиме свободной конвекции (при нулевой скорости ветра) была получена общая структура термиков: узкие зоны подъема с большой вертикальной скоростью, достигающей 4 м/с, и большие по площади зоны опускания с меньшей по модулю вертикальной скоростью

опускания, до 2 м/с. В центрах термиков скорости, как правило, больше, чем на их краях или в соединяющих термики областях подъема. Сами термики вблизи поверхности представляют собой области подъема в виде узких вертикальных «занавесов», которые по мере движения вверх сливаются и образуют более широкие восходящие потоки теплого воздуха с большей вертикальной скоростью, которые способны пробить зону инверсии.

При достижении самыми быстрыми термиками высоты инверсии, они пробивают ее, а турбулентная кинетическая энергия из конвективного АПС расходуется на захват и перемешивание теплого воздуха из свободной атмосферы над АПС; таким образом происходит постепенный подъем зоны вовлечения.

2) При наличии ветра, в режиме вынужденной конвекции, циркуляция имеет форму валиков, вытянутых вдоль ветра. Данный режим формируется не всегда, а лишь при определенных значениях скорости ветра и потока тепла на поверхности. Структура турбулентности в этом случае зависит от безразмерного числа, равного отношению высоты инверсии к длине Монины–Обухова. При больших значениях этого безразмерного числа выполняется теория подобия Дирдорфа и характерный масштаб скорости турбулентности определяется скоростью Дирдорфа.

Для всех режимов конвекции построены вертикальные профили первых моментов скорости, температуры и влажности, вторых моментов – дисперсии флуктуаций разных компонент скорости, температуры, влажности, потока тепла и импульса. Определен важный параметр – направленный вниз поток тепла на верхней границе конвективного АПС, а также скорость вовлечения, которые могут использоваться в дальнейшем для различных параметризаций в SLAB-моделях конвективного АПС.

Работа выполнена в рамках госзадания ФГБУН ФИЦ МГИ по теме № FNNN-2024-0014 (шифр «Взаимодействие океана и атмосферы»).

## **РОЛЬ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ОСНОВНОГО ЧЕРНОМОРСКОГО ТЕЧЕНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ КРУПНОМАСШТАБНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ЧЕРНОГО МОРЯ**

**Павлушин А.А.**

*МГИ, г. Севастополь*  
✉ [pavlushin@mhi-ras.ru](mailto:pavlushin@mhi-ras.ru)

**Ключевые слова:** Черное море, Основное Черноморское течение, ОЧТ, бароклинная неустойчивость, меандрирование, мезомасштабные вихри, двухслойная модель, крупномасштабная циркуляция.

В рамках численного эксперимента с двухслойной моделью исследована роль бароклинной неустойчивости Основного Черноморского течения (ОЧТ) в формировании крупномасштабной циркуляции Черного моря. Показано, что переход ОЧТ к меандрирующему и вихревому режиму является существенным фактором перераспределения импульса и механической энергии в бассейне, определяющим как структуру поверхностных течений, так и характер межслойного обмена.

Установлено, что неустойчивость ОЧТ оказывает три взаимосвязанных эффекта. Во-первых, меандрирование и развитие мезомасштабных вихрей снижают эффективную работу ветра на поверхности моря вследствие ослабления согласованности между полем касательного напряжения ветра и скоростью поверхностного течения. Тем самым реализуется отрицательная обратная связь, ограничивающая дальнейший рост кинетической энергии системы.

Во-вторых, неустойчивость формирует выраженные поперечные переносы в верхнем слое, которые компенсируют экмановский перенос к берегу и уменьшают вертикальные смещения границы раздела слоев, подавляя экмановскую накачку в нижнем слое.

В-третьих, мезомасштабная вихревая динамика внутри струи обеспечивает передачу энергии в нижний слой через нестационарные поля давления, что способствует возникновению глубинных течений и увеличению диссипации энергии за счет придонного трения.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что бароклинная неустойчивость ОЧТ выступает важным механизмом самоорганизации черноморской циркуляции, способствующим переходу системы к статистически стационарному режиму с минимизацией уровня механической энергии и установлением баланса между ее притоком, перераспределением и диссипацией.

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

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ БИНАРНОЙ СЕГМЕНТАЦИИ SAR СНИМКОВ**

**Петренко В.И.**

*МГИ, г. Севастополь*  
✉ [vovudge.pet@rambler.ru](mailto:vovudge.pet@rambler.ru)

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование, бинарная сегментация, сверточная нейронная сеть, радиолокационные данные, Sentinel-1.

Проведен сравнительный анализ влияния входных параметров нейросети U-Net на результаты сегментации радиолокационных спутниковых снимков с синтезированной апертурой (РСА) Sentinel-1 на классы лёд/вода.

Предложен код на языке программирования Python для бинарной пороговой сегментации на классы лёд/вода, выполняющий предобработку исходных данных, а также формирующий первичную маску льда и 5 дополнительных виртуальных каналов для

обучения нейросети. Разработаны коды для обучения, а также для визуализации результатов нейронной сети U-Net с возможностью работы с разным количеством виртуальных каналов.

Сформирован датасет для обучения сверточной нейронной сети U-Net, состоящий из 105 репрезентативных радиолокационных сцен с пространственным разрешением  $40 \times 40$  м. Снимки охватывают период с 2024 по 2025 год в Карском и Баренцевом морях.

Проведен сравнительный анализ влияния входных параметров, таких как размер тайла (фрагмента снимка), количества эпох обучения и количества виртуальных каналов. Получено, что оптимальным является использование максимально до 170 эпох для используемого датасета.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания № FNNN-2024-0012.

## **КОРОТКОПЕРИОДНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СКОРОСТИ ВЕТРА В АКВАТОРИИ ГРЕНЛАНДСКОГО И НОРВЕЖСКОГО МОРЕЙ ПО ДАННЫМ ERA-5**

**Погребной А.Е.**

*МГИ, г. Севастополь*

✉ *pogrebok57@mail.ru*

**Ключевые слова:** Северный Ледовитый океан, пролив Фрама, скорость ветра, циклонические и антициклонические вихри, ре-анализ ERA-5.

Арктический бассейн играет одну из ключевых ролей в формировании погоды и климата нашей планеты. Дрейф льда, географические особенности и интенсивность поверхностных течений, термические характеристики вод и теплообмен океана с атмосферой зависят от скорости ветра, температуры воздуха и атмосферного давления. При этом в течение коротких промежутков времени пространственная структура метеорологических полей

существенно меняется. Временное осреднение этих полей может приводить к полной потере важных структурных особенностей, например, информации о наличии и динамике вихрей. Поэтому изучение изменчивости пространственных особенностей метеорологических полей на малых временных масштабах является актуальным.

Исследовалась пространственно-временная изменчивость полей ветра в районе пролива Фрама ( $75^{\circ}$  с. ш. –  $82^{\circ}$  с. ш.,  $20^{\circ}$  з. д. –  $30^{\circ}$  в. д.). Использовались глобальные массивы данных реанализа ERA-5 с 1-часовой дискретностью. Анализировался временной интервал с 1 по 31 августа 2022 года.

Для каждого часового интервала были рассчитаны линии тока воздушных масс и определены центры возможных циклонических и антициклонических вихревых образований. Отслеживалась временная эволюция каждого индивидуального вихря. Для антициклонов и циклонов использовалась раздельная сквозная нумерация вихрей. Также производились статистические оценки скорости перемещения, завихренности, аномалий тепла и влаги вихревых образований.

В августе 2022 г. (744 часовых интервала) в исследуемой области зафиксирован 121 циклон и 147 антициклонов. Суммарное время наличия циклонов – 782 ч, антициклонов – 767 ч. Максимальная продолжительность присутствия в данном регионе индивидуальных циклонов – 62 ч, антициклонов – 68 ч. Средняя скорость перемещения центров циклонов – 57 км/ч, антициклонов – 70 км/ч. Медианная скорость перемещения центров циклонов – 44 км/ч, антициклонов – 47 км/ч.

Также для всех временных интервалов представлены розы ветров, получены статистические распределения скорости ветра и его завихренности, построены карты аномалий тепла и влаги вихревых образований.



## ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ С УЧЕТОМ ДРЕЙФА СТОКСА НА ПРИМЕРЕ АВАРИИ ВОЗЛЕ КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА

Пузина О.С.

МГИ, г. Севастополь  
✉ oksana\_puzina@mail.ru

**Ключевые слова:** Черное море, дрейф Стокса, лагранжевый перенос, численное моделирование.

Цель данной работы – улучшить моделирование переноса нефтепродуктов с учетом дрейфа Стокса. Эксперименты проводились на примере аварии, произошедшей 15 декабря 2024 г. в районе Керченского пролива. В результате крушения танкеров «Волгонефть-212» и «Волгонефть-239» произошел разлив нефтепродуктов в точке с координатами  $36,51^\circ$  в. д.  $45,04^\circ$  с. ш.

Для решения поставленной задачи использовалась система прогноза ФГБУН ФИЦ МГИ. Система прогнозирования работает на основе комплекса численного моделирования NEMO. Пространственное разрешение региональной конфигурации, охватывающей Эвксинский каскад (Азовское, Черное и Мраморное моря), составляет  $4,6 \times 4,6$  км. Вертикальная дискретизация выполнена с использованием z-координаты с дробным шагом на 35 горизонтах. Для учета атмосферного воздействия используются данные оперативного прогноза погоды NOMADS. В региональной конфигурации также учитываются климатические расходы 13 рек, впадающих в Черное море. Для Азовского моря учитываются наблюдения объемного стока рек Дон и Кубань.

Данные дрейфа Стокса были взяты из продукта BLKSEA\_ANALYSISFORECAST\_WAV\_007\_003 системы Copernicus. Расчет основан на работе спектральной волновой модели WAM Cycle 6. Пространственное разрешение продукта составляет 2,5 км.

Поскольку данные дрейфа Стокса были доступны только на поверхности, их интерполировали по вертикали с затуханием по глубине, опираясь на спектр Филлипса (Breivik, Ø. A Stokes drift

approximation based on the Phillips spectrum / Ø. Breivik, J.-R. Bidlot, P.A.E.M. Janssen // Ocean Modelling. – 2016). В итоге, были подготовлены новые поля скоростей, где учтены дрейф Стокса и модельная скорость течений.

Для воспроизведения переноса нефтепродуктов используется пакет *Parcels*, представляющий собой набор классов и методов, реализованных на языке программирования *Python*.

По результатам моделирования получен ряд ключевых выводов. Расчетные данные о скорости течений позволили точнее воспроизвести перемещение мазута по сравнению с первоначальными данными. Это подчеркивает важную роль дрейфа Стокса в лагранжевом переносе частиц, а иногда и доминирование над модельными скоростями течений. Полученный результат не исключает влияния ветрового дрейфа на горизонтальный перенос частиц.

## **РАЗРАБОТКА И ТЕСТИРОВАНИЕ МЕТОДА ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ В ВЕРХНЕМ 500-МЕТРОВОМ СЛОЕ ЧЕРНОГО МОРЯ**

**Ратнер Ю.Б. , Мизюк А.И., Холод А.Л., Мамчур Н.Л.**

*МГИ, г. Севастополь*

 *yubrat@gmail.com*

**Ключевые слова:** Черное море, температура воды, вертикальный профиль, профилограф АРГО, опорный профиль, нижняя огибающая, монотонная аппроксимация.

На основе сопоставления с опорными профилями, получаемыми, исходя из существенных свойств климатического распределения температуры от глубины, представлены результаты разработки и экспериментальной проверки метода автоматического обнаружения отклонений вертикальных профилей температуры морской воды (далее – аномалий), которые

могут быть связаны с процессами, развивающимися в морской среде, или дефектами данных измерений.

В климатических профилях температура воды монотонно убывает до глубины 50–100 м. После достижения минимальных величин происходит монотонный рост температуры до глубин примерно 500 м, который далее наблюдается также в интервале глубин примерно от 700 до 2200 м.

Исходя из особенностей климатического распределения температуры воды, получение опорных профилей выполняется с помощью кусочно-монотонной аппроксимации нижней огибающей. С этой целью использованы кусочно-линейные монотонные аппроксимации температуры на двух сегментах профиля: от поверхности моря до глубины, соответствующей минимальному значению температуры, и от глубины минимума температуры до глубины 500 м. Кроме монотонности, на этих сегментах задаются дополнительные требования минимальности и неотрицательности отклонений измеренных величин температуры от опорного профиля.

Для тестирования возможностей обнаружения аномалий температуры были использованы данные профилографа АРГО-7900592, полученные в 2014 году. Автоматизация обнаружения аномалий измеренных профилей выполнялась на основе использования карты пространственного распределения максимальных величин отклонений, обнаруженных в каждом профиле, и диаграммы Хоффмюллера построенной в координатах время-глубина.

Полученные результаты показали реальную возможность обнаружения аномалий температуры воды с помощью использованного метода. Они были подтверждены на полном объеме архива данных профилографов АРГО, функционировавших в Черном море в период с 2005 по 2022 годы, и проверены на основе сопоставления с результатами работ других авторов.

С учетом высокого быстродействия метода обнаружения аномалий от опорных профилей представляется возможным и целесообразным проверить возможности его использования для обнаружения и предварительного анализа причин их возникновения в результатах расчетов с использованием моделей циркуляции Черного моря и данных других измерительных платформ.

Предложенный метод не требует дополнительного привлечения данных о солености морской воды, что расширяет границы его применимости, по сравнению с методами, предложенными в работах других авторов.

## **ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ДАННЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В АНАЛИЗЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ЗВУКА НА АКВАТОРИИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ**

**Саенко Н.Е.<sup>1✉</sup>, Ившин В.А.<sup>2</sup>, Фёдоров А.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> 280 ЦКП ВМФ, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup> ПИНРО им. Н. М. Книповича, г. Мурманск

✉ ivshin@pinro.vniro.ru

**Ключевые слова:** кромка дрейфующих льдов, Баренцево море, прямые наблюдения.

Впервые представлены материалы по результатам расчетов модели CORA на глубоководных океанографических станциях в северо-западной части Баренцева моря в проливе Шеллинга между островом Шпицберген и архипелагом Земля Франца-Иосифа в летний период.

Материалы и методы:

- выходные массивы динамической модели CORA, гридированные в узлы регулярной сетки, с пространственным шагом  $0,1^\circ$  по широте и  $0,5^\circ$  по долготе на стандартных горизонтах;
- данные наблюдений на глубоководных океанографических станциях, собранные в ААНИИ отделом фонда данных и научно-технической информации.

Расчет скорости звука проводился на основе эмпирической формулы Вильсона. Типизация проводилась на основе 7 типов ВРСЗ.

По результатам классификации ВРСЗ на полигоне в северо-западной части Баренцева моря в проливе Шеллинга между островом Шпицберген и архипелагом Земля Франца-Иосифа было выявлено, что в 61 % случаев на контрольных точках наблюдалось наличие однотипных форм профилей, выделенных на основе данных ААНИИ и CORA. Зона «несоответствия» типов ВРСЗ располагалась в северной и восточной частях полигона. В северной части на точность работы динамической модели (CORA) большое влияние могли оказать ледовые условия, где на достаточно узкой акватории концентрация льда в августе 1990 г. менялась от 30 до 60 %. Отсутствие идентичности ВРСЗ в восточной части полигона, вероятно, обусловлено проникновением на эти участки теплых, трансформированных атлантических вод в промежуточных слоях с более высоких широт, что в свою очередь могло отразиться на качестве модельных расчетов.

Наибольшее количество профилей в точках учета на полигоне в северо-западной части Баренцева моря в проливе Шеллинга между островом Шпицберген и архипелагом Земля Франца-Иосифа соответствовало VI типу, характеризующемуся сменой градиента скорости звука с отрицательного на положительный. В отдельных контрольных точках были выделены профили I-III типов (таблица 1).

Таблица 1. Количество выделенных типов профилей ВРСЗ на полигоне 2 по данным ААНИИ и CORA

| Тип профиля            | I | II | III | VI |
|------------------------|---|----|-----|----|
| Кол-во профилей, ААНИИ | 5 | 1  | -   | 22 |
| Кол-во профилей, CORA  | 2 | -  | 5   | 21 |

С практической точки зрения для предварительного освещения гидроакустической обстановки в летний период в неглубоком море ( $z$  до 300 метров) в проливе Шеллинга достаточно 7 типов. При сравнении данных динамических моделей с данными наблюдений, полученными на глубоководных океанографических станциях изменчивость ВРСЗ не ярко выражена – данные могут участвовать в расчетных моделях. Стоит обратить внимание на положение кромки льда и его сплоченность, в крайних областях модельные данные применять с осторожностью. Полученные при массовой обработке данные могут быть включены в специальные пособия и справочники.

## ШИРОТНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ДИСПЕРСИИ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В НЕТРАДИЦИОННОМ ПРИБЛИЖЕНИИ

Слепышев А.А.<sup>1,2</sup> ✉, Трофимова А.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> МГИ, г. Севастополь

<sup>2</sup> Филиал МГУ в г. Севастополе

✉ slep55@mail.ru

**Ключевые слова:** внутренние волны, сила Кориолиса, эксцентриситет эллипса.

Влияние силы Кориолиса на внутренние волны обычно рассматривается в традиционном приближении  $f$ -плоскости, когда учитывается только вертикальная составляющая угловой скорости вращения Земли, а вкладом горизонтальной составляющей угловой скорости вращения Земли пренебрегается. Такое приближение оправдано при моделировании крупномасштабных течений, когда скорость течения почти горизонтальна и вертикальная составляющая силы Кориолиса не может конкурировать с силой тяжести.

Нетрадиционное приближение  $f$ -плоскости учитывает горизонтальную компоненту угловой скорости вращения Земли, перпендикулярную ускорению свободного падения. Для внутренних волн нетрадиционное приближение дает ряд новых эффектов. Анализ удобно проводить на аналитически разрешимой модели с постоянной частотой Брента – Вайсяля в приближении Буссинеска при постоянной глубине моря. Аналитическое решение краевой задачи для амплитуды вертикальной скорости позволяет найти дисперсионное соотношение для фиксированной моды волноводно распространяющихся свободных внутренних волн. Показано, что изолинии частоты волны в плоскости горизонтальных волновых чисел – эллипсы, если частота волны больше инерционной и меньше частоты Брента – Вайсяля. Если частота волны равна частоте плавучести, то изолинии частоты – прямые линии, направленные на восток, если частота

волны больше частоты плавучести, но меньше максимально возможной, то изолинии – гиперболы. В традиционном приближении прямых и гипербол нет, а эллипсы превращаются в окружности с радиусом, равным горизонтальному волновому числу, а частота волны всегда больше инерционной, но меньше частоты Брента – Вайсяля. Эффект влияния нетрадиционного приближения на изолинии частоты усиливается с ослаблением стратификации. Графики зависимости эксцентриситета эллипса от частоты волны для разных широт пересекаются в одной точке, соответствующей удвоенной угловой скорости вращения Земли. На этой частоте эксцентриситет эллипса не зависит от широты. Если частота волны больше этой величины, то эксцентриситет эллипса с уменьшением широты возрастает, если же меньше, то, наоборот, убывает. Эффект сильнее проявляется при слабой стратификации. При приближении частоты волны к инерционной частоте или к частоте Брента – Вайсяля эксцентриситет стремится к 1, т. е. эллипс вытягивается в зональном направлении. В традиционном приближении этого эффекта нет и изолинии частоты в плоскости горизонтальных волновых чисел – окружности.

## **КРУПНОМАСШТАБНАЯ СТРУКТУРА И ИЗМЕНЧИВОСТЬ АДВЕКТИВНОГО ТЕПЛОМАССООБМЕНА МЕЖДУ АКВАТОРИЯМИ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА ПО ДАННЫМ ОКЕАНСКОГО РЕАНАЛИЗА GLORYS12V1**

**Соколов А.А.<sup>1✉</sup>, Иванов В.В.<sup>2</sup>, Смирнов А.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ААНИИ, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup> МГУ, г. Москва

✉ a.sokolov@aari.ru

**Ключевые слова:** Северный Ледовитый океан, Арктический бассейн, Норвежское море, Гренландское море, Баренцево море, Карское море, тепломассоперенос.

Адвективный теплообмен между Северным Ледовитым океаном (СЛО) и сопредельными водными бассейнами (Атлантическим и Тихим океанами) является одним 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 теплопереноса (1993–2025) между тремя акваториями, входящими в СЛО: Норвежское и Гренландское море (НГМ), Баренцево и Карское моря (БКМ), Арктический бассейн с прилегающими окраинными морями (АБМ), – с жидкими границами.

В качестве источника данных выступил реанализ Global Ocean Ensemble Physics Reanalysis (GLORYS12V1), разработанный Copernicus Marine Environment Service (CMEMS), ([URL: https://doi.org/10.48670/moi-00021](https://doi.org/10.48670/moi-00021)).

Данные массива GLORYS12V1 представлены на регулярной сетке с шагом  $1/12^\circ$  на 50 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.

Зафиксирован рост температуры воды в среднем на  $0,54^\circ\text{C}$  на 4 исследованных разрезах и на южной границе СЕБ. При этом на 3 участках наблюдения (разрезы № 1, № 16 и южная граница СЕБ) отмечено наиболее интенсивное усиление теплопереноса, превышающее среднее значение потока тепла ( $13,25$  ТВт) в  $1,02$ – $1,68$  раза.

Максимальные адвективные потоки объёма и тепла наблюдаются в НГМ. В АБМ поступает около 21 % тепла и 43 % соли из Северной Атлантики, тогда как значительная часть тепла (приблизительно 19 %) теряется в БКМ.

Основным каналом поступления пресной воды для АБМ является Берингов пролив, через который приходит  $\sim 0,1$  Св пресной воды, что примерно втрое больше, чем средний суммарный сток



крупнейших рек, впадающих в АБМ. Вторым по значимости является таяние льда (~ 0,05 Св). Основной вынос пресной воды из АБМ происходит через пролив Фрама и включает твердый сток (~0,07 Св) и жидкий сток (~0,04 Св). Через проливы Канадского Арктического архипелага осуществляется сток воды со средней соленостью, меньшей, чем средняя соленость выносимой из АБМ воды, что делает эти проливы «источником» соли для АБМ.

Обнаружены колебания адвективных потоков объема с периодами в 1 год, 2–6 и 8–12 лет. Долгопериодные вариации связаны с переносом тепла из Северной Атлантики в Арктику.

Средняя по всем акваториям невязка баланса объема составила 1,5 % от суммарного притока/стока, что позволяет заключить, что данные реанализа и методика расчета адекватны поставленной цели, а балансы тепла и соли отдельных акваторий не зависят от выбора отсчетных значений температуры и солености с точностью до указанной погрешности.

## **ЭПОХА КЕЛДЫША: «ФУЛТОНСКАЯ РЕЧЬ» У. ЧЕРЧИЛЛЯ И «ЛУННАЯ РЕЧЬ» Д. КЕННЕДИ – ТРИГГЕРЫ КОНКУРЕНЦИИ СССР И США В ПОКОРЕНИИ КОСМОСА**

**Сушкевич Т.А.**

*ИИМ РАН, г. Москва*

✉ *tamaras@keldysh.ru*

**Ключевые слова:** Келдыш, Черчилль, Фултонская речь, Кеннеди, Лунная речь, конкуренция СССР-США, космическая эра, Гагарин, ракетно-ядерный щит.

В 2026 г. на научной конференции в г. Севастополе в условиях геополитических тектонических потрясений и изменений в напряженных международных отношениях после атаки беспилотников в ночь на 10 июня по Музею-панораме «Оборона Севастополя 1854–1855 гг.», посвященной обороне города во время Крымской войны, России против коалиции Великобритании и Франции, в год 85-летия начала Великой Отечественной

войны 22 июня 1941 года, когда СССР и США были союзниками, и 250-летия Независимости США (4 июля 1776 г. принята «Декларация независимости США» от Королевства Великобритании и бывшие колонии получили статус соединенных штатов) с целью исторического просвещения и консолидации поколений через «Историю знаний» и отечественных достижений следует вспомнить события, которые явились триггерами и драйверами научно-технической революции, связанной с авиацией, покорением атома и космоса, реактивным вооружением и подводным флотом, созданием ЭВМ и цифровизацией, и основания фундамента «цифровой» и «космической» цивилизаций в XX веке.

24 июня 1945 г. прошел Парад Победы на Красной площади в Москве и прогремели салюты в городах-героях. 15–31 июня 1945 г. в Москве и Ленинграде прошел «Победный Парад Науки» по случаю Победы, 220-летия Академии наук и 20-летия Великой Академии наук СССР, сыгравшей важнейшую роль в обеспечении Победы. 6 и 9 августа США наносят атомные удары по Японии. 20 августа 1945 г. выходит историческое Постановление Государственного Комитета Обороны «О Специальном комитете при ГОКО» № 9887сс/оп (Подпись: Председатель Государственного Комитета Обороны И. Сталин). Это был старт «Атомного проекта» и основания атомной отрасли в СССР, 80-летие которой отметили в 2025 г. – «ядерный щит» и мирная «атомная энергия» занимают лидирующие позиции.

В 2026 г. впервые за 80 лет отечественные и мировые научные, политические, экспертные, публичные, медийные сообщества, и государственные деятели солидарно вспомнили о знаменитой «Фултонской речи» Уинстона Черчилля 5 марта 1946 г. в Вестминстерском колледже, г. Фултон, штат Миссури, США. Речь Черчилля произвела колоссальное влияние на ход мировой истории и дальнейшую внешнюю политику США и Западной Европы, в том числе в отношении Советского Союза. В этой речи прозвучали два главных ключевых вызова. Во-первых, открыто заявлено о превосходстве англоязычных стран (англосаксов) во всех сферах и о новых планах англосаксов по управлению миром «...не только авторитетом ООН, но и всей мощью США, Великобритании и других англоязычных стран и их союзников». Во-вторых, прозвучали такие выражения как «особые отношения»,

«железный занавес», «Мускулы мира», т. е. фактически была объявлена «холодная война» с СССР.

И.В. Сталин адекватно оценил «Фултонскую речь» и предупредил всех о грядущих вызовах и угрозах, которые никогда не менялись после окончания второй мировой войны и до настоящего времени. 13 мая 1946 г. вышло историческое Постановление Совета Министров Союза ССР №1017-419сс «Вопросы реактивного вооружения», которое закладывало задачи по развитию реактивной техники и определило конкретные меры по реализации ракетно-ядерного оружия – создание ракетостроительной отрасли в промышленности и освоение ракетного оружия в войсках (Подпись: Председатель Совета Министров Союза ССР И.Сталин).

Это был старт начала «Космического проекта» и создания «Ракетно-ядерного щита». Открытие космической эры 4 октября 1957 г. и полет Юрия Гагарина в космос 12 апреля 1961 г. – ошеломляющий удар по амбициям и отмена «превосходства» англосаксов и во всем мире были признаны две сверхдержавы – США и СССР, который более 10 лет был впереди планеты всей.

Новый старт конкуренции в космосе, науке, промышленности – это когда 12 сентября 1962 г. на весь мир прозвучала знаменитая «Лунная речь» президента США Джона Ф. Кеннеди, г. Хьюстон, Техас: «... сегодня наш долг – вырваться вперед в освоении Вселенной. Мы принимаем этот вызов, мы участвуем в этой гонке – и выйдем из нее победителями. Все взгляды сейчас устремлены в космос, к Луне, к окружающим нас планетам. И мы хотим, чтобы там реял флаг Соединенных Штатов, символ свободы и мира, а не знамя наших врагов. В космосе нет места для оружия массового поражения! Вселенная должна стать источником новых знаний, двигателем прогресса».

В 2026 г. отмечается 115-летие со дня рождения академика М.В. Келдыша и в календаре много значимых юбилейных дат, связанных с именем М.В. Келдыша (10.02.1911-24.06.1978) – Ломоносова XX века, лидера науки и величайшего русского гения за всю историю человечества, единственного математика трижды Героя Социалистического Труда (1956 г., 1961 г., 1976 г.), главного математика страны, научного руководителя проекта создания «ракетно-ядерного щита», Президента Академии наук

СССР и мн. др. Важно вспомнить о конкуренции и сотрудничестве СССР и США в покорении космоса и ключевой роли «незаменимого» М.В. Келдыша – главного теоретика, идеолога и стратега космонавтики, который отвечал за науку в стране и поднял престиж «математики как производительной силы». Кто правит в космосе, тот правит миром. Об этом обязаны знать и помнить потомки.

## **ОПЕРАТИВНАЯ ОЦЕНКА И ПРОГНОЗ ДРЕЙФА ОБЪЕКТОВ НА АКВАТОРИИ АЗОВСКОГО МОРЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛАГРАНЖЕВОЙ МОДЕЛИ И МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

**Тюлькин Р.В. ✉, Дианский Н.А., Фомин В.В.**

*ГОИИ, г. Москва, Россия*

✉ [roma.tyulckin@ya.ru](mailto:roma.tyulckin@ya.ru)

**Ключевые слова:** дрейф объектов, машинное обучение, лагранжевы траектории, гидрофизические поля, Азовское море, web-интерфейс, визуализация.

В настоящей работе рассматривается подход к оперативной оценке и прогнозу дрейфа объектов на акватории Азовского моря на основе гидродинамических и атмосферных данных, лагранжевого моделирования и применения методов машинного обучения. Методы машинного обучения рассматриваются как гибкий инструмент, который может использоваться для ускорения, параметризации или постобработки отдельных этапов прогноза дрейфа. Основное внимание уделяется задаче оценки перемещения человека в спасательном жилете на период от одного часа и более.

В качестве исходных данных использовались многолетние массивы гидрофизических и метеорологических полей за период 2014–2022 гг., включающие компоненты скорости течений и ветра. Данные подготовлены на основе результатов расчетов по негидростатической атмосферной модели WRF (Weather

Research and Forecasting Model), реализованной для акваторий Азовского, Черного и Мраморного морей с пространственным разрешением 10 км, и модели морской циркуляции INMOM (Institute of Numerical Mathematics Ocean Model), реализованной для акватории Азовского моря с пространственным разрешением 500 м. На их основе была сформирована база расчетных сценариев дрейфа. Эталонные расчеты траекторий выполнялись с использованием библиотеки Parcels с учетом переноса под действием течений и ветра. Шаг интегрирования составлял 60 секунд, что было выбрано как компромисс между скоростью расчета и точностью расчета траектории.

Для анализа возможностей применения методов машинного обучения были выполнены массовые расчеты дрейфа частиц при различных начальных координатах и моментах времени в пределах многолетнего архива данных. Такой подход позволил учесть сезонную, синоптическую и пространственную изменчивость течений и ветрового воздействия. Сформированная база может использоваться для обучения, валидации и сравнения различных вариантов ML-компонента. В качестве потенциальных входных параметров рассматриваются координаты объекта, время, компоненты скорости течения и ветра, а также коэффициент ветрового дрейфа. Выходные величины включают скорость дрейфа, параметры траектории и другие характеристики.

Сформированная расчетная база создает основу для интеграции методов машинного обучения в задачу оперативной оценки и прогноза дрейфа объектов. Рассматриваются варианты реализации ML-модели, которые позволят либо полностью, либо частично заменить лагранжев метод расчета траекторий. Такая схема ориентирована на получение прогнозных оценок местоположения объекта через 1, 2, 12, 24 часа и более, что может сократить время анализа при моделировании большого числа возможных сценариев, в том числе и при различных начальных условиях.

Полученные результаты показывают перспективность применения методов машинного обучения в расчетных схемах оценки и прогноза дрейфа объектов. Разработанный подход может использоваться как самостоятельный инструмент при прогнозах дрейфа и местоположения объекта, а также как модуль в составе

web-систем визуализации и поддержки принятия решений при мониторинге морской среды и решении поисково-спасательных задач.

## **АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ДИНАМИКИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ МАЗУТОМ, ПОД ВЛИЯНИЕМ ВЕТРОВОЛНОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРИМЕРЕ ПРИКЕРЧЕНСКОГО РАЙОНА ЧЕРНОГО МОРЯ**

**Харитонов Л.В. ✉, Фомин В.В., Алексеев Д.В.,  
Лазоренко Д.И., Иванча Е.В.**

*МГИ, г. Севастополь*

✉ [kharitonova.dntmm@gmail.com](mailto:kharitonova.dntmm@gmail.com)

**Ключевые слова:** разлив нефтепродуктов, разлив мазута, донные наносы, волны, течения, литодинамика, потоки наносов, численное моделирование, ADCIRC+SWAN, индекс подвижности, Черное море.

В декабре 2024 г. в Керченском проливе произошло крушение танкеров «Волгонефть-212» и «Волгонефть-239», что привело к попаданию в морскую среду 2500–3000 т мазута М-100. В результате взаимодействия нефтепродукта с донными отложениями сформировались песчано-нефтяные агломераты (ПНА), осевшие на дно и представляющие долговременную угрозу вторичного загрязнения побережья. В работе представлен разработанный численный алгоритм для оценки динамики загрязненных мазутом донных отложений под влиянием ветро-волновых условий. Алгоритм построен по модульному принципу и включает гидродинамический блок на основе совместной модели ADCIRC+SWAN, блок расчета придонных сдвиговых напряжений по методу Солсби, блок параметризации свойств ПНА с использованием модифицированной формулы Шильдса, блок

вычисления индексов подвижности, блок расчета потоков наносов и блок идентификации зон накопления на основе уравнения баланса массы. Новизна подхода заключается в модификации классического метода Солсби путем введения параметров ПНА – размера, плотности смеси и критических напряжений с учетом трех типов положения агломератов относительно дна (полностью заглубленные, частично выступающие, лежащие на поверхности).

Для Прикерченского района Черного моря проведены сценарные расчеты для восьми направлений и четырех градаций скорости ветра (7,5–15 м/с) для пяти классов ПНА (диаметр 0,5–10 см). Установлено, что наиболее активно перемещение ПНА происходит в северной части Керченского пролива, где даже при ветре 7,5 м/с возможна мобилизация агломератов размером до 2,5 см. Выявлены устойчивые закономерности вдольберегового транспорта и зоны потенциальной аккумуляции загрязненных осадков – южная часть Анапской пересыпи, участки у мысов Железный Рог, Чауда и Опук. Показано, что наиболее опасными с точки зрения выноса мазута со дна являются ветры южных румбов, а место затопления танкеров (глубины > 20 м) не является источником выноса загрязненных наносов. Сопоставление с экспедиционными наблюдениями подтверждает адекватность разработанного алгоритма. Результаты могут быть использованы для планирования природоохранных мероприятий и прогноза вторичного загрязнения при аварийных разливах нефтепродуктов.

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

## АНАЛИЗ ТРЕХМЕРНЫХ ПОЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ МИРОВОГО ОКЕАНА, ВОССТАНОВЛЕННЫХ РЕГРЕССИОННЫМ МЕТОДОМ, НА СИНОПТИЧЕСКИХ МАСШТАБАХ

Холод А.Л. ✉, Коротаев Г.К., Белокопытов В.Н.

*МГИ, г. Севастополь*

✉ [antonholod@mail.ru](mailto:antonholod@mail.ru)

**Ключевые слова:** температура, Мировой океан, регрессионный метод, спутниковые наблюдения, синоптические вихри.

В последнее время для Мирового океана и отдельных Европейских морей разработаны регрессионные методы восстановления трехмерных полей температуры и солености на основе данных наблюдений с ИСЗ. На основании таких разработок создаются новые оперативные продукты для оценки текущего или прошлого состояния морской среды. В настоящей работе массивы трехмерных полей температуры, построенные по спутниковым наблюдениям методом двухпараметрической регрессии, используются для анализа общих свойств синоптической изменчивости температуры вод в различных районах Мирового океана в умеренных широтах, а также дается оценка относительного вклада синоптической изменчивости в общую изменчивость поля температуры.

Показано, что повсюду в океане в пределах основного термоклина наблюдаются вызванные воздействием синоптических вихрей с горизонтальными масштабами от 50 до 150 км флуктуации температуры морской воды, синфазные с колебаниями уровня океана. Синфазные с температурой поверхности океана колебания температуры морской воды, концентрирующиеся в приповерхностном слое океана, по-видимому, вызываются субмезомасштабными процессами. Сопоставление профилей регрессионных коэффициентов в пределах антициклонического круговорота в Северной Атлантике с результатами обработки



данных гидрологических съемок полигона ПОЛИМОДЕ показывает устойчивость описанных выше закономерностей в течение сорока с лишним лет.

Доля дисперсии синфазных температурных флуктуаций в общей дисперсии отклонений наблюдений температуры морской воды от климата увеличивается там, где возрастает вихревая активность, и падает при приближении к экватору. Следует полагать, что учет особенностей пространственного распределения вихревой активности, выявленных в данной работе, позволит создать новые вычислительно эффективные схемы ассимиляции наблюдений, обеспечивающие высокую точность морских прогнозов.

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПЛЮМОВ ОТ РАЗЛИЧНЫХ РУКАВОВ РЕКИ НА ПРИМЕРЕ ДЕЛЬТЫ ДУНАЯ

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

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

**Ключевые слова:** поверхностная соленость, речной сток, речной плум, Черное море, Дунай, спутниковые данные.

Предварительный качественный анализ спутниковой информации о формировании плумов на различных шельфах морей показал, что суммарная площадь плумов нескольких рек превосходит плум от одного русла с эквивалентным суммарным стоком. Расстояние  $W$  между соседними руслами рек определяется рельефом дна и береговой черты и фиксировано для выбранных рек. Ширина плюма реки  $D_p$  изменчива и определяется объемом стока, геометрией устья, плотностью вод шельфа и шириной.

Для условий дельты Дуная для малых скоростей втока реки (число Фруда  $Fri \ll 1$ )  $W \sim 4,2R_d$ , где  $R_d$  – бароклинный радиус Россби, и в среднем  $W \sim 50$  км. Дельта Дуная состоит из шести основных рукавов, расстояние между которыми составляет от

10 до 60 км, поэтому представляет собой подходящий полигон для исследования взаимодействия плумов. На основе анализа результатов численного моделирования с использованием трехмерной  $\sigma$ -координатной численной модели Princeton Ocean Model (POM), предназначенной для расчета циркуляции в прибрежной зоне с учетом стока реки с реальной топографией дна и пяти рукавов Дуная, установлено несколько типов взаимодействия плумов от различных рукавов реки. Показаны количественные отличия характеристик интегрального плума (площадь, глубина, ширина), образованного в результате взаимодействия плумов от всех рукавов дельты от плума одного русла с эквивалентным стоком. Ключевым механизмом отличия характеристик плума является взаимодействие плумов. Эффект синергии плумов различных рукавов реки начинает работать, когда отношение диаметра плума от одного русла  $D_p$  к расстоянию до соседнего русла  $W$  становится  $D_p/W > 1$ .

Полученные закономерности взаимодействия плумов открывают перспективу более детального изучения фронтогенеза, эволюции речных плумов, переноса взвешенных веществ и биогенных веществ на северо-западном шельфе Черного моря.

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

## **АНАЛИЗ ВОДООБМЕНА В КЕРЧЕНСКОМ ПРОЛИВЕ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ С ВЫСОКИМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ**

**Яровая Д.А. ✉, Ефимов В.В.**

*МГИ, г. Севастополь*  
✉ [darik777mhi-ras@mail.ru](mailto:darik777mhi-ras@mail.ru)

**Ключевые слова:** Керченский пролив, течения, водообмен, совместное мезомасштабное моделирование, модель NOW, WRF, NEMO, ветровое форсинг, донное трение.

Цель работы – исследовать водообмен через Керченский пролив с применением мезомасштабной совместной модели *NOW* с высоким разрешением (333 м).

На примере случая 19–20 апреля 2004 г. показано, что модель *NOW* с разрешением ~300 м достоверно воспроизводит вторжение азовских вод в Чёрное море: формируется характерный плум пониженной солёности, распространяющийся на запад вдоль крымского побережья под действием восточного ветра. Динамика плюма объясняется квазигеострофическим течением, обусловленным меридиональным градиентом уровня моря.

Установлено, что течения в Керченском проливе определяются балансом между баротропным градиентом давления и ветровым форсингом. В узкой северной части пролива при сильном потоке ветровой форсинг может быть направлен противоположно вектору ветра вследствие усиленного донного трения на уменьшающихся глубинах (при движении на юг вдоль северной узкости пролива глубина снижается вдвое – с 8 до 4 м).

Рассмотрено влияние острова Тузла и косы Чушкá на формирование мелкомасштабных особенностей течений. Коса Чушкá сужает северную часть пролива примерно в три раза (с 10 до 3 км), а остров Тузла в центральной части выступает естественной преградой для потоков. Численный эксперимент без учета острова Тузла и косы Чушкá показал завышение расхода воды через северную и южную границы пролива в 1,5–2 раза, что подтверждает критическую важность включения этих участков суши в расчет: оценки водообмена, полученные без их учета, могут быть существенно завышены.

**СЕКЦИЯ 3**  
**«МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ**  
**БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИБРЕЖНОЙ И ШЕЛЬФОВОЙ**  
**ЗОН МОРЯ»**

**ГНСС-РЕФЛЕКТОМЕТРИЯ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ**  
**В УСЛОВИЯХ СТАЦИОНАРНОЙ**  
**ОКЕАНОГРАФИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ**

**Алексеева Е.Е. ✉, Юровский Ю.Ю.**

*МГИ, г. Севастополь*  
✉ [alekceeva2004@mail.ru](mailto:alekceeva2004@mail.ru)

**Ключевые слова:** поверхностные волны, ГНСС-рефлектометрия, уровень моря, натурные измерения.

Использование сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) в качестве зондирующих для оценки шероховатости морской поверхности и ее уровня известно достаточно давно. В простейшей схеме морского интерферометра достаточно одной антенны, принимающей прямой сигнал со спутника и его копию, отраженную от морской поверхности. Отраженный сигнал сдвинут по фазе относительно прямого за счет возникающей разности хода лучей. Изменение угловой высоты спутника в процессе его орбитального движения приводит к интерференционным колебаниям мощности на входе приемника. Период таких колебаний пропорционален высоте приемной антенны над отражающей поверхностью (морем), поэтому, зная точные координаты спутников в каждый момент времени, можно определить высоту антенны над водной поверхностью.

Кроме того, амплитуда колебаний несет информацию об энергии отраженного луча, которая, в свою очередь, зависит от

шероховатости поверхности, определяемой главным образом скоростью ветра. Таким образом, морской интерферометр помимо измерения уровня моря способен выполнять функцию спутникового скаттерометра, оценивая степень шероховатости водной поверхности.

Стационарная океанографическая платформа Морского гидрофизического института представляет собой удобный объект для организации рутинных измерений подобного типа. В отличие от контактных методов, ГНСС-рефлектометрия не требует погружения датчиков в воду и их регулярного обслуживания. К числу основных сложностей, характерных для реализации таких измерений, относятся выделение полезных спутниковых сигналов на фоне помех и устранение влияния нежелательных путей распространения (например, отражений от элементов конструкции платформы).

В работе представлен опыт обработки спутниковых сигналов, зарегистрированных на платформе в течение нескольких месяцев, с целью реализации ГНСС-рефлектометрии. Выполнен анализ интенсивности принятого сигнала (отношения сигнал/шум) в предположении, что он формируется прямым лучом и лучом, отраженным от морской поверхности. Исследованы интерференционные особенности для различных спутников в зависимости от гидрометеорологических условий, скорости ветра и параметров ветрового волнения. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности рассматриваемой схемы измерений, однако принципиальным остается вопрос качественной селекции сигналов и их надежного выделения на фоне шумов.

Работа выполнена на Уникальной научной установке «Стационарная океанологическая платформа» при поддержке темы госзадания МГИ FNNN-2024-0001.

## **БЕСКОНТАКТНЫЙ МОНИТОРИНГ СТОКА МАЛЫХ РЕК КРЫМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЦИФРОВОЙ ТРАССЕРНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ**

**Антоненков Д.А.**

*МГИ, г. Севастополь*

✉ [dmitry\\_science@mail.ru](mailto:dmitry_science@mail.ru)

**Ключевые слова:** LSPIV-велосиметрия, расход воды, бесконтактная гидрометрия, экологический мониторинг.

Гидрологический режим рек юго-западного Крыма характеризуется преобладанием паводкообразующих ливневых осадков и, как следствие, быстропротекающими пиковыми расходами, трудно поддающимися регистрации контактными средствами измерений. Применение гидрометрических вертушек и поплавковых методов в данных условиях сопряжено с высокой погрешностью, значительной трудоемкостью и риском для оператора. Указанные факторы определяют востребованность бесконтактных технологий, позволяющих в дистанционном режиме восстанавливать кинематическую структуру потока по всей ширине гидроствора без размещения измерительной аппаратуры в водной среде.

Предлагаемый метод базируется на технологии Large-Scale Particle Image Velocimetry (LSPIV) с использованием естественных трассеров (турбулентных структур и плавающих объектов) на водной поверхности. Процедура измерений включает получение цифровой видеозаписи поверхности потока с фиксированного пункта с последующим вычислением двумерного поля мгновенных поверхностных скоростей посредством адаптивного кросс-корреляционного анализа последовательных кадров. Переход от поля поверхностных скоростей к интегральному расходу реализуется с использованием вертикальных эпюр скорости и данным опорных промеров русла. Валидация разработанной методики проводилась путем прямого сличения с результатами

синхронных измерений гидрометрической вертушкой на репрезентативных створах рек Черная, Бельбек, Кача. Сравнительный анализ показал, что пространственная непрерывность данных LSPIV позволяет минимизировать неопределенность, свойственную точечным методам при экстраполяции скорости между промерными вертикалями.

Разработанный подход обеспечивает оперативное дистанционное определение расхода воды в паводкоопасных створах без использования дорогостоящего стационарного оборудования и специально подготовленного персонала. Техническая простота и низкая ресурсоемкость делают метод пригодным для модернизации действующей сети гидрологических постов Крыма, в том числе для мониторинга катастрофических паводков и информационной поддержки проектов берегозащиты и руслорегулирования.

## **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ПЛАСТИКОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ЧЁРНОГО МОРЯ**

**Багаев А.В., Вержевская Л.В. ✉**

*МГИ, г. Севастополь*  
✉ [ludmila.ver@mhi-ras.ru](mailto:ludmila.ver@mhi-ras.ru)

**Ключевые слова:** пластиковый мусор, микропластик, Черное море, пляж, береговая зона.

На основе обзора 54 публикаций (2010–2026) проведён анализ загрязнения береговой зоны Чёрного моря пластиковым мусором. Исследования крайне неравномерны географически: 40 % работ выполнено для Турции, 24 % – для Румынии, 22 % – для Болгарии, тогда как российский сектор представлен лишь пятью работами, а Украина и Грузия – единичными. Пляжная зона изучена наиболее полно (около половины статей), поверхностные воды исследованы в 28 % работ.

Методологически на пляжах доминирует ручной сбор проб, для поверхностных вод применяется траление нейстонными сетями с размером ячеи, варьирующим в пределах 200–333 мкм. Визуальная сортировка под микроскопом остаётся основным методом анализа. Лишь в трети работ выполнена спектральная верификация (FTIR/Raman), а контроль контаминации описан менее чем в 20 % публикаций, что критично для учёта волокон. Нижняя граница учёта частиц варьирует от 20 мкм до 5 мм, а единицы измерения (шт./м<sup>3</sup>, шт./кг, шт./м<sup>2</sup>) несопоставимы.

Несмотря на неоднородность данных, выделены характерные концентрации. В пляжном песке среднее содержание микропластика – около 580 частиц/кг (диапазон 20–1600), с максимумами на румынских и болгарских пляжах (до 1612) и минимумами в Крыму и некоторых районах Турции. Плотность макромусора (>2,5 см) на пляжах в среднем 1,3 частиц/м<sup>2</sup> (0,03–7,7), при доминировании пластика и сигаретных фильтров. В поверхностных прибрежных водах концентрация микропластика в среднем около 5 частиц/м<sup>3</sup> (диапазон 0,2–30), при этом использование более мелкой сети (200 мкм) даёт завышенные результаты до 3300 частиц/м<sup>3</sup>, что подчёркивает зависимость от метода.

Пространственный анализ показывает, что наиболее высокие уровни загрязнения как пляжей, так и прибрежных вод приурочены к районам крупных городов (Трабзон, Варна, Констанца, Севастополь), интенсивным туристическим зонам и устьевым участкам рек, в первую очередь Дуная. Охраняемые прибрежные территории демонстрируют значительно более низкие концентрации, что подтверждает ключевую роль антропогенных источников и речного стока в формировании поля загрязнения.

Обобщение данных выявило острую необходимость стандартизации протоколов мониторинга в регионе. Рекомендуется унифицировать нижнюю границу учёта частиц (300 мкм для водных проб и 500 мкм для осадков), обязательно использовать спектральную верификацию для частиц мельче 1 мм, тщательно документировать меры по предотвращению контаминации и приводить результаты к единым размерностям (шт./кг для песка,



шт./м<sup>3</sup> для воды). Желательно расширить географию исследований на украинский, грузинский и российский секторы, которые остаются слабо охваченными.

Полученные средние концентрации могут служить референсными ориентирами для планирования экспедиций, численного моделирования прибрежных переносов и оценки эффективности природоохранных мероприятий. Однако для детального пространственно-временного анализа необходимо обращаться к первичным данным, поскольку настоящее обобщение даёт лишь первое приближение к картине загрязнения береговой зоны Чёрного моря.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ по теме FNNN-2024-0016 «Прибрежные исследования».

## **ДИНАМИКА ПОБЕРЕЖИЙ И ОСТРОВОВ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ В ПРОШЛОМ И НАСТОЯЩЕМ**

**Большиянов Д.Ю. ✉, Макаров А.С., Правкин С.А.**

*АНИИИ, г. Санкт-Петербург*  
✉ *bolshiyarov@aari.ru*

**Ключевые слова:** берега моря Лаптевых, колебания уровня моря, тектонические движения, исчезновение и появление островов.

В море Лаптевых на протяжении от о-ва Комсомолец на северо-западе до мыса Анисий на о-ве Котельном на востоке выделяется множество участков побережий, которые ведут себя в противофазе – одни участки испытывают повышение уровня моря и разрушение берегов, другие более стабильны из-за понижения или стагнации уровня на современном этапе. В прошлом эти факторы приводили к противоположным результатам. Наиболее ярко и доказательно противоположность поведения относительного уровня моря выражена в дельте р. Лены. Её

западные побережья развиваются в условиях падения уровня, восточные – при повышении уровня моря. Самым ярким доказательством этого процесса является сток вод р. Лены в противоположном юго-восточном направлении в пределах дельты в отличие от северного магистрального направления стока реки в низовьях. Этот процесс перекоса земной поверхности продолжается уже первые десятки тысяч лет и подтверждается современными наблюдениями за уровнем моря. В Оленёкском заливе в западной части дельты р. Лены уровень в последние 60 лет понижается, а на востоке в Быковской протоке уровень моря повышается, что приводит к развитию этой протоки как эстуария и быстрому разрушению останцов ледового комплекса пород (п-ов Быковский, о-ва Муостах, Собо-Сисе и др.). Все эти изменения контролируются тектоническим строением моря Лаптевых и хорошо выражены даже на географических картах, на которых читаются линеаменты – направления линий разрывных нарушений в земной коре, выраженные в рельефе земной поверхности. По восточному краю дельты р. Лены от срединно-океанического хребта протягивается пояс землетрясений, к которому приурочены зоны наибольшей концентрации метана, выходящего в морские воды из земной коры и более глубоких слоев Земли. Далее на протяжении этой зоны разломов, уходящей на материк по западному побережью бухты Буор-Хая, обнаружены и исследованы провалы (сбросы), которые теперь заняты прибрежными лагунами-озёрами Гаврил-Кюеле и Хабырыс-Кюеле, образовавшимися в последние столетия-десятилетия (Большаинов и др. 2025).

Некоторые из исчезнувших в XX столетии островов (Семёновский, Васильевский, Земля Санникова, о-в Диомиды и др.) в настоящее время вновь возрождаются. Например, на Васильевском мелководье после фиксации на нём глубин до 10 м после исчезновения острова в 2013 г. вновь обнаружен остров Я, что свидетельствует о колебательном характере тектонических движений с циклами в десятки и сотни лет. Точно так же в настоящее время о-в Малый Ляховский в результате воздымания земной коры окружил себя низкой террасой, которая не позволяет разрушать породы ледового комплекса на большем протяжении его

береговой линии, хотя некоторое время назад активно разрушался при подъёме уровня. Рядом расположенные острова Котельный и Большой Ляховский также показывают противоположные тенденции развития берегов в результате блоковых тектонических движений, происходящих в противоположных направлениях. Берега Хатангского залива более или менее стабильны в результате современного падения уровня моря.

История исследований колебаний уровня моря Лаптевых в более давние эпохи на протяжении плейстоцена также показывает, что изменения уровня происходили постоянно как в пространстве, так и во времени.

## **АНАЛИЗ АТМОСФЕРНОГО ВЫПАДЕНИЯ МИКРОЧАСТИЦ И МИКРОПЛАСТИКА НА АКВАТОРИЮ И ВОДОСБОРНУЮ ТЕРРИТОРИЮ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО**

**Бортин Н.Н.<sup>1</sup>, Василевский Д.Н.<sup>1</sup>, Лисина И.А.<sup>2</sup>,  
Василевская Л.Н.<sup>2</sup>✉**

<sup>1</sup> *ДальНИИВХ, г. Владивосток*

<sup>2</sup> *ДВФУ, г. Владивосток*

✉ [vasilevskaya.ln@dvfu.ru](mailto:vasilevskaya.ln@dvfu.ru)

**Ключевые слова:** вымывание поллютантов, атмосферные осадки, микрочастицы, микропластик, залив Петра Великого, водосборная территория.

Загрязнение Мирового океана микропластиком (МП) и мелко-дисперсными частицами (РМ) признано глобальной экологической угрозой XXI века. Распространение этих поллютантов от источников эмиссии напрямую подчиняется процессам атмосферной циркуляции, а атмосферные осадки выступают ключевым фактором, ускоряющим вымывание частиц и оседание на подстилающую поверхность. Особую опасность представляют частицы РМ<sub>2.5</sub>, которые адсорбируют тяжелые металлы, токси-каны и транспортируют на себе микропластик.

Цель настоящего доклада состоит в количественной оценке и анализе пространственно-временной динамики потоков  $PM_1$ ,  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$  и фракций МП в отдельных заливах и бухтах Залива Петра Великого и его водосборной территории.

Залив Петра Великого (ЗПВ) Японского моря для территории Приморского края служит своего рода полигоном для мониторинга интегрального влажного осаждения атмосферных частиц. Сюда поступают как локальные выбросы от портов, транспорта и теплоэнергетического комплекса, так и шлейфы загрязнений, обусловленные трансграничным переносом из промышленных регионов Восточной Азии.

В представленном докладе на основе среднесуточных концентраций микрочастиц (данные спутникового моделирования GMAO; источник: <https://gmao.gsfc.nasa.gov>) и суточных количеств осадков (источник: [gr5.ru](http://gr5.ru)) на реперной метеорологической станции Владивосток за 2018–2024 гг. была рассчитана абсолютная и относительная масса микрочастиц  $PM_{2,5}$ , выпавших во время атмосферных осадков, по которым уже определялся общий объем осаждения микропластика. Поскольку поток осаждения микропластика тесно коррелирует с концентрацией  $PM_{2,5}$  ( $R = 0,76–0,93$ ) (Jia et al., 2022), это позволяет рассматривать концентрацию  $PM$  в качестве надежного индикатора для оценки общего объема осаждения микропластика.

В результате детального анализа материалов были получены следующие результаты: максимальная загрязненность атмосферы  $PM$  отмечена в 2018–2019 гг. с последующим общим спадом к 2024 г., нарушенным пиком в 2021 г. из-за постлокдаунной активизации промышленности и транспорта. В холодный сезон за счет трансграничного переноса и работы местного ТЭК вымывалось в 1,5 раза больше микрочастиц, чем в теплый. Сезонный максимум выпадений приходится на январь и апрель (до  $230 \text{ кг/км}^2$  для  $PM_{2,5}$ ), а минимум – на июнь–октябрь ( $30–80 \text{ кг/км}^2$ ). На основе полученных удельных величин рассчитана суммарная ежегодная масса выпавших микрочастиц для всей акватории ЗПВ и его водосборной территории.

Расчет потоков микропластика выполнен по верифицированной модели (Kirchsteiger, 2023), согласно которой доля МП

(волокна, износ шин, пленки) в составе фракции  $PM_{2.5}$  принимается равной 0,67 %. Месячная и годовая масса осаждения МП рассчитывалась с учетом площадей водных бассейнов для ЗПВ и его водосборной площади. За период 2018–2024 гг. на акваторию Амурского залива (составляющей около 11 % от общей площади ЗПВ) с атмосферными осадками выпало в общей сложности более 36 т микропластика, при этом максимальный уровень загрязнения зафиксирован в 2021 году (около 8 т), а минимальный – в 2020 году (3,5 т). На водосборную территорию реки Партизанской (бассейн реки занимает около 13,5 % от общей водосборной площади ЗПВ) ежегодный привнос за исследуемый период составил от 14,5 до 32,7 т микропластика.

В зимний период ледяной покров выступает криогенным барьером, накапливая и консервируя полимеры. Весеннее таяние и дрейф льда приводят к залповому выносу аккумулированных частиц в открытые районы, что трансформирует локальное загрязнение в масштабную угрозу для пелагических и бентических экосистем Японского моря.

Вопрос количественной оценки выноса микрочастиц и микропластика с водосборной площади ЗПВ является следующим этапом наших исследований.

## **ОСОБЕННОСТИ ВОДНОГО РЕЖИМА И ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ БУХТЫ ЗОЛОТОЙ РОГ (ПРИМОРСКИЙ КРАЙ)**

**Бортин Н.Н. ✉, Горчаков А.М.**

*ДальНИИВХ, г. Владивосток*  
✉ [nbortin@mail.ru](mailto:nbortin@mail.ru)

**Ключевые слова:** гидрологический режим, экологическое состояние, антропогенное воздействие, урбанизация, морфометрия, гидрография, химическое и тепловое загрязнение, ингредиенты, донные отложения.

Гидрологический режим бухты и ее экологическое состояние неразрывно связаны с историей становления города-порта Владивостока (с 1860 г.), её географическим положением и морфометрическими характеристиками.

В настоящее время бухта является объектом комплексного водопользования и составной частью «Свободного порта Владивосток», подвержена значительному антропогенному воздействию. Её водосборная площадь стала практически полностью урбанизированной. Берега бухты превращены в непрерывно следующие друг за другом причалы для стоянки гражданских торговых и военных судов. Здесь расположены не только торговые, но и рыбные порты, судоремонтные предприятия, а также части Тихоокеанского флота. Объем бухты до начала её освоения был равен 74,8 млн. м<sup>3</sup>. За счёт отсыпки береговой полосы площадь акватории бухты уменьшилась на 19 %, объем – на 5 %. Средняя глубина за счет изъятия мелководных прибрежных участков увеличилась на 1,4 м. На входе в бухту глубины составляют 20–27 м, далее к вершине бухты они постепенно уменьшаются до 2 м.

Гидрография бухты представлена самим водоемом и двумя отдельными небольшими водотоками – рекой Объяснения (длина – 6,2 км, площадь водосбора – 13,3 км<sup>2</sup>) и ручьём Буяковка, который в ходе развития городских предприятий стал притоком р. Объяснения. Водосборная площадь бухты 23,5 км<sup>2</sup>, длина водораздельной линии 30,8 км, длина береговой линии 15,2 км, средняя ширина бухты 1,0 км, объём бухты 71,2 млн. м<sup>3</sup>, площадь зеркала 5,1 км<sup>2</sup>, максимальная глубина 27 м.

В естественных условиях объём годового стока реки Объяснения в среднем составлял 6,61 млн. м<sup>3</sup>, ручья Буяковка 1,09 млн. м<sup>3</sup>, что в сумме было 7,7 млн. м<sup>3</sup> или 0,1 % объема бухты.

Естественный гидрологический режим бухты существенно изменился после введения в строй Владивостокской ТЭЦ-2 (1970 г.), которая для охлаждения агрегатов забирает морскую воду (в объеме 206,6 млн. м<sup>3</sup> в год) из Уссурийского залива и сбрасывает её (нагретую до 40 °С и более) в реку Объяснения, что привело как к увеличению водообмена бухты с 0,3 до 3,2, так и к изменению термического режима бухты, который раньше в основном зависел от режима температуры воздуха, условий

перемешивания водной массы под влиянием ветра и течений и лишь незначительно от сброса стоков ЖКХ.

Несмотря на высокий коэффициент водообмена бухты, её экологическое состояние продолжает оставаться неблагоприятным, поскольку в р. Объяснения и в бухту до настоящего времени впадают десятки санкционированных и несанкционированных выпусков сточных и ливневых вод «Приморского Водоканала» и других предприятий, а также ливневые стоки с водосборных территорий, льяльные воды с гражданских судов и военных кораблей.

К ингредиентам, поступление которых в бухту ведёт к значимому экологическому ущербу за счет предприятий, относится девять следующих веществ: легко окисляемые органические вещества, взвешенные вещества, нефтепродукты, фосфаты, аммонийный азот, фенолы, синтетические поверхностно-активные вещества, железо, жиры. Для реки Объяснения в подобный перечень входят, кроме перечисленных выше веществ, еще и нитриты. Наибольшее негативное воздействие на водные ресурсы и гидробионты бухты в ливневом стоке оказывают пять ингредиентов: легкоокисляемые органические и взвешенные вещества, нефтепродукты, фенолы и железо. Самые загрязненные ливневые сточные воды поступают из северной части водосборной площади бухты, охватывающей центральные районы г. Владивостока.

Донные отложения бухты существенно загрязнены. По данным Примгидромета содержание всех определяемых химических веществ (свинца, меди, никеля, кадмия, марганца, железа, хрома, кобальта, цинка и ртути) в донных отложениях бухты высокое. Практически все они относятся к приоритетным с точки зрения оценки экологического состояния бухты. Обращают на себя внимание нефтепродукты, содержание которых в донных отложениях превышает ДК от 28 до 500 раз.

Таким образом, основные причины неблагоприятного экологического состояния бухты обусловлены: антропогенной деятельностью на ее акватории и водосборных территориях бухты и р. Объяснения; недостаточностью (либо неэффективностью) очистных сооружений; отсутствием научно-обоснованных рекомендаций, определяющих комплекс мер по снижению антропогенного воздействия.

В 2025 году по инициативе губернатора Приморского края в Минприроды России был разработан Комплексный план по оздоровлению бухты до 2030 года, включающий три этапа. В результате реализации мероприятий комплексного плана «будут ликвидированы несанкционированные выпуски сточных вод хозяйствующих субъектов в отсутствие правоустанавливающих документов, сокращены сбросы неочищенных сточных вод от КГУП «Приморский Водоканал», осуществлена ликвидация накопленного экологического вреда от затонувших/затопленных объектов...».

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ДИАГНОСТИКИ РИСКОВ РАЗРУШЕНИЯ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ В УСЛОВИЯХ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ХЕРСОНЕСА ТАВРИЧЕСКОГО**

**Букатов А.А. ✉, Вахонеев В.В., Глазунов В.В.,  
Задорожный-Ремарчук Е.Е.**

*Херсонес Таврический, г. Севастополь*

✉ [abukatov@chersonesos-sev.ru](mailto:abukatov@chersonesos-sev.ru)

**Ключевые слова:** мониторинг, геофизические методы, объекты культурного наследия, прибрежная зона, диагностика рисков разрушения.

Прибрежные зоны древних городов представляют собой особую категорию археологических ландшафтов. Многие античные памятники, как на суше, так и под водой, находятся под постоянным разрушительным воздействием, обусловленным гидрофизическими факторами, осложненными деструктивными процессами в скальных массивах. В современных условиях эти процессы усиливаются под влиянием климатических изменений и антропогенной нагрузки, что делает проблему сохранения прибрежных памятников одной из наиболее актуальных задач археологии и охраны культурного наследия.



Существующие подходы к изучению и мониторингу прибрежных памятников в значительной степени ограничены возможностями визуального наблюдения и фиксации уже произошедших разрушений. Такой подход не позволяет выявить внутренние механизмы разрушительных процессов и спрогнозировать их дальнейшее развитие. Назрела необходимость разработки методики диагностики рисков разрушения прибрежных объектов культурного наследия, которая легко адаптируется к специфическим условиям конкретного памятника и способна обеспечить получение достоверной информации о состоянии прибрежных массивов без нанесения ущерба объекту охраны.

В Херсонесе Таврическом ведутся работы над разработкой такой методики превентивной диагностики с применением инновационных междисциплинарных технологий. Особое внимание уделено использованию методов инженерной геофизики. Электротомография, георадиолокация и сейсмотомография позволяют получать данные о внутреннем строении геологической среды, фиксировать скрытые структурные неоднородности, не проявляющиеся на поверхности. Принципиально важным является не только использование отдельных методов, но и их интеграция в единую систему, включающую также цифровые технологии обработки и визуализации данных. Особое значение имеет сочетание наземных и подводных исследований, позволяющее рассматривать прибрежную зону как единое целое, а не как совокупность разрозненных элементов. Разрабатываемая для условий Херсонеса Таврического методика может быть адаптирована для применения на других памятниках, расположенных в сходных природных условиях абразивного берега, к примеру, на античных городищах Акра и Китей, а также некрополе Кыз-Аул в Восточном Крыму.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-28-01964, <https://rscf.ru/project/25-28-01964/>.

## СОСТАВЛЯЮЩИЕ БЮДЖЕТА БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЕ

Вареник А.В. ✉, Гуров К.И.

*МГИ, г. Севастополь*

✉ [alla.varenik@mhi-ras.ru](mailto:alla.varenik@mhi-ras.ru)

**Ключевые слова:** Севастопольская бухта, бюджет биогенных элементов, донные отложения, река Черная, атмосферные выпадения.

Севастопольская бухта – акватория с ограниченным водообменом и значительной антропогенной нагрузкой, что делает её уязвимой к эвтрофикации. Балансовые оценки биогенных элементов (азот, фосфор, кремний) в Севастопольской бухте являются ключевым инструментом для оценки трофического состояния водной экосистемы и выявления антропогенного воздействия на нее. В замкнутых или слабообменивающихся акваториях, таких как Севастопольская бухта, накопление биогенных элементов может приводить к эвтрофикации, гипоксии и смене структуры планктонных сообществ. Балансовый подход предполагает количественную оценку входящих (речной сток, атмосферные осадки, сбросы сточных вод, поступление из донных отложений) и исходящих (водообмен с открытой акваторией, осаждение в донные отложения, биологическое усвоение, денитрификация) потоков биогенных элементов.

Основными приходными компонентами баланса биогенных элементов являются речной сток, атмосферные выпадения, прямые сбросы сточных вод и диффузия из донных отложений. Речной сток часто доминирует, особенно в период весеннего паводка, обеспечивая до 70–90 % общего поступления растворенного неорганического азота и фосфатов. Атмосферные выпадения, преимущественно в виде влажных и сухих осадков, вносят значительную долю реакционноспособного азота,

особенно в отдаленных от антропогенных источников акваториях в условиях снижения доли речного стока (меженный период). При этом в прибрежных акваториях даже небольшое добавочное количество биогенных элементов, вносимых атмосферными осадками, может стать критически важным. Хозяйственно-бытовые и промышленные сбросы могут локально формировать «горячие точки» эвтрофикации, особенно при недостаточной очистке сточных вод.

В результате проведенных исследований были сформированы массивы данных о концентрациях биогенных элементов в морской воде Севастопольской бухты, р.Черная и атмосферных осадках с 2015 по 2025 гг., в поровых водах донных отложений за 2024 г. Получены первые данные о содержании биогенных элементов в поровых водах донных отложений бухты, их пространственном изменении, а также посчитаны потоки биогенных элементов с речным стоком, атмосферными выпадениями, из донных отложений.

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

## **ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СКОРОСТИ ФОТОСИНТЕЗА МАКРОВОДОРОСЛЕЙ *ULVA И ERICARIA***

**Васечкина Е.Ф., Науменко И.П. ✉**

*МГИ, г. Севастополь*  
✉ [ingainatm@gmail.com](mailto:ingainatm@gmail.com)

**Ключевые слова:** фотосинтез, оптимальная температура, энергия активации, фотосинтетические параметры, темновое дыхание, морские макрофиты, Черное море, Крымское побережье.

Температура играет важную роль в жизненном цикле морских растений. Она определяет ареал их обитания, влияет на скорость протекания биохимических процессов, в том числе фотосинтеза

и дыхания. Кривая зависимости скорости фотосинтеза от температуры  $P(T)$  обычно имеет куполообразную форму: с ростом температуры скорость фотосинтеза растет, достигая максимума при оптимальной температуре  $T_{opt}$ , и далее с ростом температуры снижается.

Для изучения реакции морских макроводорослей на изменение температуры окружающей среды были проведены две серии лабораторных экспериментов: при температурах, соответствующих температуре моря в момент отбора проб, и при искусственном нагреве (измерения проводились в начале вегетационного периода). Объектом исследования выбраны массовые водоросли Крымского побережья: бурая водоросль *Ericaria crinita* и некоторые виды зеленых водорослей *Ulva spp.* Образцы водорослей собирали в акватории севастопольских пляжей Парк Победы, Акварин и Омега в разные сезоны года в течение 2022–2026 гг. Скорость продукции кислорода на свету и затрат кислорода на дыхание в темноте измерялись по изменению количества растворенного кислорода в герметично закрытой колбе с образцом водоросли. Диапазон изменения температуры воды в экспериментах составлял 10–30 °С. Кривая зависимости фотосинтеза от интенсивности света (РЕ-кривая) строилась с использованием параметризации, предложенной Джассби и Т. Платтом (1976 г.).

Для идентификации зависимости фотосинтетических параметров от температуры морской воды использовалась трехпараметрическая модель, предложенная Т. Джун (2004 г.):

$$y(T) = y_{opt} \exp(-0.5((T - T_{opt})/b)^2), \quad (1)$$

где  $y$  – максимальные скорости чистой  $P_{max}$ , и валовой  $GP_{max}$  продукции, темнового дыхания  $R_d$  при температуре  $T$ ,  $y_{opt}$  – те же скорости при  $T_{opt}$ ,  $b$  задает крутизну восходящей ветви функции (1). Образцы водорослей сравнивались между собой по величине энергии активации в соответствии с формулой Больцмана-Аррениуса:

$$R = R_0 e^{-E_a/kT}, \quad (2)$$

где  $R_0$  – масштабирующий коэффициент,  $k$  – постоянная Больцмана,  $T$  – температура (гр. Кельвина),  $E_a$  – энергия активации

(эВ). Более высокие значения  $E_a$  указывают на повышенную чувствительность к росту температуры.

В экспериментах, проводимых при температуре среды близкой к температуре моря,  $P(T)$  бурой водоросли *E. crinita* имеет куполообразную форму с температурным оптимумом 18–19 °С, а для зеленых водорослей *Ulva spp.* 16–17 °С. В экспериментах с искусственным прогревом среды оптимальная температура фотосинтеза была 20–21 °С для *E. crinita* и 28–29 °С для *Ulva spp.*

У образцов *E. crinita* энергия активации  $E_a$  выше в экспериментах, близких к естественным условиям среды. Реакция *Ulva spp.* была противоположной: в экспериментах при естественных условиях  $E_a$  ниже, чем в экспериментах с искусственным нагревом.

Полученные зависимости фотосинтетических параметров вида (1) будут использоваться в имитационной модели донных сообществ морских макрофитов Черного моря.

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

## ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОС АЗОВСКОГО МОРЯ ПО СПУТНИКОВЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ

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

МГИ, г. Севастополь  
✉ [nadinkot.nk@gmail.com](mailto:nadinkot.nk@gmail.com)

**Ключевые слова:** Азовское море, Обиточная коса, NDWI, Sentinel-2, Landsat, береговая линия.

Косы Азовского моря относятся к абразионно-оползневому типу берега, для которого характерна высокая динамика под влиянием ветровых, нагонных и вдольбереговых течений.

Многолетний архив спутниковых данных высокого разрешения Sentinel-2, Landsat 8, 9 позволил исследовать динамику

морфометрических характеристик кос северного побережья Азовского моря. Выполнено сопоставление архивных спутниковых снимков Landsat 5 1984–1985 гг. и 2025 г. в ближнем ИК-канале. Для исследования влияния характеристик волн на динамику береговой линии кос анализировались данные реанализа ветрового волнения, полученного с использованием спектральной модели SWAN и полей приземного ветра ERA-Interim и ERA5.

Установлено, что наибольшие изменения положения береговой линии характерны для Обиточной косы. Выявлено, что в результате длительного шторма западного направления 23–26 марта 2013 года произошёл размыв перешейка, отделяющего дистальную часть косы Обиточной. Это привело к образованию острова, существующего до настоящего времени. Наименьшая площадь образовавшегося острова зафиксирована в 2023 г.

Исследование было выполнено при поддержке гранта РНФ 25-27-00234 «Исследование формирования и перераспределения взвешенного вещества в Азовском море и на западном побережье Крыма».

## **СОДЕРЖАНИЕ РАСТВОРЕННОГО КИСЛОРОДА В ЧЕРНОМ МОРЕ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ ПРОФИЛИРУЮЩИМИ БУЯМИ «ARGO»**

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

*ВНИИГМИ-МЦД, г. Обнинск*

✉ [av10921@meteo.ru](mailto:av10921@meteo.ru)

**Ключевые слова:** Черное море, содержание кислорода, профилирующие буи, вертикальное распределение, ХПС.

Географические особенности выделяют Черное море среди других морей средиземноморского бассейна. Его изолированность, ограниченный водообмен с соседними морями и

значительный приток пресных вод из крупных рек формируют уникальный гидрологический режим. Эти особенности оказывают существенное влияние на распределение кислорода в водах Черного моря. Через Босфор в него поступают более соленые средиземноморские воды, которые распространяются в глубинных слоях моря. Это, наряду с пресными водами, поступающими в виде стока рек и в виде атмосферных осадков, является причиной устойчивой стратификации вод. Такая стратификация ограничивает возможность вертикального обмена между верхним и глубинным слоями моря.

Кислород является лимитирующим фактором для ихтиофауны Черного моря. В частности, для нормальной жизнедеятельности промысловых рыб необходимо, чтобы содержание растворенного в воде кислорода было выше 268 ммоль/кг.

В вертикальном распределении растворенного кислорода условно можно выделить три слоя. Это верхний слой толщиной несколько десятков метров, характеризующийся относительно высоким содержанием кислорода. Ниже располагается слой скачка, в котором концентрация кислорода резко уменьшается с глубиной. Если оценивать в среднем по глубоководной части Черного моря, то глубже, начиная примерно от 100–150 м, в последние годы – от 80 до 120 м, формируется анаэробный слой, где кислород практически отсутствует.

В последние годы верхний слой с высоким содержанием кислорода становится все тоньше, в том числе, вследствие общего роста температуры поверхностного слоя воды. Рост температуры верхнего слоя воды приводит к росту стратификации и еще большей вертикальной устойчивости вод, что в свою очередь, уменьшает глубину проникновения зимней конвекции – важного фактора насыщения воды кислородом. Зимняя конвекция – механизм формирования насыщенного кислородом холодного промежуточного слоя (ХПС) Черного моря. При отсутствии достаточно мощного конвективного перемешивания, ХПС истончается, в связи с чем, в отдельные сезоны года, появляются области акватории моря, где содержание кислорода становится меньше необходимого для устойчивого развития популяций гидробионтов. В большей степени это характерно для южной и

восточной частей моря, где толщина кислородного слоя часто составляет менее 50 м, в отдельных случаях – несколько метров.

Из последних десяти с небольшим зим только три можно отнести к условно холодным. Только в эти зимы существовали условия, способствующие частичному обновлению ХПС. Например, относительно холодной была зима 2025–2026 гг. Максимальные значения концентрации кислорода в верхнем слое воды (и наибольшая толщина кислородного слоя) наблюдаются в весенний период. В последние годы отмечается устойчивая тенденция к снижению как толщины этого слоя, так и содержания кислорода в нем. В летний и осенний периоды концентрация кислорода в верхнем слое нередко оказывается меньше значений, необходимых для нормальной жизнедеятельности гидробионтов, в первую очередь промысловых рыб.

Настоящее исследование выполнено на основе данных измерений, выполненных профилирующими буями в рамках международной программы «ARGO».

## **ПРОГРАММНЫЕ АЛГОРИТМЫ ОТОБРАЖЕНИЯ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕРМОПРОФИЛЕМЕРАМИ**

**Гайский П.В.**

*МГИ, г. Севастополь*

✉ *gaysky@inbox.ru*

**Ключевые слова:** термопрофилемер, профиль температуры, внутренние волны, поле температуры, граница раздела сред.

Отображение динамики изменения пространственных полей и профилей температуры, в особенности в телеметрическом режиме измерений, является важной задачей качественной интерпретации физических процессов, происходящих в водной



среде. Кроме того, это необходимо для оперативного реагирования при проведении и планировании натурных экспериментов в процессе экспедиционных исследований.

Измерения, осуществляемые с помощью распределенных термопрофилемеров, позволяют регистрировать пространственные профили температуры по траектории расположения кабеля-датчика с частотой до 1 Гц. Разработанное специализированное программное обеспечение отображает результаты измерений как в виде отдельных графиков на участках, так и в виде градиентных полей и изолиний с привязкой к конкретным диапазонам глубин. Для различных режимов стационарной постановки, зондирования и буксировки применяются собственные адаптивные методы интерполяции мгновенных профилей температуры и оперативное отображение их временной динамики в процессе измерений. Отслеживание пространственных смещений изолиний и цветовых градиентов температуры обеспечивает возможность расчета вторичных характеристик (вертикальных и горизонтальных скоростей), обнаружение границ раздела сред и расчет параметров внутриволновых процессов.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания FNNN-2024-0001.

## **ИСПЫТАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ТЕРМОПРОФИЛЕМЕРОВ В УСЛОВИЯХ ПОДЛЕДНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

**Гайский П.В. ✉, Козлов И.Е., Шутов С.А.,  
Копышов И.О., Давидович А.Р.**

*МГИ, г. Севастополь*  
✉ [gaysky@inbox.ru](mailto:gaysky@inbox.ru)

**Ключевые слова:** термопрофилемер, профиль температуры, внутренние волны, подледные измерения.

В рамках экспедиционных исследований в районах Беломорского побережья были проведены испытания измерительных

систем на базе разработанных в МГИ распределенных термопрофилемеров. Эксперименты и мониторинговые измерения проводились в условиях ледовой обстановки. Это позволило впервые испытать термопрофилемеры в автономном и телеметрическом режимах при стационарной постановке в лунках льда.

Испытания проходили датчики различной длины (16, 20 и 45 м) и пространственного разрешения (соответственно 1, 0,5 и 3 м). Контроль вертикального заглубления до 55 м термопрофилемеров подо льдом обеспечивался встроенными каналами гидростатического давления. Дискретность измерения профилей температуры составляла 1 Гц.

В условиях пониженных атмосферных температур (до  $-13^{\circ}\text{C}$ ) и малых градиентов по всему профилю (порядка  $1,5^{\circ}\text{C}$ ) параллельно с сопутствующими СТД-зондированиями отслеживались физические процессы, сопровождающие приливно-отливные течения. В результате были испытаны как сами распределенные пространственные измерители, так и модули памяти, радиосвязи и автономного питания.

Работа выполнена в рамках тем государственного задания FNNN-2024-0001, FNNN-2024-0017 и гранта РНФ 25-17-00309.

## **ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ДОННЫХ ОСАДКАХ АКВАТОРИИ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА**

**Григорьев А.Г.**

*Институт Карпинского, г. Санкт-Петербург*

✉ *Andrey\_Grigiryev@karpinskyinstitute.ru*

**Ключевые слова:** радионуклиды, мониторинг, закономерности распределения, литологические разности.

С позиций радиогеохимии основными специфическими особенностями акватории восточной части Финского залива

являются следующие: 1) наличие площадей с заметно повышенной активностью радиоцезия в донных осадках, что обусловлено прохождением над частью территории региона чернобыльского облака, и 2) наличие полей железомарганцевых конкреций (ЖМК), значительно обогащенных радием. Полученные данные показывают, что концентрация Ra в железомарганцевых конкрециях на порядок и более превышает его концентрацию в донных осадках различного литологического состава.

Восточная часть Финского залива испытала значительную радиотехногенную нагрузку за счет прохождения над частью площади региона чернобыльского облака. Плотность выпадения составила 0,27–0,8 Ки/км<sup>2</sup> а на отдельных наиболее загрязненных участках > 0,8 Ки/км<sup>2</sup>. Следствием этого является значительное загрязнение радиоцезием донных осадков Финского залива, достигающее на 1989 г. 4000 Бк/кг. По имеющимся данным области высокоаномальных концентраций радиоцезия контролируются полями распространения алевропелитов, которые, как известно, интенсивно накапливают цезий.

Радиомониторинг акватории восточной части Финского залива берет своё начало с 1970-х гг., но наиболее актуален он стал после аварии на Чернобыльской АЭС. Рассматривая изменение активности радиоцезия во времени, можно констатировать, что максимальная активность в верхнем слое осадка отмечается не в 1986 году – момент Чернобыльской аварии – а в 1989 году. То есть за это время происходило постоянное накопление радиоцезия в верхнем слое осадков. Далее наблюдается заметное уменьшение концентрации <sup>137</sup>Cs, что, вероятно, говорит о прекращении «залпового» поступления радиоцезия.

Следующий четкий максимум активности <sup>137</sup>Cs в верхнем слое осадков отмечается на ряде станций в 1999 г. Очевидно, происходит перераспределение алевропелитового материала, обогащенного цезием, в пределах акватории и его накопление в наиболее благоприятных условиях. После 1999 г. отмечается общая тенденция уменьшения концентрации радиоцезия, что с одной стороны определяется его распадом, а с другой стороны уменьшением поступления <sup>137</sup>Cs в седиментационные бассейны.

Изменение активности  $^{226}\text{Ra}$  в донных отложениях обусловлено практически одним фактором. Это проведенная в 2005–2008 гг. массовая добыча ЖМК. После извлечения конкреций активность радия в осадках стала близка к фоновой для соответствующих литологических разностей.

По имеющимся данным максимальная концентрация радиоцезия в донных осадках восточной части Финского залива достигнута в 1989 г.

В последующие годы на фоне общей тенденции по снижению концентрации радиоцезия в верхнем слое донных осадков на отдельных участках фиксируются достаточно мощные локальные максимумы активности, вероятно, обусловленные перераспределением материала осадков, обогащенных радиоцезием, либо некоторым превносом такого материала за счет техногенного воздействия или гидрометеорологического условий.

## **ЭЛЕКТРОННАЯ ИНТЕРАКТИВНАЯ ВЕРСИЯ КАДАСТРА БЕРЕГОВ КРЫМА 1988 Г.**

**Долотов В.В. , Горячкин Ю.Н., Ефремова Т.В.**

*МГИ, г. Севастополь*

 *vdolotov@mail.ru*

**Ключевые слова:** берега Крыма, устойчивое развитие, кадастр береговой зоны, ГИС, визуализация.

Основной задачей представляемой работы является сохранение результатов исследований берегов Крыма, полученных по материалам кадастровых наблюдений и измерений, выполненных в период 1986–1988 гг. Институтом минеральных ресурсов (ИМР) Министерства геологии СССР. Указанные материалы представлены подробными описаниями отдельных участков побережья Крыма на всем его протяжении с опорой на 441

фиксированную точку, т. е. с учетом протяженности береговой линии Крыма в 1464 км (без контуров озер) точки располагались в среднем примерно на расстоянии 3 км. Особое внимание при этом уделялось оценке структуры участков, наличия пляжей, измерениям минерального состава грунта и степени текущего освоения. Все точки включали географическую привязку к местности либо координатную, либо указанием расстояния и направления от неподвижных пространственных объектов или их границ. Последнее обстоятельство позволило наложить положение опорных точек на разработанную ранее в МГИ РАН подробную электронную карту прибрежной зоны Крыма, характеризующуюся массивом из 342632 точек (также без контуров озёр Сиваш и Донузлав), расположенных в среднем на расстоянии 4 м. Впоследствии массив был дополнен оцифрованными контурами береговых объектов, в основном бун и причалов, являющихся неотъемлемой частью береговой линии, в количестве 1019 ед., а также 78 подпорных стенок.

Материалы исследований 1988 г., помимо описания точек, включали большое количество графического и табличного материала, подробно описывающего структуру побережья, а также множество фотоснимков береговой зоны в различных ракурсах. Все они оцифровывались в современных форматах табличных и графических данных, а отобранные бумажные и пленочные фотографии в количестве 150 шт. дополнительно подвергались ретушированию и преобразованию в цветные форматы, что значительно улучшило их восприятие и оценку детализации. В итоге общий объем материалов составил 136 страниц, включающих 459 графических рисунков и 9 таблиц.

В качестве основного программного интерфейса использовано привычное представление масштабируемой карты с панелями содержания и отображения выбранных картографических объектов. Визуальное представление карты основано на использовании вариантов отображения кадастровых данных на фоне набора из 9 базовых векторных картографических слоев.

Все числовые данные, привязанные к географическим объектам, загружены в соответствующие атрибутивные таблицы и

вызываются щелчком кнопки мыши по объекту на карте. Табличные и графические данные в составе текстовых блоков объединены в формате HTM и имеют большое количество гиперссылок как внутри (переход между точками участка), так и между страницами общего содержания.

Описанный инструмент вначале предполагалось объединить с разработанной ранее и постоянно дополняемой данными ГИС, однако с учетом значительного объема текстовых описательных материалов, в сравнении с картографическими, в процессе работы было решено ограничиться ее независимым вариантом.

Работа выполнена в рамках выполнения государственного задания FNNN-2024-0016.

## **ПРАКТИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА АНАЛИЗА ДИСПЕРСИИ ВЕТРОВЫХ ВОЛН ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕЧЕНИЙ**

**Дронов М.П.<sup>1✉</sup>, Панов Д.К.<sup>2</sup>, Юровский Ю.Ю.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

<sup>2</sup> МФТИ, г. Долгопрудный

<sup>3</sup> МГИ, г. Севастополь

✉ [dronovm2004@mail.ru](mailto:dronovm2004@mail.ru)

**Ключевые слова:** поверхностные течения, натурные измерения, радиолокация.

Анализ фазовой скорости ветровых волн представляет собой удобный инструмент для дистанционной оценки поверхностных течений в условиях отсутствия других маркеров на водной поверхности. Для проведения такого анализа необходима последовательность изображений морской поверхности, при этом принцип формирования изображения может быть различным: оптическая видеосъемка в видимом или инфракрасном диапазоне, измерения в поляризованном свете, микроволновое радиолокационное зондирование. В качестве носителя могут выступать неподвижные береговые платформы, движущиеся суда,

пилотируемые и беспилотные летательные аппараты, а также искусственные спутники Земли.

В отсутствие течений фазовая скорость поверхностных ветровых волн хорошо описывается линейным дисперсионным соотношением для волн малой амплитуды. Наличие течений приводит к отклонению наблюдаемой фазовой скорости от дисперсионного соотношения, что позволяет судить о проекции вектора скорости течения на волновой вектор. Реализация алгоритма оценки, как правило, базируется на вычислении трёхмерного Фурье-спектра, спектральная плотность которого концентрируется вблизи дисперсионной поверхности. Аппроксимация этой поверхности известной функциональной зависимостью теоретически даёт однозначную оценку вектора скорости течения.

На практике, однако, возникают существенные методические трудности, обусловленные следующими обстоятельствами. Во-первых, из-за нелинейной связи между параметрами волн и их отображением в измеряемом сигнале появляются гармонические составляющие и соответствующие им дисперсионные кривые старших порядков, что затрудняет выделение фундаментальной моды. Во-вторых, ограниченная частота регистрации при невозможности осреднения по времени приводит к эффекту алиасинга и появлению ложной спектральной плотности в интересующем частотном диапазоне. Особенно актуален этот эффект в случае радиолокационной съёмки с механической развёрткой по азимуту, когда максимальная частота дискретизации не превышает 1–2 Гц.

В настоящей работе предложена оригинальная методика аппроксимации дисперсионной поверхности, учитывающая перечисленные выше эффекты. Методика основана на известном методе максимизации весовой функции (нормированного скалярного произведения, Normalized Scalar Product, NSP). При этом поиск максимума функции предлагается выполнять оптимизированным способом путём интерполяции трёхмерных спектров в точках, лежащих на ожидаемых дисперсионных поверхностях.

Предложенная методика апробирована на данных микроволновых радиолокационных съёмок, полученных в ходе натурных попутных наблюдений в Баренцевом море на научно-исследовательском судне «Профессор Молчанов» в июле 2026 г. В качестве

эталонных значений скорости поверхностного течения использовались результаты независимых измерений, выполненных на океанологических станциях с помощью экспериментальных образцов свободно дрейфующих буёв, оснащённых ГНСС-приемниками.

Работа выполнена по результатам экспедиции «Арктический Плавучий университет» в рамках Всероссийской научно-образовательной программы «Плавучий университет» (соглашение № 075-03-2026-305), при поддержке Госзадания ФГБУН ФИЦ МГИ FNNN-2024-0001.

## **ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД ПРИРОДНОГО ПАРКА «КАРАЛАРСКИЙ» (АЗОВСКОЕ МОРЕ)**

**Еркушов В.Ю. ✉, Дьяков Н.Н., Жидкова Л.Б.**

*СО ГОИН, г. Севастополь*

✉ [slaverk@mail.ru](mailto:slaverk@mail.ru)

**Ключевые слова:** мониторинг, металлы, медь, железо, марганец, хром, солёность, Азовское море, нефтепродукты.

Замкнутость, мелководность и ограниченный водообмен Азовского моря с Мировым океаном вызывают существенную трансформацию биотических и абиотических факторов, определяющих первичную биологическую продуктивность моря. Существенно повышается зависимость гидролого-гидрохимического режима Азовского моря от антропогенного воздействия и региональных проявлений глобальных климатических изменений.

В настоящее время малоизученным остается морская часть Караларского природного парка регионального значения, расположенного на крымском побережье Азовского моря от мыса Зюк до мыса Чегене. Природный парк является ценнейшим резервуаром раритетной флоры и фауны степного Крыма и популярной зоной отдыха. Учитывая наблюдающееся в настоящее время



осолонение Азовского моря, исследования гидролого-гидрохимических условий Караларского шельфа являются, несомненно, актуальной научной задачей.

С 2024 по 2026 гг. было выполнено 8 циклов сезонных (весна–лето–осень) экспедиционных исследований Азовского моря в пределах шельфовых вод Караларского парка и рекреационной зоны бухты Морской пехоты. Исследования проводились на надувной лодке типа «Зодиак» с применением для зондирования гидрологического зонда STD-48 с каналами измерения температуры, электропроводности и давления. Всего было отобрано 432 пробы на 22 показателя с двух горизонтов (поверхность/дно). Гидрохимические показатели: растворенный в воде кислород, биологическое потребление кислорода (БПК<sub>5</sub>), водородный показатель (рН), щелочность, биогенные элементы (нитриты, нитраты, аммонийный азот, азот общий, фосфаты, общий фосфор, кремний) и загрязняющие вещества: металлы (железо, медь, марганец, хром), нефтепродукты (НП), анионогенные синтетические поверхностно-активные вещества (АСПАВ).

По результатам проводимого гидролого-гидрохимического мониторинга прибрежных вод шельфа Азовского моря в пределах границ Караларского природного парка заметно прослеживается постепенное повышение солености. В 2025 г. был достигнут максимум 15,90 ‰ в поверхностном слое. Структура поля величины БПК<sub>5</sub> на акватории Азовского моря в Крымском Приазовье существенно зависела от сезона проведения съемки. За весь период наблюдения были выявлены зоны дефицита кислорода. Поля величин биогенных веществ носили сезонный характер. Металлы (медь, железо, марганец, хром) не превышали значений ПДК. Самые высокие концентрации (0,7 ПДК) наблюдались для железа, а низкие (0,1 ПДК) – для хрома. Норматива превышения АСПАВ выявлено не было. Несмотря на отсутствие развитой портовой инфраструктуры, грузовых и других видов перевозок в районе, в акватории Караларского парка наблюдалось высокое загрязнение НП – 5,6 ПДК.

Основными антропогенными источниками загрязнения вод исследованных акваторий являются сбросы сточных вод различной степени очистки с объектов рекреации и поверхностные стоки с прилегающих территорий. Определено, что соленость вод

в южной части Азовского моря за период исследования продолжала увеличиваться (изменялась в пределах 15,51–16,16 %, в среднем составила 15,79 ‰). Такое осолонение моря является максимальным за всю историю наблюдений. Отмечено, что экосистема Азовского моря находится в тяжелой ситуации и требует дальнейших мониторинговых наблюдений для оценки развития процессов и принятия соответствующих мер.

## **РАЗРАБОТКА БЮДЖЕТНОГО ЛАБОРАТОРНОГО ФЛУОРИМЕТРА С ОТКРЫТОЙ АРХИТЕКТУРОЙ**

**Ефимова М.А.**

*МГИ, г. Севастополь*

✉ *marinaefimovay15.4ndeks@yandex.ru*

**Ключевые слова:** флуориметр, оптические приборы, морские исследования, открытая архитектура, фитопланктон.

Флуоресцентные методы широко применяются в морских исследованиях, в частности для определения концентрации хлорофилла-а и окрашенного растворенного органического вещества, которые являются основными критериями оценки продуктивности и качества морской среды. Главным преимуществом данного метода является его высокая чувствительность и возможность быстрого проведения измерений.

Цель работы – создание лабораторного флуориметра с открытой архитектурой и сменными световыми фильтрами на основе доступной элементной базы.

Был разработан макет лабораторного флуориметра для проведения гидрофизических измерений. В отличие от коммерческих аналогов, где длины волн возбуждения и регистрации зафиксированы производителем, разработанный лабораторный флуориметр за счет сменных световых фильтров может измерять разные флуорофоры. Открытая архитектура программного обеспечения флуориметра позволяет менять протоколы облучения образца, и реализовывать протоколы «Fast Repetition Rate» и «Pulse

Amplitude Modulated» для оценки физиологического состояния фитопланктона. Пользователь задает параметры импульсов (длительность, частоту, интенсивность), имея доступ к прошивке контроллера. Таким образом, флуориметр может адаптироваться под любую задачу, связанную с флуоресцентным анализом водных объектов, что делает его универсальным и незаменимым лабораторным прибором.

В флуориметре реализована классическая оптическая схема измерения под прямым углом. Образец под действием света флуоресцирует, а цифровой датчик освещенности VEML7700 (Vishay) измеряет и оцифровывает сигнал за счет встроенного аналого-цифрового преобразователя (АЦП).

Для проверки чувствительности, линейности и стабильности прибора использовали краситель флуоресцеин натрия, который под действием синего света флуоресцирует в зеленой области спектра. В приборе использовался синий светодиод с длиной волны  $470 \pm 5$  нм и пара узкополосных фильтров: фильтр возбуждения с шириной пропускания от 455 до 485 нм и фильтр излучения с шириной пропускания от 510 до 530 нм. Была приготовлена серия растворов флуоресцеина в фосфатно-солевом буфере концентрациями 0 (чистый буфер); 0,30; 0,60; 0,90; 1,25 мкм. Фосфатно-солевой буфер был выбран в качестве растворителя, поскольку он нейтрален по кислотно-щелочному балансу и не создаёт фонового сигнала в рабочем спектральном диапазоне. Перед измерениями прибор нормировали по раствору флуоресцеина с концентрацией 1 мкм. Прибор измеряет сигнал в отсчётах АЦП и запоминает его. Концентрация неизвестного образца рассчитывается по формуле прямого пропорционального пересчёта.

Разработанный макет флуориметра характеризуется низкой чувствительностью (отношение сигнал/шум = 5,8), отсутствием линейности и воспроизводимости измерений, что подтверждается разбросом результатов до 30 % и нулевыми показаниями при повторных измерениях.

По данным эксперимента можно сделать вывод, что используемый в приборе фотоприёмник VEML7700 не измеряет флуоресценцию. При включении синего светодиода датчик видит в основном отражённый свет от кюветы и стенок кюветного

отделения. Полезный сигнал от флуоресценции флуоресцеина натрия на этом фоне оказывается незначительным, что приводит к нестабильности показаний, появлению ложных нулей и отсутствию линейной зависимости между измеряемым сигналом и концентрацией флуорофора.

Несмотря на отрицательный результат, данный экспериментальный опыт имеет важное проектное значение. На основе полученных выводов в дальнейшем планируется отказаться от датчика освещенности широкого применения и собрать собственный фотоприёмный модуль на основе специализированного фотодиода, который имеет высокую чувствительность в нужном спектральном диапазоне. Повышение чувствительности фотоприемника откроет перспективы внедрения прибора для исследования чистых океанических вод.

Таким образом, на данном этапе прибор требует доработки для достижения адекватных характеристик на модельном растворе, после чего планируется его апробация на культурах фитопланктона.

## **ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОД АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ**

**Казакова У.А. ✉, Полухин А.А.**

*ИО РАН, г. Москва*

✉ [kazakova.ua@ocean.ru](mailto:kazakova.ua@ocean.ru)

**Ключевые слова:** Арктика, гидрохимические характеристики, речной сток, биогенные элементы.

Арктические моря РФ относятся к окраинным шельфовым морям Северного Ледовитого океана (СЛО). Их структура вод формируется под действием множества факторов: водообмен с соседними акваториями, большой объем речного стока, ледовый режим и т. д. Гидрохимические характеристики вод являются важным абиотическим фактором состояния морских экосистем и

отражают основные структурообразующие процессы. Так, влияние речного стока сказывается на повышенном содержании силикатов и пониженной щелочности в поверхностном слое. Приток атлантических вод характеризуется не только влиянием теплых и соленых вод, но и повышенным содержанием биогенных элементов (нитраты, фосфаты). Тихоокеанские воды характеризуются пониженным содержанием нитратов и повышенным содержанием фосфатов и кремния. Таким образом, взаимодействие этих основных водных масс отражается и на гидрохимических свойствах структуры вод арктических морей.

Целью работы является уточнение распределения биогенных веществ и их соотношений в окраинных морях СЛО по данным экспедиционных наблюдений.

В работе использованы данные гидролого-гидрохимической съемки, которые были получены в экспедициях ИО РАН на НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 2017–2018 гг. (69 и 72 рейсы соответственно). Район работ охватывал акватории Карского, Лаптевых и Восточно-Сибирского морей, а также зоны влияния крупнейших сибирских рек: Оби, Енисея, Лены, Индигирки и Колымы. Анализируемые гидрохимические параметры включали в себя минеральные формы азота, фосфора и кремния, общую титруемую щелочность.

Особое внимание было уделено соотношению биогенных элементов и различным производным параметрам, которые могут использоваться как хорошие гидрохимические маркеры различных водных масс. К ним относятся удельная щелочность ( $\text{Alk/S}$ ), отображающая влияние речного стока; соотношение нитратов и фосфатов ( $\text{N}^* = \text{NO}_3 - 16 \cdot \text{PO}_4$ ) как основных лимитирующих первичную продукцию параметров; соотношения этих параметров с кремнием, который является маркером как речного стока, так и тихоокеанских вод.

По полученным результатам было установлено, что соотношение нитратов и фосфатов в неопресненных водах ( $\text{Alk/S} < 70$ ) арктических морей характеризуется квазимеридиональной изменчивостью и отражает влияние атлантических вод на западе рассматриваемой акватории и тихоокеанских вод на востоке. Концентрация силикатов также характеризуется подобной квазимеридиональной изменчивостью, однако большое влияние на

содержание растворенного кремния оказывает речной сток. В частности, в Карском море кремний ярко отражает картину распространения речного стока Оби и Енисея. В Восточно-Сибирском море использование кремния как индикатора речного стока затруднено за счет влияния тихоокеанских вод, богатых кремнием. Таким образом, «основа», на которую накладывается и по которой распространяется речной сток арктических рек, сильно отличается между морями. Наряду с отличиями в химическом составе самого стока разных рек это вносит отдельный вклад в оценку влияния поступающих с речным стоком питательных веществ на функционирование морских арктических экосистем.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Института океанологии РАН FMWE-2024-0021 «Структурно-функциональная организация, биологическая продуктивность и механизмы современной климатической и антропогенной изменчивости морских и океанических экосистем; экосистемы Арктического бассейна и морей России в современных условиях, биоресурсный потенциал океанических и морских экосистем».

## СТАНДАРТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ МИКРОСТРУКТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПО АЛГОРИТМУ АТОМIX

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

*МГИ, Севастополь*

✉ [korzhuev.vladimir@yandex.ru](mailto:korzhuev.vladimir@yandex.ru)

**Ключевые слова:** микроструктура, турбулентность, скорость диссипации, АТОМIX, обработка данных, микроструктурные профилемеры.

Микроструктурные измерения являются одним из основных методов исследования вертикального турбулентного обмена в океане. Однако результаты, полученные разными исследовательскими группами, часто трудно сопоставимы из-за использования различных алгоритмов обработки, процедур контроля качества и

форматов хранения данных. Для решения этой проблемы рабочей группой SCOR WG 160 (Lueck R., Fer I., Bluteau C., Dengler M., Holtermann P., Inoue R., LeBoyer A., Nicholson S.-A., Schulz K., Stevens C. Best practices recommendations for estimating dissipation rates from shear probes // *Frontiers in Marine Science*. 2024. Vol. 11. Art. 1334327. doi:10.3389/fmars.2024.1334327) разработан международный стандарт ATOMIX (Analysing Ocean Turbulence Observations to Quantify Mixing) (Fer I., Dengler M., Holtermann P. et al. ATOMIX bench-mark datasets for dissipation rate measurements using shear probes // *Scientific Data*. 2024. Vol. 11. Art. 518. doi:10.1038/s41597-024-03323-y), определяющий единый подход к обработке микроструктурных измерений.

Цель настоящей работы – разработка программного комплекса МНИ-ATOMIX, реализующего рекомендации стандарта ATOMIX для автоматизированной обработки данных микроструктурных профилемеров. Комплекс обеспечивает воспроизводимость вычислений, унификацию структуры выходных данных и возможность обработки измерений различных типов приборов в рамках единого программного ядра.

Архитектура комплекса соответствует уровням обработки ATOMIX (L1–L4):

L1 – чтение исходных данных, перевод сигналов в физические единицы, синхронизация каналов и формирование единой структуры данных;

L2 – выделение рабочих участков профиля, фильтрация и удаление выбросов;

L3 – спектральная обработка данных и удаление вибрационного шума;

L4 – оценка скорости диссипации турбулентной кинетической энергии, контроль качества и формирование итогового набора данных.

Для обеспечения воспроизводимости автоматически сохраняются параметры обработки, журнал выполнения и конфигурация вычислений. Выходные данные записываются в формате netCDF в соответствии со структурой ATOMIX (Fer I., Dengler M., Holtermann P. et al. ATOMIX bench-mark datasets for dissipation rate measurements using shear probes // *Scientific Data*. 2024. Vol. 11. Art. 518. doi:10.1038/s41597-024-03323-y).

Программный комплекс МНИ-АТОМIX реализует полный цикл обработки микроструктурных измерений в соответствии с рекомендациями АТОМIX. В текущей версии поддерживается обработка данных микроструктурных профилографов семейства MSS и турбулиметра «Сигма-1».

Использование единого программного ядра позволяет стандартизировать обработку данных различных приборов, повысить воспроизводимость результатов и обеспечить их совместимость с современными международными требованиями к хранению и обмену океанографическими данными. Комплекс предназначен для обработки экспедиционных микроструктурных измерений и может использоваться как базовая платформа для дальнейшего развития методов анализа турбулентного перемешивания.

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БУХТЫ ЛАСПИ (ЧЕРНОЕ МОРЕ)**

**Котельянец Е.А.**

*МГИ, г. Севастополь*

✉ *plistus@mail.ru*

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, донные отложения.

Важной проблемой, возникающей при исследовании антропогенного загрязнения черноморского шельфа, является изучение геохимических характеристик донных отложений и их влияние на распределение тяжелых металлов. Это дает возможность оценить влияние вторичного загрязнения на исследуемую акваторию.

В работе представлены новые данные о содержании и особенностях пространственного распределения тяжелых металлов в донных отложениях бухты Ласпи. Концентрации исследуемых элементов (As, Pb, Zn, Ni, Cr, Sr) определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа на спектрометре Спектроскан МАКС-GVM.



Цель работы – исследование содержания и распределения микроэлементов (As, Pb, Zn, Ni, Cr, Sr) в донных отложениях бухты Ласпи, а также влияния основных геохимических характеристик на особенности распределения исследуемых элементов.

Показано, что уровни содержания всех исследуемых тяжелых металлов в донных отложениях бухты Ласпи не превышают их содержание в акваториях с различной интенсивностью водообмена, таких как Балаклавская бухта и Лименский залив. Исключение составляет максимальное содержание Ni. Максимальное содержание Zn, Ni, Cr, Sr, превышает геохимический фон в открытых районах шельфа.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме FNNN-2024-0016 «Прибрежные исследования».

## **ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ**

**Кременчуцкий Д.А. ✉, Гуров К.И.**

*МГИ, г. Севастополь*  
✉ *d.kremenchutsky@gmail.com*

**Ключевые слова:** донные отложения, Черное море, цезий-137, калий-40, радий-226, торий-232, свинец-210.

О состоянии морской среды можно судить по донным отложениям. Дело в том, что большинство веществ, которые попадают в морскую среду, не остаются в ней навсегда, а постепенно опускаются в донные отложения и накапливаются там. Это дает основание полагать, что пространственная изменчивость содержания радионуклидов в донных отложениях отражает пространственную изменчивость их содержания в морской среде. Целью представленного исследования являлось получение количественных характеристик взаимосвязи пространственной

изменчивости геохимических характеристик поверхностного слоя донных отложений с содержанием в нем радионуклидов для северной части Черного моря.

Натурные данные были получены в ходе экспедиционных исследований на НИС «Профессор Водяницкий» в период 2020–2025 гг. Пробы донных отложений отбирались в соответствии с (ГОСТ 17.1.5.01-80, ISO 5667-19:2004) с помощью дночерпателя Петерсона. Гранулометрический состав определяли комбинированным методом декантации и рассеивания с использованием стандартных сит (ГОСТ 12536-2014). Измерения активности в пробах донных отложений проводили гамма-спектрометрически, с использованием сцинтилляционного детектора NaI(Tl) колодезного типа и полупроводникового из особо чистого германия с углеродным окном. Калибровка эффективности регистрации гамма-квантов проводилась с использованием проб донных отложений, поставляемых МАГАТЭ.

По результатам исследования установлено, что концентрация цезия-137 меняется от 2 до 140 Бк/кг, калия-40 – от 25 до 720 Бк/кг, радия-226 – от 3 до 70 Бк/кг, тория-232 – от 2 до 45 Бк/кг, избыточного свинца-210 – от 5 до 330 Бк/кг. Пониженные значения отмечались в районе Керченского пролива и в районе м. Тарханкут. Установлено наличие взаимосвязи между долей илистой фракции в донных отложениях и активностью радионуклидов: коэффициенты корреляции 0,5 ( $^{137}\text{Cs}$ ), 0,5 ( $^{226}\text{Ra}$ ), 0,9 ( $^{232}\text{Th}$ ), 0,9 ( $^{40}\text{K}$ ) и 0,42 ( $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ ). Стоит отметить, что изменение доли илистой фракции от 25 до 100 % не сопровождается значимым ростом концентрации цезия-137, радия-226 и избыточного свинца-210. Это может быть обусловлено различиями в происхождении терригенного материала, поступающего в донные отложения.

Авторы выражают благодарность капитану и команде НИС «Профессор Водяницкий» за помощь в проведении работ на судне. Пробы воды отобраны в ЦКП «НИС Профессор Водяницкий» ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН». Измерения активности радионуклидов

проводились в ЦКП «Морские исследования и технологии» ФГБУН ФИЦ Морской гидрофизический институт РАН.

Работа выполнена в рамках тем государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ: отбор проб донных отложений в ходе экспедиционных исследований был выполнен по темам № FNNN-2024-0001 и FNNN-2025-0001, анализ полученных данных по теме FNNN-2026-0002.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПТР-046 КАК ОПОРНОГО ДАТЧИКА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ТЕМПЕРАТУРНОГО КАНАЛА СТД-ЗОНДОВ**

**Кудинов О.Б. ✉, Керимов А.А.**

*МГИ, г. Севастополь, Россия*

✉ *obk91@mail.ru*

**Ключевые слова:** термопреобразователь сопротивления; ПТР-046; градуировка; неопределённость измерений; окно осреднения; девиация Аллана; эффективная разрядность АЦП.

Точность измерительного канала (ИК) температуры СТД-зондов определяет качество восстановления тонкой вертикальной структуры вод. В МГИ РАН создавались специализированные зондирующие комплексы. Объект исследования – медный термометр сопротивления ПТР-046 ( $100 \pm 0,05$  Ом при  $0^\circ\text{C}$ ; чувствительность  $4,26 \cdot 10^{-3}$  Ом $\cdot^\circ\text{C}^{-1}$ ; тепловая инерция 0,05 с; диапазон  $-2 \dots +40^\circ\text{C}$ ; глубина до 6000 м), разработанный в СКТБ МГИ. Датчик испытан на схеме регистрации с 21-разрядным АЦП AD7691. Цель работы – градуировка по эталону и программно-аналитическая оценка ИК температуры для обоснования применения ПТР-046 как опорного датчика – рабочего средства сравнения при стендовых и натурных испытаниях новых термометров.

Градуировку выполняли в лаборатории метрологии МГИ по поверенному эталону ПТС-10М (рабочий эталон первого разряда) по ГОСТ 6651-2009 и ГОСТ 8.461-2009 с измерителем МИТ 8.30. Сопротивление эталона пересчитывали в температуру по индивидуальной поверочной характеристике. В термостате выполнены пять точек (0, 8, 16, 24 и 32 °С) с синхронной регистрацией рядов эталона и кодов АЦП. Градуировочная характеристика – полином второй степени относительно среднего кода АЦП (степень выбрана из линейности канала). Достигнуты  $R^2 = 0,99(9)$ , СКО невязок 11,8 мК,  $\max|\text{невязки}|$  21,2 мК. Знакопеременный характер невязок без тренда указывает на отсутствие значимой систематической погрешности модели.

При 21 бит АЦП AD7691 ход средних кодов занимает  $\approx 5,7\%$  полной шкалы, шум превышает предел квантования в 60–100 раз, эффективная разрядность для медленного сигнала – 16,1–17,4 бит. Точность ограничена аналоговым трактом и условиями измерения, а не разрядностью АЦП. Диагностика ( $\sigma$ , SNR, смещение среднего, автокорреляция) выявила аномальную серию при  $\approx 24$  °С из-за дрейфа термостата.

Прямое измерение сопротивления датчика МИТ 8.30 (минус АЦП) в тех же пяти точках дало  $dR/dt \approx 0,424$  Ом/°С ( $\alpha \approx 4,23 \cdot 10^{-3}$  °С $^{-1}$ ), что согласуется с паспортным  $4,26 \cdot 10^{-3}$  Ом·°С $^{-1}$  (расхождение  $\approx 0,7\%$ ). После удаления тренда собственный шум датчика – лишь 0,03–0,13 мК против  $\sigma(t) \approx 3$ –8 мК через полный тракт АЦП; внутри точек наблюдается дрейф 0,03–0,17 мК/с, подтверждающий нестабильность термостата. Таким образом, предел точности задаёт аналоговый тракт регистрации, а не чувствительный элемент. Результаты обосновывают пригодность ПТР-046 как опорного датчика при разработке и сравнительной метрологии термометров для СТД-зондов.

## КЛАССИФИКАЦИЯ ТИПОВ ГРУНТА ПО ДАННЫМ СИНХРОННОЙ ВИДЕО- И ГИДРОЛОКАЦИОННОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ДОННЫХ ЭКОСИСТЕМ

Лахно О.В.<sup>1,2</sup>✉, Анисимов И.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ИО РАН, г. Москва

<sup>2</sup> МФТИ, г. Москва

✉ lakhno.ov@ocean.ru

**Ключевые слова:** донные экосистемы, классификация грунтов, гидролокатор бокового обзора, картографирование.

Изучение донных сообществ арктических морей сдерживается трудоёмкостью точечных методов пробоотбора и отсутствием стандартизированных процедур количественного анализа неинвазивных оптических и гидроакустических данных. Цель работы – разработка методов совместного использования синхронной видео-, фото- и гидролокационной съемки для картографирования типов донного грунта, мозаичности и видового состава макробентоса. На первом этапе в качестве объектов классификации выбраны три акустически контрастных класса – ил, песок и камни – для которых из многолетнего архива отобраны репрезентативные участки, обеспеченные синхронной видеофиксацией.

Выбранная процедура обработки данных включает в себя физически обоснованную предобработку данных гидролокатора бокового обзора с последующей сегментацией при помощи легковесной свёрточной нейронной сети (Convolutional Neural Network, CNN). В соответствии с этим планом выполнено:

- 1) предобработка сонограмм с компенсацией неравномерности диаграммы направленности и затухания звука, а также удалением слепой и низкоконтрастной зон;
- 2) формирование размеченного набора данных по трём классам донных текстур на основе синхронной видеозаписи;
- 3) обучение CNN архитектуры «кодировщик-декодировщик» с использованием скользящего окна;
- 4) верификация результатов по метрикам точности (precision), полноты (recall) и F1.

Полученные результаты демонстрируют возможность перехода от субъективной экспертной интерпретации к объективному картированию распределения донных грунтов вдоль траектории съёмки. В дальнейшем для каждой пары «видеозапись – гидролокационное изображение», полученных в ходе одной съёмки, планируется сопоставить результаты сегментации: оценить взаимное соответствие выделенных участков и сравнить итоговое количество сегментов. Участки гидролокационных изображений будут привязаны к характеристикам донной фауны и грунта, полученным из видеозаписей, что позволит установить соответствия между сигналом обратного рассеяния и локальными характеристиками поверхности дна. Ожидаемый результат – получение корреляционных зависимостей между сегментацией гидролокационных изображений и видеоданных. Итогом станет картографирование распределений типов грунта и видового состава биоты вдоль траектории маршрутной гидролокационной и видеосъёмки для различных районов акваторий российской Арктики.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-27-00756.

## **ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И АНАЛИЗА ИЗМЕНЧИВОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОД В РАЙОНЕ ОСНОВНЫХ ПЛЯЖЕЙ ЧЕРНОГО МОРЯ**

**Лелеко Н.А.<sup>1</sup>, Дёмин А.Е.<sup>2</sup>, Коробейников А.А.<sup>3</sup>,  
Монаков И.Р.<sup>4</sup>, Кубряков А.А.<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> СПЛ, г. Севастополь

<sup>2</sup> СОШ № 45, г. Севастополь

<sup>3</sup> СОШ № 22, г. Севастополь

<sup>4</sup> СОШ № 4, г. Севастополь

<sup>5</sup> МГИ, г. Севастополь

✉ [kola48527@gmail.com](mailto:kola48527@gmail.com)

**Ключевые слова:** температура поверхности моря, Чёрное море, южный берег Крыма, апвеллинг, спутниковые данные, численное моделирование, полевые измерения, CTD-зонд, Arduino, геоинформационная система.

В рамках научно-образовательного проекта МГИ (февраль–сентябрь 2026 г.) учащиеся 7–8 классов г. Севастополя прошли полный цикл океанографического исследования температуры поверхности моря (ТПМ) в прибрежной зоне Крыма. На основе спутниковых измерений MODIS/Aqua, данных оперативной модели МГИ и контактных измерений исследованы основные особенности сезонной и суточной изменчивости температуры вод в прибрежной зоне. Выделены зоны апвеллинга в 2022–2023 гг. для Южного берега Крыма и бассейна Чёрного моря и получены их статистические характеристики. По данным численного моделирования и измерений термопрофиломеров оценена изменчивость вертикальной структуры вод во время событий апвеллинга. Установлено, что средняя температура в районе южного берега Крыма в 2022 г. составила 15,5 °С при максимуме 26,7 °С (август) и минимуме 7,6 °С (зима); суточная амплитуда в июле – 1,6–4 °С. При апвеллинге в мае и июле 2022 г. амплитуда охлаждения поверхностного слоя составила 2,0–3,4 °С, в отдельных случаях до 10 °С. Проведена полевая экспедиция в бухту Омега (г. Севастополь). С помощью CTD-зонда ТМА-21 выполнены измерения температуры и солёности на 13 станциях (10 прибрежных и 3 в центральной части бухты) на поверхности и у дна на глубине до 0,5 м.

На основе полученного опыта анализа различных источников данных создана оперативная геоинформационная система «Температура пляжей Крыма», объединяющая данные численного прогноза (BAMS), спутниковые наблюдения (GHRSSST, MODIS) и контактные измерения. Система обеспечивает визуализацию текущих и прогнозных термических условий на основных пляжах, сопоставление данных наблюдений и моделирования, а также оперативное выявление локальных похолоданий, связанных с апвеллингом. Практическая значимость ГИС связана с информированием отдыхающих и спасательных служб, поддержкой управленческих решений в курортной сфере, экологическим мониторингом прибрежной зоны и использованием в научно-просветительской деятельности.

Работа выполнена в рамках темы госзадания FNNN-2024-0012.

## АВТОНОМНЫЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ БУЙ ДЛЯ МОРСКИХ ПРИБРЕЖНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Лунев Е.Г.<sup>1,2</sup>✉, Толстошеев А.П.<sup>1,2</sup>, Безгин А.А.<sup>1,2</sup>,  
Остроумов Л.В.<sup>3</sup>, Люберец Е.П.<sup>4</sup>, Покидайло С.Л.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> СевГУ, г. Севастополь

<sup>2</sup> ООО «Марлин-Юг», г. Севастополь

<sup>3</sup> ГОИН, г. Москва

<sup>4</sup> Крымское УГМС, г. Симферополь

✉ marlin@marlin-yug.com

**Ключевые слова:** морская береговая наблюдательная сеть, средство измерения, соленость, температура, сравнительные наблюдения.

Современная концепция развития государственной морской береговой наблюдательной сети предполагает внедрение современных автоматизированных средств измерений (АСИ) в практику регулярных наблюдений. Речь идет о внедрении АСИ как составной части системы, основу которой в настоящее время составляют классические средства измерения (КСИ) гидрологических параметров. Применение АСИ должно рассматриваться не в качестве замещения КСИ, а с точки зрения оптимизации наблюдательной сети. При этом показатели назначения АСИ должны обеспечивать непрерывность, однородность и сопоставимость рядов наблюдаемых параметров в течение долговременной автономной эксплуатации в условиях биологического обростания и загрязнения. Наиболее сложно реализовать эти требования в отношении АСИ солености, поскольку установленные действующими документами предельно допустимые значения различий в результатах наблюдений солености АСИ и КСИ составляют 0,02 ЕПС.

С целью получения количественных оценок результатов сравнительных долговременных морских гидрологических наблюдений температуры и солености морской воды, выполненных с использованием АСИ и КСИ, в акватории морской



гидрометеорологической станции МГ-1 «Ялта» ФГБУ «Крымское УГМС» 29.07.2025 был установлен автономный поверхностный гидрологический буй БПГ-25, разработанный ООО «Марлин-Юг» при содействии НИЛ «Морские наблюдательные системы» им. С.В. Мотыжева Севастопольского государственного университета. Буй предназначен для оперативного долговременного мониторинга температуры и солёности в поверхностном слое. Методическое сопровождение испытаний осуществляло ФГБУ «ГОИН». Сбор и обработку данных КСИ и АСИ осуществляли Севастопольский ЦГМС – филиал ФГБУ «Крымское УГМС».

В сравнительных предварительных лабораторных испытаниях было установлено, что результаты измерений солёности проб морской воды, полученные по данным КСИ и БПГ-25, различаются не более чем на 0,02 ‰.

Сравнительные натурные наблюдения продолжительностью 158 суток проводились в периоды высокой биологической активности летом-осенью 2025 г. и весной-летом 2026 г. Основные результаты выполненных работ сводятся к следующему:

- 1) конструкция и схема установки БПГ-25 обеспечили его работоспособность в широком диапазоне ветро-волновых режимов;
- 2) различия результатов измерений солёности БПГ-25 и КСИ в 80 % сопоставлений в течение первых пяти недель эксплуатации буя не превышали 0,1 ‰;
- 3) различия в результатах измерений температуры БПГ-25 и контрольных измерений температуры по данным КСИ в 83 % выполненных сопоставлениях находились в пределах  $\pm 0,2$  °С;
- 4) интервал регламентного обслуживания БПГ-25 для акватории МГ-1 «Ялта» составляет 2 месяца.

Опыт, полученный при проведении сравнительных испытаний на МГ-1 «Ялта», может быть рассмотрен в качестве задела для организации испытательных полигонов на базе действующих морских гидрометеорологических пунктов наблюдений в различных климатических зонах в целях дальнейшего развития методик длительной эксплуатации АСИ, выработки регламентов по техническому и сервисному обслуживанию АСИ, а также совершенствования нормативной базы.

## СЛЕДЫ СОВРЕМЕННОЙ И ДРЕВНЕЙ УГЛЕВОДОРОДНОЙ ДЕГАЗАЦИИ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ОТ МЫСА КОНСТАНТИНОВСКИЙ ДО МЫСА ЛУКУЛЛ (ЗАПАДНЫЙ БЕРЕГ КРЫМА)

Лысенко В.И.<sup>1,2</sup>✉, Шик Н.В.<sup>3</sup>✉

<sup>1</sup> ИПТС, г. Севастополь

<sup>2</sup> Филиал МГУ в г. Севастополе

<sup>2</sup> Севастопольский центр туризма, краеведения, спорта и  
экскурсий, г. Севастополь

✉ [Niagara\\_sev@mail.ru](mailto:Niagara_sev@mail.ru)

**Ключевые слова:** землетрясения, углеводородный флюид, метан, пламенные вспышки, карбонатный цемент.

При описании событий, связанных с Крымскими землетрясениями в 1927 г., исследователи отмечали различные интересные геологические процессы в море, которые охватили полосу морского дна около крымских берегов от Феодосии до Евпатории. Они происходили в нескольких километрах от основных очагов событий, но имели связь с ними или с повторными толчками. Процессы были представлены бурунами кипения морской воды, столбами белого пара, вспышками пламени над морской поверхностью и выбросами сероводорода. Пламенные вспышки в прибрежной зоне от Севастополя до Евпатории подтвердили наблюдатели береговых постов и смотрители маяков. Они наблюдались на расстоянии до 60 км и имели видимую высоту до 500 м. Их природу в 1928 г. постаралась изучить экспедиция под руководством Е.Ф. Скворцова. Методика опробования и отсутствие геологов не позволило решить эту задачу до конца. Участники экспедиции предположили, что выбросы газов происходят из трещин в прибрежной зоне. В конце двадцатого века эти вспышки связали с выбросами метана, но осталась загадка, откуда он поступает.

Побережье и прибрежная часть западного берега Крыма контролируется серией меридиональных разломов. Они характеризуются геодинамической активностью, что подтверждает анализ геологических разрезов береговых уступов плиоценовых отложений. В них часто встречаются маломощные прослои песчанистых конгломератов и песчаников на карбонатном цементе. В некоторых из них пленочный цемент представлен плоскими сростками прозрачного кальцита. На поверхности таких линзовидных прослоев отмечаются микрократеры, сквозные отверстия и присыпки раковин моллюсков. Микрократеры имеют некоторое сходство с подобными образованиями на сипах бухты Ласпи. Карбонат цемента характеризуется облегченным изотопным составом углерода ( $-18,7\text{ ‰}$ ), а более тяжелый состав имеет карбонат ракушечного материала ( $-9,3\text{ ‰}$ ). Подобный  $\delta^{13}\text{C}$  характерен для бактериальных построек, созданных прокариотами за счет переработки метана. Их образование происходило в периоды поступления метана из недр в раннем плиоцене.

С современными процессами дегазации метана, вероятно, связаны подводные гряды, которые расположены на против мыса Лукулл. Они находятся на расстоянии от 30 до 40 метров от берега на глубине от 4 до 5 метров. Холмообразная гряда имеет меридиональную ориентировку. В некоторых местах на ней наблюдались выбросы мелких пузырьков газа. Поверхность гряды покрыта водорослями и на них находился богатый биоценоз моллюсков. Тело гряды было сложено галькой и гравием, которые были цементированы пленочным цементом кальцита с облегченным изотопным составом углерода ( $-28,6\text{ ‰}$ ). Он представлен пластинчатыми и сферолитовыми формами. Кроме этого, в конгломератах встречаются раковины серпулид и моллюсков. Перечисленные факты являются доказательством, что образование гряды связано с деятельностью прокариот по переработке метана. При землетрясениях спокойные выбросы метана над грядой увеличивались в объемах и являлись катастрофическими явлениями, которые были описаны исследователями.

Работа поддержана государственной бюджетной темой в рамках госзадания ИПТС № госрегистрации 124020100120-9.

## ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЙ НАБЕРЕЖНОЙ В ПОСЕЛКЕ ЛОО Г. СОЧИ И МЕРОПРИЯТИЯ ПО ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ

Макаров К.Н.

*СГУ, г. Сочи*

✉ *ktk99@mail.ru*

**Ключевые слова:** вдольбереговой поток наносов, волнозащитная стена, набережная, бун, искусственный пляж.

Динамика морских берегов при отсутствии гидротехнических сооружений определяется соотношением мощности  $Q_m$  и емкости  $Q_e$  вдольберегового потока наносов.

При  $Q_m / Q_e > 1$  «лишние» наносы выпадают из потока и образуют аккумулятивные формы, берег выдвигается в сторону моря. При  $Q_m / Q_e = 1$  берег является транзитным, его положение в пространстве не меняется. При  $Q_m / Q_e < 1$  берег абразионный и отступает в сторону суши.

В последние несколько лет набережная в пос. Лоо неоднократно разрушалась при проходе вполне рядовых штормов, в частности, в 2017, 2021, 2023 и 2026 гг. Это объясняется тем обстоятельством, что пляж перед подпорной стеной набережной к 2017 г. был почти полностью смыт. В то же время, набережная проектировалась и строилась при наличии перед ней пляжа шириной до 40 м, который полностью гасил штормовые волны.

Наличие широкого пляжа на набережной пос. Лоо ранее обеспечивалось наличием мощного вдольберегового потока галечных наносов из устья р. Шахе, самой большой реки Черноморского побережья Кавказа. Поток в соответствии с генеральным вектором волновой энергии направлен на ЮВ.

До 2010 г. на участке берега от устья р. Шахе до пос. Лоо практически не было пляжеудерживающих сооружений, за исключением нескольких бун. Однако начиная с 2010 г. началось массовое строительство систем бун, которые искусственно не заполнялись пляжеобразующим материалом, как это требуется

согласно нормативным документам, и поэтому полностью перехватывали поток наносов из устья р. Шахе.

В результате этого перехвата в районе набережной пос. Лоо сложилась ситуация, когда  $Q_m / Q_e \ll 1$ . Пляж стал стремительно сокращаться и в итоге к 2021 г. исчез совсем.

Таким образом, причиной постоянного разрушения набережной в пос. Лоо является полное отсутствие перед подпорной стеной волногасящего пляжа или другого сооружения. А исчезновение пляжа, в свою очередь, объясняется строительством систем бун без искусственного заполнения их пляжеудерживающей емкости на участке берега р. Шахе – пос. Лоо.

Для предотвращения дальнейших аварийных ситуаций на набережной пос. Лоо можно предложить следующие мероприятия. Как противоаварийное мероприятие – построить перед стеной набережной волнозащитную берму из камня массой 5–7 т или фасонных блоков (тетраподов или гексабитов) массой 5 т. Параметры бермы определить расчетом по волновым условиям. Однако такое мероприятие представляется неправильным в рекреационной зоне. Более оптимальным является создание искусственного галечного берегозащитного и рекреационного пляжа полного профиля, то есть такой ширины (не менее 25 м в надводной части), которая обеспечит полное гашение волн в расчетных штормах.

Пляж может быть как свободный, то есть без каких-либо пляжеудерживающих сооружений, так и под защитой сооружений – бун или волноломов (возможно их сочетание).

Для свободного пляжа необходимо методом математического моделирования определить объем исходной отсыпки, объемы и периодичность эксплуатационных пополнений на истирание и вдольбереговой вынос пляжеобразующего материала.

Для пляжа с сооружениями следует определить объем исходной отсыпки, вид, конфигурацию и конструкции сооружений. Сооружения должны обеспечить полную устойчивость пляжа против вдольберегового перемещения. Но эксплуатационные пополнения на истирание будут необходимы.

## СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ВРЕДОНОСНЫХ МИКРОВОДОРΟΣЛЕЙ В РАЙОНАХ МАРИКУЛЬТУРЫ В ПРИБРЕЖЬЕ КРЫМА (ЧЕРНОЕ МОРЕ)

Маркова В.С. <sup>✉1</sup>, Поспелова Н.В. <sup>1,2</sup>, Приймак А.С. <sup>2</sup>

<sup>1</sup> НИЦ ПСГ – филиал ФИЦ ИнБЮМ, г. Севастополь

<sup>2</sup> ИнБЮМ, г. Севастополь

✉ nikasergeevnamarkova@mail.ru

**Ключевые слова:** вредоносные микроводоросли, моллюски, аквакультура, Черное море, питание.

В Черноморском бассейне активно развивается марикультура мидий и устриц. В связи с этим особый интерес представляет изучение вредоносных микроводорослей (ВМВ), поскольку их массовое развитие может ухудшать экологическое состояние акваторий, а токсичные формы могут накапливаются в тканях культивируемых моллюсков и представлять риск для потребителей культивируемых моллюсков. Цель работы – изучить видовой состав и численность вредоносных микроводорослей в районах размещения мидийно-устричных ферм в прибрежье Крыма (Чёрное море).

Исследование проводили с июня 2018 г. по декабрь 2022 г. в акваториях мидийно-устричных ферм, расположенных в заливе Донузлав, на внешнем рейде Севастопольской бухты, в Ласпинской бухте и в прибрежной зоне пгт. Кацивели, с использованием стандартных гидробиологических методов.

В акватории марифермы в заливе Донузлав в период с ноября 2018 г. по декабрь 2019 г. было обнаружено 27 видов вредоносных микроводорослей, из них 16 видов диатомовых, 7 динофитовых и 4 других таксономических групп. По численности доминировали кокколитофорида *Emiliania huxleyi* (декабрь 2018 г. – январь 2019 г.) и диатомовая *Chaetoceros curvisetus* (апрель–июль 2019 г.). Эти виды способны вызывать масштабные

«цветения», но в период исследования уровня «цветения» не достигали.

В районе мидийно-устричной фермы на внешнем рейде Севастопольской бухты в 2018 г. и 2022 г. ВМВ отмечались в течение всего периода наблюдений, с февраля по декабрь; выявлено 5 видов ВМВ, из которых 1 относился к диатомовым и 4 к динофитовым. По численности в 2018 г. доминировала диатомовая *Pseudo-nitzschia seriata* (июнь), в 2022 году – *P. calliantha* (май). Эти виды являются продуцентами нейротоксина – домоевой кислоты, – однако в периоды исследования в 2018 г. и 2022 г. их численность не достигала опасных для аквакультуры значений. В акватории марифермы в Ласпинской бухте в период с февраля по сентябрь 2021 г. обнаружено 23 вида ВМВ, из них 12 видов диатомовых, 11 динофитовых. По численности с апреля по июнь доминировала крупноклеточная диатомовая *Proboscia alata*, способная вызывать «цветение» воды. В акватории марифермы в прибрежной зоне пгт. Кацивели в период исследований с ноября 2018 г. по декабрь 2019 г. обнаружено 26 видов ВМВ, из них 13 видов диатомовых, 10 динофитовых и 3 – других групп. По численности доминировали диатомовая *Skeletonema costatum* (февраль 2019 г.) и кокколитофорида *E. huxleyi* (январь 2019 г.), однако уровня «цветения» численность этих видов не достигала.

Таким образом, в районах размещения мидийно-устричных ферм побережья Крыма выявлен широкий спектр вредоносных, в том числе токсичных и потенциально токсичных, микроводорослей. Наибольшее видовое разнообразие ВМВ отмечено в акваториях Донузлава и Кацивели. Полученные данные подтверждают необходимость регулярного мониторинга ВМВ в районах марикультуры побережья Крыма.

Работа выполнена в рамках темы госзадания НИЦ ПСГ – филиала ФИЦ ИнБЮМ № 125012100509-6 и темы госзадания ФИЦ ИнБЮМ № 124022400152-1.

## МЕТАЛЛЫ В БИОТЕ СЕВАСТОПОЛЬСКИХ БУХТ

Матвеева И.С. <sup>1</sup>✉, Коршенко А.Н. <sup>1</sup>, Жохова Н.В. <sup>1</sup>,  
Дьяков Н.Н. <sup>2</sup>, Еркушов В.Ю. <sup>2</sup>

<sup>1</sup> ГОИН, г. Москва

<sup>2</sup> СО ГОИН, г. Севастополь

✉ irsema@mail.ru

**Ключевые слова:** Севастополь, бухты, загрязнение, морская биота, тяжелые металлы.

Пробы морской биоты на анализ содержания тяжелых металлов (ТМ) в телах организмов были отобраны в различных локациях Севастопольского района летом 2024 г. (7 проб) и в течение всего 2025 г. (10 проб). Концентрация десяти ТМ (железо, марганец, хром, медь, никель, мышьяк, кадмий, свинец, кобальт и цинк) была определена методом непламенной атомной абсорбции в химлаборатории ГОИН (Москва). Исследовались мышцы рыб (ласкирь, рябчик, кефаль, скорпена), мышцы и экзоскелет травяного и каменного крабов, а также мягкие ткани и створки мидий, устриц и рапаны. Наибольшая концентрация (мкг/г сухого вещества) железа (514–739) зафиксирована в мягких тканях мидий, устриц и каменного краба из устьев рек Черная в Инкермане, Бельбек около Любимовки и в Стрелецкой бухте. В мышцах всех рыб содержание Fe было относительно невысоким (6–74, в среднем 42,3). Среднее содержание металла в беспозвоночных (255,4) было в шесть раз выше, чем в рыбах. Средняя по всем пробам концентрация Mn составила 32,3, а в рыбах только 7,0; наибольшие значения в жабрах и внутренностях каменного краба из Любимовки (348) и устрицы из Инкермана (75). Содержание Cr, Co и Pb во всех объектах варьировало в достаточно узком диапазоне в пределах примерно 10–20 раз: 0,2–1,9/0,72; 0,1–2,5/0,75 и 0,1–3,5/1,12 соответственно; максимум



концентрации этих металлов отмечен в тканях мидий из Стрелецкой бухты. Намного шире разброс концентрации Cd 0,01–3,23/0,65, при этом в двух пробах значения вообще были ниже предела обнаружения; для Ni значения 0,1–9,4/1,49, максимум в мидиях из Стрелецкой. Наибольшая величина концентрации меди зафиксирована в мягких тканях каменного краба из Любимовки (308), также высокие значения в мышцах травяного краба из Стрелецкой бухты (168) и устрицы из Инкермана (105); средняя величина по всем пробам 54,4. В рыбах, наоборот, содержание меди было низким (0,3–10,7/3,1). Наибольшие значения среди всех металлов зафиксированы для Zn: 11–1020/226,2. Самые высокие были в Инкермане (максимум 507), в несколько раз меньше в Стрелецкой бухте (330) и у Любимовки (262). В этих же объектах было очень высоким содержание As (5,7–13,4), но также еще и в теле рапаны (13,2) из устья Черной речки. Последнее не удивительно, поскольку во время отбора пробы этот хищный моллюск поедал загрязненных двустворчатых. Во всех рыбах концентрация мышьяка была невысокой – 1,0–2,1 мкг/г.

В целом по уровню загрязненности ТМ тканей различных групп морской биоты значительно выделяется проба с жабрами и внутренностями каменного краба, пойманного 24 февраля около устья реки Бельбек, ткани мидий со сваи пирса в Стрелецкой бухте, а также устрицы с мелководья около 1 м около устья реки Черной в Инкермане (только по Fe, Mn, Zn и As). Эти районы города можно считать самыми неблагоприятными для биоты по ТМ. В очень грязном участке бухты у Радиогорки правее Михайловского равелина, где камни на глубине 1 м без макрофитов и покрыты илом и слизью, в тканях мелких мидий повышенные значения отмечены только по Ni Cd, Pb и As. Очевидно, накопление ТМ происходит неравномерно у разных групп морских организмов, в разных тканях и в разные периоды года. В общем, результаты совпадают с данными по накоплению тяжелых металлов в тканях биоты из других сильно загрязненных участков морей.

## САМООЧИСТИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ЭКОСИСТЕМЫ ЯЛТИНСКОГО ПОРТА В ОТНОШЕНИИ МИНЕРАЛЬНОГО ФОСФОРА

Мезенцева И.В.<sup>1</sup>, Совга Е.Е.<sup>2</sup>✉, Хмара Т.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> МГИ, г. Севастополь

<sup>2</sup> СО ГОИН, г. Севастополь

✉ esovga@mhi-ras.ru

**Ключевые слова:** Ялтинский порт, неорганический фосфор, общий фосфор, растворенный кислород, экосистема, самоочистительная способность, ассимиляционная емкость.

На основе многолетнего (2015–2024 гг.) гидрохимического мониторинга вод акватории Ялтинского порта, являющегося частью Ялтинского залива, проанализировано изменение концентраций фосфора и растворенного кислорода. С учетом особенностей круговорота биогенных элементов в морских экосистемах выполнено исследование многолетней динамики неорганического и общего фосфора для теплого и холодного сезонов. Анализ сформированной базы данных позволил выделить два временных интервала в состоянии исследуемой акватории. В первый период с 2015 г. по 2018 г. вклад минеральной составляющей в общее содержание фосфора в среднем составлял 38–60 % как в поверхностном, так и в придонном слое вод. Во второй период 2019–2024 гг. вклад фосфора фосфатного снизился до 17–26 % от общего содержания элемента вне зависимости от сезона.

На основе полученной информации для теплого и холодного сезонов осуществлен расчет среднего содержания фосфора, скорости и времени его удаления из экосистемы и способности экосистемы Ялтинского порта к самоочищению в отношении фосфора фосфатного. Оценка самоочистительной способности выполнена путем расчета величины удельной ассимиляционной емкости  $AE_{уд}$  в отношении фосфора фосфатного балансовым методом. В холодный сезон величина  $AE_{уд}$  экосистемы Ялтинского

порта составила 0,266 мкг/л в сутки, а в теплый сезон  $AE_{уд.}$  – 0,180 мкг/л в сутки.

При сравнении способности к самоочищению экосистемы акватории Ялтинского порта по отношению к неорганическому фосфору с другими мелководными акваториями Крыма на примере самой благополучной западной части Севастопольской бухты эта величина составляет 0,165 мкг/л в сутки.

Более высокий уровень способности к самоочищению экосистемы акватории порта обеспечивается сложной структурой и интенсивностью гидродинамических процессов, высокой степенью аэрируемости ее вод, включая придонный горизонт.

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

## **ВЛИЯНИЕ НИЗКОЙ МЕЖЕНИ НА СОЛЁНОСТЬ ВОДЫ УСТЬЯ РЕКИ ЧЁРНОЙ**

**Миньковская Р.Я.<sup>1✉</sup>, Демидов А.Н.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*МГИ, г. Севастополь*

<sup>2</sup>*СОГОИН, г. Севастополь*

✉ [rosmink@yandex.ru](mailto:rosmink@yandex.ru)

**Ключевые слова:** устьевой участок р. Чёрной, Севастопольская бухта, засуха, осолонение.

Истощение водных ресурсов в маловодные периоды в условиях засушливого климата Крыма приносит больший ущерб экономике и населению, чем паводки, которые регулируются водохранилищами и прудами. В среднем засухи повторяются раз в 7 лет, в основном в июне–августе, когда температура воздуха и испарение наибольшие. В разгар курортного сезона растёт потребление воды, возникают проблемы с водообеспечением и качеством питьевой воды, увеличиваются экологические риски, особенно в сельском хозяйстве, снижается качество жизни населения и рекреационный потенциал Севастопольского региона.

Повышение уровня моря, температуры его поверхности и испарения, маловетрие и низкая водоносность р. Чёрной приводят к осолонению устьевоего взморья и устьевоего участка реки, изменению вертикального газообмена, что вызывает дефицит кислорода в придонном слое воды. Это негативно сказывается на устьевой экосистеме.

Влияние низкой межени на солёность морского устья р. Чёрной впервые исследовано на основе натурных данных Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН», Севастопольского отделения Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова» и Росгидромета за 1991–2025 гг. Так как солёность поверхностного слоя воды подвержена существенной изменчивости под влиянием речного стока, сточных вод г. Севастополя, испарения и других факторов, она выбрана в качестве предмета исследования и критерия изменения состояния водной среды устья.

Для исследования влияния низкой межени на солёность устья р. Чёрной в современный климатический период (цель работы) проанализированы: изменчивость основных факторов формирования стока, распределение солёности воды устьевоего взморья в период низкой межени и среднего многолетнего стока р. Чёрной, влияние на устье реки экстремальной засухи 2025 г.

Впервые установлено, что в современный 35-летний период случаи аномального осолонения устьевоего взморья и устьевоего участка р. Чёрной при различном стоке межени и маловетрии составляют около 20 % от 147 океанографических съёмок. При низкой межени фронтальная зона в устье этой малой реки может формироваться на локальных участках, протяжённостью 0,2–1,0 км, с горизонтальными градиентами солёности воды до 0,5 ‰/м. Таких значительных горизонтальных градиентов в устьях больших рек северо-западной части Чёрного моря не обнаружено.

Анализ результатов синхронных измерений расхода реки и солёности поверхностного слоя воды от вершины до морской

границы устья р. Чёрной показал, что в период засухи 2025 г. солёность устьевого взморья достигала 20 ‰. Такого в предыдущих исследованиях не отмечалось. Аномальная солёность поверхностного слоя воды относительно мелководной Севастопольской бухты в условиях повышенного испарения и низкой межени может быть выше, чем в северо-западной части Чёрного моря, которая распресняется стоком больших рек.

Процессы экстремального осолонения пресноводных и солоноводных акваторий и их влияние на экосистему устья р. Чёрной изучено недостаточно. Однако увеличение солёности может вызывать проблемы природопользования в Севастопольском регионе, потому что губительно влияет не только на биотические составляющие экосистемы устья, но и изменяет условия допустимого воздействия на окружающую среду сбросов сточных вод, рассчитанных для пресноводного водотока (р. Чёрной).

Отсутствие стационарных наблюдений за солёностью воды в Севастопольском регионе, критериев взаимодействия реки и моря, снижает качество мониторинга состояния морского устья р. Чёрной в условиях глобального и регионального изменения климата и уровня хозяйственной деятельности. Решением этого вопроса может быть организация автоматизированной системы наблюдений на МГ-II Севастополь и в районе г. Инкермана.

Устранение проблемы дефицита пресноводных ресурсов видится в сооружении резервного водохранилища в Камышловской балке, в долине р. Бельбек (что снизило бы нагрузку на Чернореченское водохранилище и низовья р. Чёрной в период засух), а также усовершенствовании системы водоснабжения и водопользования. Улучшению экологического состояния устьевого участка р. Чёрной будут способствовать: ликвидация дамбы и сооружение моста в вершине устья, что увеличит пропускную способность русла и восстановит естественный водообмен между рекой и морем, и контроль за несанкционированными изъятиями и сбросами воды в бассейне р. Чёрной.

Полученные результаты исследования могут быть использованы для оценки проникновения солёной воды на устьевой участок р. Чёрной, обменных процессов и разработки модели формирования и развития экстремальных ситуаций в условиях

потепления климата и увеличения антропогенной нагрузки, усовершенствования системы мониторинга опасных явлений и выработки предложений по минимизации возможных ущербов.

## РЕГИОНАЛЬНАЯ ПОПРАВКА К РАСЧЁТУ $p\text{CO}_2$ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ЧЁРНОГО МОРЯ

Мукозеев И.Н. , Медведев Е.В.

*МГИ, г. Севастополь*

 [i.mukoseev@mhi-ras.ru](mailto:i.mukoseev@mhi-ras.ru)

**Ключевые слова:**  $p\text{CO}_2$ , карбонатная система, PyCO2SYS, Чёрное море, региональная параметризация, углеродный цикл.

Парциальное давление углекислого газа ( $p\text{CO}_2$ ) является ключевым параметром при исследовании углеродного цикла и оценке потоков  $\text{CO}_2$  между морем и атмосферой. Ранее широко применялся расчетный подход для определения величины  $p\text{CO}_2$  по полученным *in situ* значениям общей щёлочности (ТА), pH и других параметров карбонатной системы с использованием термодинамических моделей карбонатного равновесия (например, PyCO2SYS). Однако применение универсальных термодинамических констант не всегда обеспечивает высокую сходимость с натурными данными, особенно для региональных морских бассейнов, характеризующихся специфическими гидрохимическими условиями, в частности это относится к Черному морю. В настоящее время  $p\text{CO}_2$  определяется на основе прямых измерений. Актуальной задачей является сопоставление натурных и расчетных данных, выявление расхождения между ними, а также установление причин и факторов, обуславливающих эти отклонения.

В работе использованы результаты многолетних экспедиционных исследований (2015–2025 гг.), выполненных на НИС

«Профессор Водяницкий», в ходе которых на исследовательских полигонах измерены температура, солёность, общий растворенный неорганический углерод ( $\text{TCO}_2$ ), pH, общая щёлочность (TA) и  $\text{pCO}_2$  в поверхностном (1 метр) слое вод.

Сравнение натуральных и расчётных значений  $\text{pCO}_2$  (PyCO2SYS) выявило выраженное систематическое расхождение (среднее отклонение порядка  $118 \pm 4$  мкاتم). Так, стандартный расчёт карбонатной системы для условий Черного моря существенно недооценивает  $\text{pCO}_2$  относительно значений, полученных *in situ*. Это указывает на необходимость разработки региональной параметризации, позволяющей уменьшить расхождение между расчётными и измеренными значениями  $\text{pCO}_2$  и определить основные факторы, влияющие на величину отклонения.

В рамках данной работы была разработана параметризация, которая выступает как региональная поправка, а не замена базового алгоритма расчёта карбонатной системы. Для количественной коррекции расчётного  $\text{pCO}_2$  вводится логарифмическая функция, позволяющая применять мультипликативный коэффициент к результатам стандартного термодинамического расчёта.

Величина поправки определяется тремя предикторами: неравновесностью на границе вода–атмосфера (через градиент  $\text{pCO}_2$ ), термодинамическим состоянием карбонатной системы (температура и  $\Delta\text{pK}$ ) и биопродукционным фоном (хлорофилл и AOU), что позволяет учитывать физико-химические условия и сезонную динамику биологических процессов, влияющих на отклонение наблюдаемого  $\text{pCO}_2$  от расчётного.

Полученная параметризация объясняет дисперсию ошибки расчёта  $\text{pCO}_2$  на уровне  $R^2 \approx 0,87$ , демонстрирует воспроизводимость при повторных разбиениях выборки и стабильность коэффициентов без выраженной мультиколлинеарности, отражает комплексное воздействие гидрохимических, биологических и сезонных процессов и может использоваться как региональная поправка к стандартным алгоритмам расчёта карбонатной системы в условиях Чёрного моря.

## ОЦЕНКА ИЗМЕНЧИВОСТИ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В УСТЬЯХ РЕК БЕЛЬБЕК И КАЧИ

**Наривончик С.В.**

*МГИ, г. Севастополь*

✉ *narivonchik\_s@mail.ru*

**Ключевые слова:** геоморфология, устья рек Бельбек и Качи, Севастопольский регион, расход воды, рекреационная деятельность.

Актуальность изучения изменения геоморфологических характеристик устьев рек Бельбек и Качи вызвана особым интересом к развитию рекреационной инфраструктуры Севастопольского региона. Изменчивость русловых процессов обусловлена комплексом природных и особенно антропогенных факторов, которые стали преобладающими в последние десятилетия. Ее изучение и прогнозирование необходимо для решения задач проектирования надежной инфраструктуры, строительства на побережье с учетом деформации русла, управления сбросами водохранилищ.

Расход воды является основополагающим фактором, определяющим гидрологический режим, морфологию и экологическое состояние устьевых участков малых рек. Уменьшение расхода ведет к зарастанию русла, заболачиванию поймы и деградации устья. Если расход достигает критических значений, устьевой участок реки может полностью пересыхать в меженный период. И наоборот, паводок увеличивает эрозионную способность и поток размывает берега устьевого участка реки.

Используя эпизодические экспедиционные наблюдения отдела гидрофизики шельфа ФГБУН ФИЦ МГИ в 2024–2026 гг. за русловыми деформациями устьевых участков рек Качи и Бельбека, было установлено, что под воздействием паводков и штормов их плановые изменения бывают значительными. Иногда это приводило к ухудшению экологических условий и нарушению рекреационной деятельности в устьях рек. Дистальный конец русла устьевого участка р. Бельбек изменял своё



направление с западного в межень на северное во время паводков и штормов, а р. Качи – с юго-западного на северо-западное. В меженный период иногда образовывалось «слепое устье». При плановых деформациях изменялись характеристики пляжной зоны. Протяженность меандрирующих частей русел составляла 0,1–0,5 км. Во время длительной летней межени 2025 г. (более 3 месяцев) было зафиксировано, что обе реки образовали слепые устья в 25–40 м от моря (с июня по сентябрь сток в море отсутствовал), а вода в них осолонилась. При этом на р. Каче меандрирования не отмечалось, а дистальный конец р. Бельбек, протяженностью 0,2 км, отклонялся на север. В 2024 г. на р. Бельбек с июля по октябрь также наблюдалось слепое устье.

Таким образом, колебания расхода воды напрямую влияют на изменение направления течения, перестройку рельефа берегов, а также биологическую продуктивность устьевой области реки. Без учета динамики недостаточно изученных русловых процессов в устьях рек любая долгосрочная хозяйственная деятельность в прибрежной зоне становится непредсказуемой и рискованной. Исследования позволяют перейти к превентивному управлению этими сложными территориями.

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ И АПРОБАЦИЯ БЕСПИЛОТНОГО НАДВОДНОГО АППАРАТА ДЛЯ ПРИБРЕЖНЫХ ГИДРОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**Никишин В.В., Багаев А.В. ✉, Кобылянский В.В.**

*МГИ, г. Севастополь*  
✉ [a.bagaev1984@mhi-ras.ru](mailto:a.bagaev1984@mhi-ras.ru)

**Ключевые слова:** БНА, прибрежный мониторинг, система управления, автопилот, гидрография.

Аппарат является дальнейшей модернизацией разработанного ранее в отделе гидрофизики шельфа ФГБУН ФИЦ МГИ модульного БЭК на базе серийной двухместной надувной лодки «Инзер-250» с электромотором WaterSnake SXW34/26.

Аппарат предназначен для мониторинговых и научно-исследовательских океанографических работ в прибрежной зоне, устьях рек и внутренних водоёмах, включая гидроакустическое обследование дна, батиметрическую съёмку, измерение температуры, солёности и растворённого кислорода в поверхностном слое моря. Конструктивной особенностью является модульный принцип переоборудования: на съёмный транец устанавливается электромотор с электронным румпелем, а герметичный контейнер с бортовой электроникой, аккумулятором и приёмно-передающей аппаратурой размещается внутри лодки, что позволяет быстро возвращать судну возможность экипажного управления. Планируется, что аппарат будет носителем морского магнитометра и другого специального оборудования

Основные технические характеристики: длина 2,5 м, ширина 1,2 м, осадка 0,2 м, масса в снаряжённом состоянии около 50 кг, грузоподъёмность 150 кг, максимальная скорость 5 узлов, автономность в крейсерском режиме до 6 часов, дальность управления до 10 км, телеметрия по каналу LoRa – до 2 км. Судно оборудовано автопилотом на базе микроконтроллера Atmega2560 с приёмником GPS/GLONASS и магнитным компасом, реализующим алгоритм дискретной коррекции по линейному боковому уклонению с тремя зонами реагирования: внутренний безопасный коридор до 1 м, внешний коридор 1–4 м с доворотом на 20° и зона экстренного возврата с разворотом на 90° при отклонении более 4 м, что обеспечивает максимальное отклонение фактической траектории от заданной не более 2–3 м при волнении до 0,3 м и ветре до 10 м/с. Предусмотрены: ручной режим управления с пульта 2,4 ГГц, автоматическое движение по загружаемому маршруту и специализированный режим съёмки с ограничением скорости до 2 узлов. Питание осуществляется от свинцово-кислотной аккумуляторной батареи 12 В ёмкостью 60 А·ч; время полной зарядки составляет около 6 часов.

Натурные испытания выполнены на полигоне ЧГПП в прибрежной акватории Чёрного моря в 2026 году. В ходе натурных испытаний подтверждена работоспособность управления, защита от заплеска, надёжность радиоканалов в прибрежных

условиях. Доработанное судно отличается малой осадкой, бесшумностью и низкой стоимостью комплектующих, что делает его доступным инструментом для экспедиционных работ в мелководных и труднодоступных акваториях. Полученные результаты могут быть использованы для планирования гидрографических и природоохранных мероприятий, а также для верификации моделей прибрежной динамики. Дальнейшее развитие предусматривает интеграцию дополнительных датчиков и лебёточного устройства для вертикального профилирования водной толщи.

Работы по модификации аппарата выполнены в рамках темы 60.1 ФГБУН ФИЦ МГИ.

## ЗАГРЯЗНЕНИЕ БЕРЕГОВЫМ МУСОРОМ О. ЯГРЫ

Погожева М.П.<sup>1,2,3</sup> ✉, Грант Е.М.<sup>2,4</sup>,  
Спирина В.А.<sup>2</sup>, Иванова В.А.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> МГУ, г. Москва

<sup>2</sup> ГОИН, г. Москва

<sup>3</sup> ИО РАН, г. Москва

<sup>4</sup> МГПУ, г. Москва

<sup>5</sup> ИГ РАН, г. Москва

✉ [pogojeva\\_maria@mail.ru](mailto:pogojeva_maria@mail.ru)

**Ключевые слова:** береговой мусор, пластик, загрязнение Арктики, остров Ягры, антропогенное воздействие.

Арктика отличается высокой экологической уязвимостью, которая усугубляется активным освоением морских ресурсов, работой промышленных объектов и развитием инфраструктуры и транспорта. В результате антропогенная нагрузка на арктические экосистемы неуклонно растет, приводя к их загрязнению, в том числе морским береговым мусором.

Остров Ягры расположен в Архангельской области, в юго-западной части Белого моря, у устья Северной Двины. Он отделен

от материка узким проливом и омывается водами Двинского залива. Побережье острова представлено пологими песчаными и галечными пляжами, которые особенно подвержены накоплению морского мусора.

В 2025 г. на острове Ягры проводился сбор берегового мусора по методике OSPAR. Всего собрано 159 объектов макромусора и 20 частиц мезопластика общим весом 2,49 кг (без учета автомобильной покрышки массой 11,56 кг). По материальному составу доминировал пластик, составивший 71,8% от общего количества мусора (127 предметов). Значительно реже встречались бумага (13 %, 23 предмета), металл и стекло (по 4 %, по 7 предметов каждый), деревянные отходы (3 %, 6 предметов), а также резина, керамика и санитарные отходы. Средняя плотность мусора составила 0,04 шт. на 1 м<sup>2</sup>. Чаще всего встречались частицы пластика различных категорий (категории 48, 46 и 117 по протоколу OSPAR), а также пластиковые пакеты и сигаретные окурки (категории 2, 3 и 64 по протоколу OSPAR).

Анализ категорий найденного мусора позволяет выделить несколько основных источников загрязнения. Наиболее значимым является бытовой мусор, связанный с рекреационной деятельностью посетителей пляжа: пластиковые пакеты (более 9 шт.), пищевые контейнеры (6 шт.), упаковки от снеков и напитков (25 шт.), сигаретные окурки (9 шт.) и пачки (5 шт.). Вторым важным источником выступают рыболовство и судоходство, о чем свидетельствуют фрагменты рыболовных сетей (3 шт.), канатов и веревок (2 шт.). Крупные пластиковые детали и промышленная упаковка (2 шт.) могут быть связаны как с местной хозяйственной деятельностью, так и с приносом морскими течениями. Значительную долю составляют пластиковые и пенопластовые фрагменты, происхождение которых может быть связано с разложением более крупных предметов или речным стоком из устья Северной Двины. Деревянные фрагменты (6 шт.) и предметы из иных материалов дополняют картину, указывая на возможный вынос мусора реками и его трансграничный перенос. Стекланные осколки (7 шт.), металлические предметы (7 шт.), а также единичные находки керамики и автомобильных покрышек подтверждают смешанный характер загрязнения, сочетающий

локальные следы человеческой деятельности и продукты дальнего морского переноса.

Для снижения нагрузки рекомендуются: регулярный мониторинг, уборка пляжей и акции по очистке побережий; развитие системы сбора и утилизации отходов в прибрежных посёлках; обустройство пляжной инфраструктуры для предотвращения стихийных свалок.

## **СВЯЗЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ХЛОРОФИЛЛА-А И ФИТОПЛАНКТОНА С ФРОНТАЛЬНОЙ И ВИХРЕВОЙ ДИНАМИКОЙ ВОД ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА**

**Поспелов С.С.<sup>1,2</sup> ✉, Крашенинникова С.Б.<sup>1</sup>,  
Мельников В.В.<sup>1</sup>, Чудиновских Е.С.<sup>1</sup>, Бабич С.А.<sup>3</sup>,  
Андреев Т.И.<sup>1,2</sup>, Башкирова А.Ю.<sup>1</sup>, Завьялов А.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *ИнБЮМ, г. Севастополь*

<sup>2</sup> *СевГУ, г. Севастополь*

<sup>3</sup> *МГИ, г. Севастополь*

✉ *pospelov\_stepa@ibss-ras.ru*

**Ключевые слова:** хлорофилл-*a*, фитопланктон, фронтальные зоны, вихревая динамика, Куроисио, западная часть Тихого океана.

В мае 2025 г. в западной части Тихого океана по маршруту Владивосток – Хайфон изучена связь распределения хлорофилла-*a* и фитопланктона с гидродинамической структурой акватории. Материалом послужили результаты контактных наблюдений на 29 станциях в Японском, Восточно-Китайском и Южно-Китайском морях, а также спутниковые данные и реанализы GLORYS12v1 и ERA5. Концентрацию хлорофилла-*a* определяли спектрофотометрическим методом, численность и биомассу фитопланктона определяли по спутниковым данным, таксономическую структуру – с помощью светового микроскопа. Фронтальные зоны оценивали по горизонтальным градиентам температуры и солёности.

Установлено, что пространственная структура хлорофилла-*a* и фитопланктона определяется взаимодействием субарктической зоны, переходной области фронтов, мезомасштабных вихрей и олиготрофных вод Курошио. На границах водных масс и в районах повышенной вихревой активности формируются зоны повышенных концентраций хлорофилла-*a*. Локальные апвеллинги, сдвиг течений и приток подповерхностных вод усиливают поступление биогенных веществ, обеспечивающих развитие фитопланктона. Циклонические вихри благоприятствуют развитию диатомовых водорослей, а в открытом море возрастает роль динофлагеллят, кокколитофорид и цианобактерий. Таким образом, фронтальная и вихревая динамика вод выступает одним из ключевых механизмов формирования пространственной неоднородности хлорофилла-*a* и фитопланктона в западной части Тихого океана.

Работа выполнена в рамках государственных заданий ИнБЮМ (№ 124030100137-6, 124022400148-4), МГИ (№ FNNN-2024-0014).

## **ВЫСОКОТОЧНЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИЙ ДЕФОРМОГРАФ НА ЧЕРНОМОРСКОМ ГИДРОФИЗИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ**

**Разувай Т.А.<sup>1✉</sup>, Дулов В.А.<sup>1</sup>, Чупин В.А.<sup>2</sup>,  
Латушкин А.А.<sup>1</sup>, Гармашов А.В.<sup>1</sup>, Юровский Ю.Ю.<sup>1</sup>,  
Швец В.А.<sup>2</sup>, Яковенко С.В.<sup>2</sup>, Каменев О.Т.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> МГИ, г. Севастополь

<sup>2</sup> ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток

<sup>3</sup> ИАПУ ДВО РАН, г. Владивосток

✉ razuvai\_tatyana@mail.ru

**Ключевые слова:** лазерный интерферометрический деформограф, микродеформации литосферы, морские натурные исследования, прибойная зона, сейшевые колебания, ветровые волны.

Лазерные интерференционные приборы для геофизических измерений, разработанные в ТОИ ДВО РАН, обладают беспрецедентной чувствительностью одновременно с практически неограниченным динамическим диапазоном, что позволяет регистрировать широкий круг геофизических явлений. На экспериментальном полигоне МГИ в пгт. Кацивели развернут лазерный интерферометрический комплекс, состоящий из подводного измерителя давления, установленного на океанографической платформе, и одноосного деформографа, установленного на берегу. Комплекс является элементом антенной решетки из лазерных интерференционных датчиков, распределенной по территории всей Российской Федерации, постановка которой реализуется в настоящее время в рамках проекта № 075-15-2024-642 Министерства науки и высшего образования РФ.

Лазерный деформограф в пгт. Кацивели установлен не в термостабилизированной подземной шахте, а в наземном бетонном бассейне, что приводит к суточным колебаниям его сигнала, связанным с вариациями внешней температуры. Более того, он расположен в зоне поселка городского типа с соответствующими источниками сейсмо-акустических помех. Наконец, особенностью крымского деформографа является его расположение на морском берегу практически у уреза воды. Предполагается, что это должно облегчить регистрацию деформографом именно морских сигналов, а штатные океанологические измерения со стационарной океанографической платформы должны усилить его возможности в решении конкретных научных задач. В данном сообщении представлены эти особенности крымского лазерного деформографа и обсуждены их эффекты в его сигнале. В спектре сигнала наблюдаются пики на периодах 1–2 минут, которые, возможно, вызваны сейшевыми колебаниями Голубого залива. Исследованы спектры сигнала на частотах ветровых волн 0,1–1 Гц и оценена их усредненная связь со спектрами возвышений морской поверхности, измеряемыми с платформы.

Работа выполнялась по договору ЕП-28/2026 от 27 апреля 2026 г. в рамках проекта Министерства науки и высшего образования РФ № 075-15-2024-642 «Исследование процессов и закономерностей возникновения, развития и трансформации катастрофических явлений в океанах и на континентах методами сейсмоакустического мониторинга».

## КОЛИЧЕСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРНЫХ ФРАКЦИЙ ЗООПЛАНКТОНА В ЗОНЕ ЛОФОТЕНСКОГО ВИХРЯ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Рогожкин Н.А.<sup>1,2</sup>, Мельников В.В.<sup>1</sup>, Крашенинникова С.Б.<sup>1</sup>,  
Серегин С.А.<sup>1</sup>, Попова Е.В.<sup>1</sup>, Поспелова Н.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ИнБЮМ, г. Севастополь

<sup>2</sup> СевГУ, г. Севастополь

✉ rogozhkin@ibss-ras.ru

**Ключевые слова:** Лофотенский вихрь, Норвежское море, микрозоопланктон, макрозоопланктон, гидрология, даунвеллинг.

В работе проанализировано зимнее распределение микро-, мезо- и макрозоопланктона в Лофотенском антициклоне (Норвежское море) с учетом гидрологических параметров. Материал собран в 71-м рейсе НИС «Академик Иоффе» (декабрь 2025 г.). Пробы микрозоопланктона (сеть Апштейна, слой 0–30 м) и макрозоопланктона (сеть ДжОМ, слой 0–200 м) обработаны в камере Богорова со стандартизированным подсчетом аликвот.

Выявлена выраженная пространственная неоднородность в распределении фракций. На теплой периферии вихря (температура воды до 7,3 °С) численность микрозоопланктона была максимальна и составляла 1,8–2,1 тыс. экз./м<sup>3</sup>, основу формировали науплиусы копепод и тинтиниды. В центре антициклона, где наблюдается интенсивное опускание вод (даунвеллинг), пониженная температура (5,5 °С) и высокий рН (8,14), обилие микрозоопланктона снижается до 1,2 тыс. экз./м<sup>3</sup>.

Для более крупных фракций отмечена противоположная тенденция. Максимальная численность макрозоопланктона (8596 экз./м<sup>2</sup>) зарегистрирована именно в холодном центре вихря. Основу сообщества составляли *Oithona similis* (47,2 %) и *Limacina retroversa* (22,2 %).

Расчет коэффициента Спирмена выявил отрицательную корреляцию ( $r = -0.6$ ) между обилием микро- и макрозоопланктона. Снижение численности микрозоопланктона в зоне аккумуляции



крупных гидробионтов указывает на интенсивное выедание мелких форм хищным макрозоопланктоном в ядре антициклонического вихря. Таким образом, гидрологическая динамика Лофотенского вихря выступает основным фактором, структурирующим пространственное распределение планктонного сообщества.

Работа выполнена в рамках тем госзадания ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН» № 124030100137-6 и № 124022400152-1.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ ESP32 В СТРУННЫХ ВОЛНОГРАФАХ

Розвадовский А.Ф. ✉, Юровский Ю.Ю.

*МГИ, г. Севастополь*  
✉ [rozvadovsky@yandex.ru](mailto:rozvadovsky@yandex.ru)

**Ключевые слова:** микроконтроллер ESP32, блок регистрации и обработки данных, струнный волнограф, океанографическая платформа ФГБУН ФИЦ МГИ, измерения ветровых волн, регистрация и обработка данных.

Струнный волнограф на океанографической платформе ФГБУН ФИЦ МГИ в пгт. Кацивели помимо регулярного технического обслуживания требует модернизации, перехода на новую элементную базу для стабильного функционирования, регистрации и обработки результатов измерений параметров ветровых волн.

При модернизации блока регистрации и обработки данных струнного волнографа было принято решение использовать микроконтроллеры ESP32. Данные микроконтроллеры отличаются высокой производительностью, малое энергопотребление, надежность, развитая техническая поддержка и широкий спектр поддерживаемых периферийных устройств.

С целью увеличения быстродействия входной поток данных от резистивных струн и выходной поток с обработанными данными, передаваемыми на записывающий персональный компьютер, были распараллелены между двумя ядрами микроконтроллера ESP32.

С целью увеличения дальности передачи и повышения помехоустойчивости выходного потока данных был применен интерфейс RS-485.

Применение модернизированного блока регистрации и обработки данных во время экспедиции 2025 г. показало его стабильную работу, обеспечившую непрерывную запись результатов измерений параметров ветровых волн.

Работа выполнена в рамках государственного задания FNNN-2024-0001.

## **ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИМОРСКИХ СОЛЕННЫХ ВОДОЕМОВ КРЫМА ТОКСИЧНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ С ПОМОЩЬЮ ВИДОВ-БИОИНДИКАТОРОВ**

**Руднева И.И.<sup>1✉</sup>, Котельянец Е.А.<sup>1</sup>,  
Шайда В.Г.<sup>2✉</sup>, Шайда О.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*МГИ, г. Севастополь*

<sup>2</sup>*ООО «Экосервис А», г. Москва*

✉ [svg-41@mail.ru](mailto:svg-41@mail.ru)

**Ключевые слова:** соленые озера Евпаторийской группы, гидрохимические параметры, тяжелые металлы, загрязнение, моллюски, ракообразные, морские травы.

Гиперсоленые озера представляют собой бессточные водоемы, способные накапливать значительные количества загрязнителей разного происхождения в результате их попадания с паводковыми, сточными и морскими водами, атмосферными

осадками и некоторыми видами антропогенной деятельности. Биоразнообразие соленых озер крайне ограничено по причине экстремальных условий в этих водоемах, а также в результате того, что эти экосистемы в основном расположены в аридных и субаридных географических зонах, которые характеризуются засушливым климатом, высоким испарением водоемов и колебанием физико-химических условий не только в различные сезоны, но и в пределах суток.

В работе исследовано содержание токсичных элементов  $\text{Cr}$ ,  $\text{Co}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Ni}$  и  $\text{As}$  в раковинах моллюска сердцевидки, цистах артемии и водного растения руппии из Сакского, Мойнакского и Ялы-Мойнакского озер Крыма. Показаны различия в содержании элементов у исследуемых видов, зависящие от их биодоступности, гидрохимических условий в водоемах и уровня антропогенной нагрузки. Результаты могут быть использованы для формирования мониторинговых программ для оценки экологического состояния гиперсоленых озер Крымского побережья.

## **СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ В ПРИБРЕЖНОЙ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РФ: ОТ ИДЕНТИФИКАЦИИ УГРОЗ К МИНИМИЗАЦИИ УЩЕРБОВ**

**Румянцева Е.А. ✉, Ефименко Е.А.**

*МАУ, г. Мурманск*  
✉ [rumkate@rambler.ru](mailto:rumkate@rambler.ru)

**Ключевые слова:** риск-менеджмент, прогнозирование рисков, монетарная оценка, чрезвычайные ситуации, береговая эко-социо-экономическая система, Арктика.

Арктическая зона Российской Федерации представляет собой обширную территорию с уникальным геостратегическим и экономическим значением, характеризующуюся интенсивным недропользованием и значительной техногенной нагрузкой за счет высокой концентрации промышленных мощностей.

Традиционные подходы к оценке и управлению рисками, основанные на анализе отдельных типов угроз, не позволяют в полной мере учитывать синергетические эффекты и каскадные последствия чрезвычайных ситуаций (ЧС) в условиях Арктики. Отсутствие интегрированной методологии, объединяющей анализ природных и техногенных рисков с учётом специфики прибрежных эко-социо-экономических систем, создаёт значительные пробелы в системе управления безопасностью и предотвращения ущерба.

Поэтому целью настоящего исследования является разработка комплексной системы управления рисками в Арктической зоне РФ, обеспечивающей минимизацию ущерба от техногенных и природных ЧС на основе научно обоснованной приоритизации угроз. Задачи исследования сфокусированы на создании системы ранжирования арктических угроз и разработке механизмов их минимизации посредством интеграции методов матричного анализа и монетарной оценки прогнозируемого ущерба.

Матричный метод оценки связей между источниками, факторами и объектами риска позволяет выявить наиболее критические точки воздействия в прибрежной зоне. Синтез данных из двух матриц обеспечивает переход к интегрированной оценке рисков, которая служит не только для типологизации текущих угроз, но и для обоснования выбора конкретных стратегий минимизации ущерба для уникальных экосистем и населения арктических территорий.

Важным этапом риск-ориентированного подхода является ранжирование выявленных опасностей по степени их влияния на эко-социо-экономическую стабильность. Формализация качественных характеристик угроз в количественные показатели позволяет сопоставить данные с государственными стандартами классификации бедствий. Переход к монетарной оценке последствий ЧС производится в соответствии с критериями, установленными Постановлением Правительства РФ от 21.05.2007 г. № 304 (с изменениями и дополнениями).

Определение степени опасности каждой конкретной угрозы необходимо для рационального распределения сил и средств в сложных условиях Арктики. Градация управленческих действий

в зависимости от тяжести риска позволяет не только оперативно реагировать на инциденты, но и формировать превентивную систему защиты, минимизирующую потенциальный ущерб для арктических территорий при минимальных рисках для населения.

Разработанная трёхкомпонентная структура рискового механизма (источник – фактор – объект воздействия) в сочетании с матричным методом оценки позволяет выявить критические точки уязвимости и обеспечить объективную приоритизацию угроз. Применение пятиуровневой шкалы оценивания и монетарной оценки последствий ЧС дает возможность рационально распределять управленческие ресурсы, что позволяет повысить безопасность населения и эффективность распределения бюджетных средств при ликвидации последствий аварий в Арктике.

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.

## ЭНЕРГИЯ С ГЛУБИН

Сафонов В.А. ✉, Дьяков Н.Н., Жилиев С.А.,  
Воронин П.П., Клименко А.Е.

СО ГОИН, г. Севастополь  
✉ [hydrogen18@mail.ru](mailto:hydrogen18@mail.ru)

**Ключевые слова:** энергия моря, ветроэнергетическая установка, давление, скорость, воздушный поток.

Использование энергоемких ресурсов с глубин основано на разности энергосодержания добываемых ресурсов на глубине и работы по подъему их на поверхность (уголь, нефть, газ и пр.). К числу таких энергоресурсов может относиться и сжатый на глубине воздух под действием силы тяжести и давления воздушного столба атмосферы, который, будучи поднятым на поверхность, может совершить полезную работу при расширении в атмосферу,

где давление меньше, чем на глубине. Сжатый воздух может браться со дна шахт или с поверхности земли или с глубин морей, куда воздух подается по трубе. Подача воздуха может осуществляться механическим способом, например, вентилятором. Работа вентилятора должна состоять из компенсации потерь на преодоление гидравлического сопротивления по тракту и создание скорости потока, для чего при заданной скорости следует определить динамическое давление на входе в заборный трубопровод. На выходе из подающего трубопровода установлена турбина, которая создает сопротивление (противодавление) потоку, обеспечивая повышение давления перед ней, равное давлению на дне трубопровода.

При установке труб в море для обеспечения этого давления необходимо на вентиляторе затратить энергию, равную потенциальной энергии на дне моря за минусом энергии падающего потока в заборной трубе, который выполняет положительную работу, и в подающей трубе к турбине вентилятором компенсируется разность работ по подъему потока к турбине наверху и падающего потока в заборной трубе с атмосферы. В совокупности с энергией на создание скорости в трубе, потерями трения по тракту, энергией для подъема воздуха со дна к турбине, энергией, полученной от расширения сжатого воздуха перед турбиной, будет определяться потребная мощность вентилятора.

При погружении воздухопроводов на глубину 20 м и диаметре труб 6,05 м при разности давлений в трубах 222 Па полезная электрическая мощность составит 65,17 кВт. Энерговыработка составит 563 МВт час в год.

Такое устройство будет иметь по сравнению с турбиной в открытом пространстве (КПД 45 %) КПД для турбины порядка 80 %, т. е. почти в 2 раза выше, исключит устройство рыскания; уменьшит диаметр ротора (1 м), например, по сравнению с турбиной USW-56-100 в 17 раз; уменьшит площадь станции; обеспечит непрерывное снабжение энергией потребителей; увеличит выработку энергии за год.

При заборе воздуха с шахты показано, что мощность вентилятора, затрачиваемая на подъем сжатого воздуха с глубины и

сопротивление, будет меньше мощности потока перед поверхностью, которая может быть реализована, например, на турбине.

В России имеется около 3 500 заброшенных шахт.

Для расчета взяты параметры атмосферы на глубине 2 000 м. Электрическая мощность при наличии ветра – 33,6 кВт. Энерговыработка по сравнению с ВЭУ *litenWindpower* в 12 раз больше, диаметр ротора уменьшается в 8 раз.

Сжигать топливо перед турбиной возможно, используя метан, который находится в отработанных шахтах. Мощность турбины от сжигания газа будет определяться количеством поступающего газа, которая может быть много больше мощности, получаемой за счет использования повышенного давления воздуха с глубины шахты.

Принимая КПД газовой турбины 80 %, будем иметь мощность на валу 21,3 МВт, а с учетом мощности на вентиляцию  $N_7 = 22,5$  кВт, а электрическая мощность при КПД генератора 95 % – 20,21 МВт.

## **ОЦЕНКА ПЛОЩАДИ ЗАТОПЛЕНИЯ И ДОЛГОСРОЧНАЯ ДИНАМИКА ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ЧЁРНОГО МОРЯ ПОСЛЕ РАЗРУШЕНИЯ КАХОВСКОЙ ГЭС ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВ SENTINEL-2 И LANDSAT-8/9**

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

*МГИ, г. Севастополь*

✉ *Annete08@mail.ru*

**Ключевые слова:** Sentinel-2, Landsat, NDWI, затопление, Каховская ГЭС, дельта Днестра, морфодинамика, Чёрное море, дистанционное зондирование.

Разрушение Каховской ГЭС 6 июня 2023 г. повлекло масштабное наводнение и стало крупнейшей экологической катастрофой в Европе. По различным оценкам, площадь затопления нижнего Днестра варьировала от 470 до 650 км<sup>2</sup>, однако систематического

анализа причин столь значительного расхождения до настоящего времени не проводилось. Наряду с непосредственными последствиями наводнения прорыв плотины обусловил долгосрочное изменение режима стока и осаждение взвеси в приустьевой зоне Днепра, что неизбежно сказывается на морфодинамике Кинбурнской и Тендровской кос и прибрежных акваторий Чёрного моря.

Целью настоящей работы является сравнение методов выбора критерия для индекса NDWI при определении площади водной поверхности в зоне катастрофического паводка, а также оценка долгосрочных (2022–2026 гг.) изменений морфологии береговой линии и мутности прибрежных вод Чёрного моря, обусловленных разрушением плотины.

В работе использовались снимки Sentinel-2 и Landsat-8/9 за период с января 2022 г. по настоящее время, а также данные MODIS для определения TSM прибрежных вод.

Методика включает расчёт нормализованного разностного индекса воды (NDWI) с применением трёх алгоритмов выбора критерия вода-суша – фиксированного порога, метода Оцу и адаптивного (локального) порога.

В настоящей работе рассматривается характер и масштаб изменений береговой линии в дельте Днепра и на прилегающих аккумулятивных формах. Кроме того, целью работы было установить, нормализовался ли режим прибрежной седиментации к 2025–2026 гг. или продолжается активная перестройка рельефа.

Практическая значимость работы определяется возможностью использования предложенной методики для оперативного мониторинга последствий гидрологических катастроф в зонах ограниченного наземного доступа.

Исследование было выполнено при поддержке гранта РНФ 26-17-00198 «Изучение влияния антропогенных катастроф на характеристики морской среды на основе данных спутникового дистанционного зондирования».



## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ, ИСПОЛЪЗУЕМОЙ В АВИАЦИИ, НА ВОДЫ БАССЕЙНА РЕКИ АМУР И АКВАТОРИИ ОХОТСКОГО МОРЯ**

**Темирбулатова Л.Г., Литвинов В.А.**

*Хабаровский филиал им. Б.Г. Езерского СПбГУ ГА, г. Хабаровск*

✉ *larisaya@inbox.ru*

**Ключевые слова:** Амур, противообледенительная жидкость, ПОЖ, гликоли, Охотское море, гибель рыб.

Река Амур – одна из крупнейших рек Дальнего Востока, протекающая по территории России и по границе России и КНР, впадающая в Охотское море. Её бассейн и прилегающая акватория играют ключевую роль в поддержании экологического баланса региона, обеспечивая среду обитания для множества видов флоры и фауны, а также выполняя важные социально-экономические функции: водоснабжение, рыболовство, судоходство и рекреацию.

В последние десятилетия состояние бассейна Амура и акватории Охотского моря ухудшается из-за антропогенного воздействия. Одна из новых угроз – загрязнение противообледенительными жидкостями (ПОЖ), применяемыми в авиации при обработке воздушных судов (ВС) в переходные сезоны (поздняя осень, ранняя весна). ПОЖ – водный раствор гликоля (этиленгликоля или пропиленгликоля) с добавками: тензидами, ингибиторами коррозии, красителями, загустителями (сульфоцелл, акриловая смола). Такие вещества токсичны, плохо разлагаются и негативно влияют на водные экосистемы, нарушают саморегуляцию организмов, подавляют синтез фитопланктона, накапливаются в донных отложениях и гидробионтах. Для обработки одного воздушного судна при одноступенчатой обработке тратится в среднем 150 л воды и 75 л противообледенительной жидкости I типа.

Особую опасность ПОЖ представляют для пищевых цепей: гибель бентосных организмов (например, амфипод – кормовой базы серых китов) может привести к миграции и сокращению популяции китов; накопление токсинов способно нарушать репродуктивную функцию и иммунитет животных. Под угрозой также популяция лососевых, так как компоненты ПОЖ могут вызывать гибель икринок и снижать численность рыб в бассейне Амура.

Цель работы – оценить масштабы и интенсивность загрязнения водных ресурсов компонентами ПОЖ в зоне влияния аэродрома. По данным журнала «Учет ПОЖ на аэродроме Хабаровск (Новый)», за период осень 2025 – весна 2026 года на перрон было слито 104 825 кг ПОЖ.

С юго-западной стороны от аэропорта протекает река Полежаевка: через реку Черную она впадает в Петропавловское озеро, которое системой протоков связано с Амуром. Из-за особенностей холодного периода (замерзшая почва, смешанные осадки) миграция загрязняющих веществ блокируется до весеннего таяния: гликоли и ПАВ накапливаются и затем с талыми водами попадают в водоемы. При средней скорости течения рек Полежаевка и Черная около 1 м/с вредные вещества достигают Петропавловского озера примерно за 8 часов 20 минут, а вод Амура – еще через 2–3 часа; в среднем стоки от аэродрома попадают в Амур за 10–12 часов.

При этом в весенний период температура воды не превышает 10 °С, а разложение гликолей возможно лишь при 20–25 °С, и поэтому токсичные компоненты сохраняются в растворенном виде, а ПАВ образуют на поверхности устойчивую пленку, снижая продуктивность экосистем. Учитывая низкую способность Амура и Охотского моря к самоочищению (особенно в холодное время года), компоненты ПОЖ накапливаются в гидробионтах и нарушают пищевые цепи, что подчеркивает необходимость комплексной оценки масштабов и долгосрочного воздействия такого загрязнения.

## ИЗМЕНЕНИЕ ТРОФИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ЗООБЕНТОСА КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА ПО МЕРЕ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ЕГО РАЗВИТИЯ

Терентьев А.С.

*АзНИИРХ, г. Керчь*

✉ *iskander65@bk.ru*

**Ключевые слова:** Керченский пролив, зообентос, трофическая структура, уровень развития.

Динамика плотности видов зообентоса Керченского пролива колеблется от 0 до 24 вид/0,1 м<sup>2</sup>, численность от 0 до 14600 экз./м<sup>2</sup>, а биомасса от 0 до 10055 г/м<sup>2</sup>. Таким образом, уровень развития зообентоса на различных участках акватории пролива сильно отличается. Исходя из значений плотности видов, численности и биомассы, была построена шкала уровня развития зообентоса. В нее входили 5 классов: очень высокий уровень развития, высокий, средний, низкий и очень низкий. При очень высоком уровне развития зообентоса было обнаружено 52 вида животных. Их численность в среднем равнялась 3680±880 экз./м<sup>2</sup>, при биомассе 2660±760 г/м<sup>2</sup>. При очень низком уровне развития (без учета опустыненных участков дна) видовое богатство снизилось до 14 видов. Средняя численность зообентоса уменьшилась до 32,9±4,3 экз./м<sup>2</sup>, а биомасса до 8,4±2,7 г/м<sup>2</sup>. Плотность видов уменьшилась с 10,9±1,6 вид/0,1 м<sup>2</sup> до 1,0±0,1 вид/0,1 м<sup>2</sup>.

По мере уменьшения уровня развития снижались не только значения плотности видов, численности и биомассы зообентоса, но и менялась его трофическая структура.

В трофической структуре зообентоса Керченского пролива основную роль играли сестонофаги и виды, собирающие детрит с поверхности грунта.

При очень высоком уровне развития зообентоса на долю сестонофагов приходилось 33 % видового богатства, 89–97 % численности и 97–97 % биомассы зообентоса. При среднем их доля в видовом богатстве снизилась до 27 %, в численности до 47–51 %, а в биомассе до 87–94 %. При очень низком уровне

развития доля в видовом богатстве выросла до 43 %. Численность и биомасса снизились соответственно до 29–48 и 35–59 %.

На долю видов, собирающих детрит с поверхности грунта при очень высоком уровне развития зообентоса, приходилось 35 % видового богатства, 3–7 % численности и 0,2–1,2 % биомассы. При среднем соответственно 28 %, 38–44 %, 4–6 %. При очень низком – 21 %, 19–41 % и 8–16 %.

В то же время наблюдается увеличение доли хищных видов в трофической структуре зообентоса. При очень высоком уровне развития на их долю приходилось 17 % их видового богатства, менее 1 % численности и биомассы. При среднем их доля в видовом богатстве осталась на прежнем уровне. Но численности увеличилась до 5–6 %, а по биомассе до 2–3 %. При очень низком уровне развития зообентоса доля хищников в видовом богатстве зообентоса снизилась до 14 %. Но при этом их доля в общей численности зообентоса выросла до 18–36 %, а в биомассе до 24–48 %.

Наиболее сильно от уровня развития зообентоса зависит состояние сестонофагов. Так их встречаемость на 40–42 % определяется уровнем развития зообентоса, численность на 42–44 %, а биомасса на 39–41 %. На другие трофические группы этот фактор оказывает меньшее влияние. Таким образом, снижение уровня развития зообентоса в Керченском проливе прежде всего связано с деградацией сестонофагов. При переходе от очень высокого уровня развития к очень низкому их встречаемость уменьшается с повсеместной до 29–48 %, численность с  $3430 \pm 910$  экз./м<sup>2</sup> до  $12,7 \pm 4,1$  экз./м<sup>2</sup>, а биомасса с  $2620 \pm 750$  г/м<sup>2</sup> до  $4,0 \pm 1,8$  г/м<sup>2</sup>. Детритофаги сокращаются меньшими темпами и они в основном уступают сестонофагам. При этом при высоком, среднем и низком уровне развития зообентоса достаточно часто образуются сообщества, где доминируют детритофаги. Хищники деградировали меньшими темпами. Их встречаемость снизилась с 47–72 % до 18–35 %, численность уменьшилась с  $23,9 \pm 8,3$  экз./м<sup>2</sup> до  $9,1 \pm 3,8$  экз./м<sup>2</sup>, а биомасса с  $13,4 \pm 9,4$  г/м<sup>2</sup> до  $3,0 \pm 2,3$  г/м<sup>2</sup>. В результате при очень сильном уровне развития на отдельных участках дна преобладали хищные виды в том числе падальщики. Другие трофические группы играли менее значительную роль.

## **АНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ МОРФОЛИТОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ КАЦИВЕЛИ–ПОНИЗОВКА**

**Хамицевич Н.В. ✉, Богуславский А.С.,  
Казаков С.И., Берзова И.Г.**

*МГИ, г. Севастополь*  
✉ [nadin.khamitsevich@mhi-ras.ru](mailto:nadin.khamitsevich@mhi-ras.ru)

**Ключевые слова:** Южный берег Крыма, пляжи, берегоукрепительные сооружения, литодинамика, наносы, антропогенные изменения.

На базе исторических данных, фотоматериалов, космоснимков и результатов георадарного обследования выполнена характеристика антропогенных изменений структуры литодинамических потоков «берег–море» и вдольбереговых потоков в местах берегоукрепительных сооружений и сохранившихся естественных берегов на участке Кацивели–Понизовка Южного берега Крыма. Представлены результаты наблюдений антропогенных изменений динамики естественных и искусственных пляжей участка в результате масштабного берегового строительства в 1960-е – 1980-е годы. Зафиксирована смена типа берега с аккумулятивного на абразионный в восточной части Лименской бухты и с абразионного на аккумулятивный – в ее западной части. Охарактеризованы тенденции изменений литодинамических потоков «берег–море» и вдольберегового переноса наносов в результате штормов западного и восточного ветро-волновых режимов.

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

## ФИТОГЕННЫЕ БЕРЕГА СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КРЫМА

Харитонов Л.В. ✉, Горячкин Ю.Н., Новиков Б.А.

*МГИ, г. Севастополь*

✉ [kharitonova.dntmm@gmail.com](mailto:kharitonova.dntmm@gmail.com)

**Ключевые слова:** береговая зона, Каркинитский залив, Бакальская коса, макрофиты, взморники, фитогенно-аккумулятивные берега, фитогенно-абразионные берега, ледовый режим, абразия.

В последние десятилетия в вершине Каркинитского залива Черного моря произошли изменения гидродинамического режима, вызвавшие трансформацию экологической обстановки и береговых процессов. Геоморфологически значимым фактором развития побережья северо-западного Крыма на участке от Бакальской косы до с. Портовое протяженностью около 23 км стал фитогенный фактор, связанный с массовыми выбросами в приузовую зону отмерших макрофитов.

Исследования ФГБУН ФИЦ МГИ, проводимые с 2007 г., показали, что ключевым фактором изменений стало образование промоины, отделившей дистальную часть Бакальской косы с образованием острова, что изменило гидродинамический режим акватории.

В отличие от середины XX в., когда фитогенные формы носили сезонный характер, с начала XXI в. их обширные скопления на берегу стали постоянными, сохраняясь даже в зимний период. Принципиально изменился и состав фитогенного субстрата: если ранее валы формировались из практически «чистых» отмерших листьев морских трав, то в настоящее время значительную долю в их составе составляют водоросли рода *Cladophora*, активно гниющие в воде, что приводит к цементированию выбросов, образованию сероводородного запаха и формированию береговых форм, более устойчивых к волновому воздействию.

Важную роль сыграла трансформация ледового режима: ранее залив ежегодно замерзал на срок до 76 суток, чему способствовал

сброс пресных вод Северо-Крымского канала, а весенний ледоход выносил вмерзший фитобентос в открытое море. После закрытия канала соленость в кутовой части выросла до 18–20 ‰, ледовый режим стал мягче, а объем отмершей биомассы, накапливающейся в воде и на берегу, существенно возрос.

Процессы разложения в массе спрессованных макрофитов формируют в приустьевой зоне специфические малые формы рельефа: острова, косы и гроты. Перегнивание фитобентоса с песком и глиной подготавливает субстрат для заселения галофитами и камышом, закрепляющими новые формы рельефа. На участке у с. Стерегущее, где прекратилась очистка пляжа от морской травы и водорослей, берег за последнее десятилетие выдвинулся более чем на 30 м.

На абразионных участках маты из спрессованных водорослей толщиной до 0,7 м перекрывают глинистый бенч у подножья клифа, защищая берег от волнового воздействия и уменьшая скорость абразии, которая и так снизилась после прекращения сброса вод из рисовых чеков.

Таким образом, фитогенный фактор стал определяющим в современном развитии этого участка побережья, берега которого классифицируются как комплексные фитогенно-абразионные и фитогенно-аккумулятивные.

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

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ БУХТЫ КРУГЛАЯ, Г. СЕВАСТОПОЛЬ, ЧЁРНОЕ МОРЕ**

**Харитонов Л.В. ✉, Горячкин Ю.Н., Фомин В.В.,  
Багаев А.В., Лазоренко Д.И., Новиков Б.А., Алексеев Д.В.**

*МГИ, г. Севастополь*  
✉ [kharitonova.dntmm@gmail.com](mailto:kharitonova.dntmm@gmail.com)

**Ключевые слова:** математическое моделирование, ветровые волны, течения, потоки наносов, бухта Круглая, Чёрное море.

Для бухты Круглая выполнен комплексный анализ динамики береговой зоны. В работе использованы данные натурных наблюдений (георадарные и батиметрические съёмки и фотофиксация), выполненные ФГБУН ФИЦ МГИ, архивные и современные фото-, аэро-, спутниковые снимки, батиметрические карты; проведено математическое моделирование волнения, течений, потоков наносов и динамики береговой линии (модели SWASH и GenCade).

Бухта Круглая является замкнутой литодинамической системой, источниками пляжеобразующего материала являются переработка валунных пляжей, локализующихся в основном в северной части бухты, и истирание ракуши, что дает в сумме небольшие объемы. Ранее в южной и западной частях бухты находились две песчаные пересыпи, отделявшие соленые озера. Как свидетельствует аэрофотосъемка 1941 г., песчаная пересыпь в южной части имела длину около 400 м, ширину – до 80 м. В послевоенное время пересыпь была практически полностью разобрана на строительный песок, а озеро превратилось в мелководную (около 0,5 м) кутовую часть бухты. Еще в середине 90-х гг. XX в. здесь сохранялась часть пересыпи с пляжем. В нулевых годах XXI в. пляж был уничтожен, прямо на урезе под видом рыболовных боксов были построены апартаменты. В настоящее время на урезе для защиты апартаментов выполнена каменная наброска из крупных валунов, покрытая сверху строительным мусором. На месте пересыпи существует песчаная отмель, песок с которой эпизодически используется для пополнения пляжа. Природные фракции мелко- и среднезернистого песка сохранились преимущественно в северной и южной частях пляжа. Центральная часть, на которой ещё в 80-х гг. прошлого века существовал песчаный пляж шириной до 30 м, в настоящее время подвергается интенсивной абразии, наблюдается образование уступа размыва в коренных породах. В приурезовой зоне наблюдается дефицит песка, преобладают валуны и крупная галька. Реконструкция положения береговой линии и рельефа береговой зоны, существовавшей ранее пересыпи позволила



оценить объём материала, поступившего в кутовую часть после прорыва пересыпи.

С использованием модели SWASH выполнено моделирование волнения, течений и потоков наносов для трёх сценариев: современная ситуация, без молов и с существовавшей ранее пересыпью. На основе модели GenCade выполнено моделирование динамики береговой линии с применением реанализа волнения за 46-летний период. Оценены эффективность существующих и предлагаемых гидротехнических сооружений, а также объёмы необходимой подсыпки материала.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке инженерных решений по стабилизации береговой линии и восстановлению рекреационных свойств пляжей.

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

## **СИСТЕМА ДЛЯ ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ГИДРОБИОНТОВ**

**Шайда О.В.<sup>1</sup>, Руднева И.И.<sup>1</sup>✉, Шайда В.Г.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*МГИ, г. Севастополь*

<sup>2</sup>*ООО Экосервис А, г. Москва*

✉ [svg-41@mail.ru](mailto:svg-41@mail.ru)

**Ключевые слова:** морские гидробионты, экотоксикология, установка замкнутого цикла, культивирование.

В настоящее время в морскую среду попадают различные загрязнители антропогенного происхождения, многие из которых проявляют токсичность и тем самым могут нанести существенный вред экосистемам и их обитателям. В связи с этим существует необходимость исследования их поведения в водной среде и оценки возможного токсичного действия на живые организмы. Таким образом, разработка новых простых конструкций для экотоксикологических исследований морских гидробионтов

остается важной и актуальной проблемой. Сконструированная аквариумная установка предназначена для проведения экотоксикологических работ и культивирования тест-объектов. Установка объединяет три аквариума объемом по 23 литра, которые расположены на трех уровнях (полках) по вертикали на расстоянии 40 см друг над другом. Это позволяет сократить количество насосов проточной жидкости (морской воды). В нижней емкости установлен насос, который через гибкий шланг подает жидкость в емкость, установленную на верхнем уровне. Жидкость самотеком через гибкий шланг оттока поступает в среднюю емкость (где размещаются тест-объекты). Далее через шланг оттока из средней емкости жидкость самотеком возвращается в первую емкость, что обеспечивает ее непрерывную циркуляцию. Кроме того, на гибких шлангах подачи/оттока жидкости установлены краны для точной регулировки напора жидкости, что позволяет сбалансировать систему и выбрать необходимые параметры ее функционирования.

## **ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН ДЛЯ ВС РФ**

**Шкаберда О.А.<sup>1,2✉</sup>, Ефимов И.Г.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ВИТ «ЭРА», г. Анапа

<sup>2</sup> МГИ, г. Севастополь

✉ [olg3213@yandex.ru](mailto:olg3213@yandex.ru)

**Ключевые слова:** визуализация, прогноз, обработка, интерфейс, анимация, *GRIB2*.

Оперативная и достоверная гидрометеорологическая информация (ГМИ) критически важна для ВС РФ. Точность метеорологических прогнозов напрямую влияет на эффективность применения вооружения, военной и специальной техники.

Гражданские системы визуализации ГМИ не соответствуют специализированным требованиям военных информационных систем из-за несовместимости с отечественными стандартами и низкого уровня информационной безопасности.

Цель – разработка программного комплекса (ПК) визуализации прогностической ГМИ, адаптированной к потребностям ВС РФ.

В рамках исследования для преобразования исходных данных в непрерывные пространственные поля применялись методы пространственной интерполяции – билинейная, кригинг, модифицированный метод Шепарда и алгоритм *marching squares*. Достоверность полученных результатов оценивалась посредством кросс-валидации с расчетом стандартных метрик точности: среднеквадратичной ошибки, средней абсолютной ошибки и коэффициента детерминации. Для проверки функциональной работоспособности и совместимости разработанного ПК проводилось интеграционное тестирование на реальных прогностических гидрометеорологических данных. Дополнительно выполнялось сравнение результатов работы ПК с эталонными системами обработки визуализации данных (*GrADS*, *Panoply*), при этом расхождения оставались в пределах допустимых погрешностей. Оптимизация производительности системы достигалась за счет внедрения ряда технических решений: механизмов *debounce* и *throttle* для снижения частоты избыточных операций, кэширования промежуточных результатов и прогрессивного рендеринга – что позволило обеспечить высокую скорость отклика и эффективное использование вычислительных ресурсов.

В результате работы создан ПК с модульной архитектурой, включающей фронтенд- и бэкенд-компоненты, что обеспечивает гибкость настройки и масштабируемость решения. Комплекс поддерживает формат данных *GRIB2* – международный стандарт Всемирной метеорологической организации и оснащен *REST API*-интерфейсом с механизмами аутентификации, фильтрации и пагинации для безопасного и удобного взаимодействия с внешними системами. В состав ПК интегрированы специализированные алгоритмы обработки данных: интерполяции для

пространственного представления гидрометеорологических величин (ГМВ), цветовой кодировки параметров для наглядного отображения значений и генерации анимаций атмосферных потоков, позволяющих визуализировать динамику метеорологических процессов. Кроме того, реализована интеграция с картографическими подложками на базе *OpenStreetMap* и топографическими данными, что дает возможность сопоставлять прогностическую ГМИ с географическим контекстом. Прототип пользовательского интерфейса предоставляет функционал для отображения слоев ГМВ, анимации воздушных масс и всплывающих подсказок с детализированной информацией, обеспечивая тем самым интуитивно понятный и информативный инструмент для анализа гидрометеорологических данных.

Разработанный ПК демонстрирует высокую производительность и масштабируемость архитектуры: скорость отклика интерфейса составляет не более 200 мс даже при работе с большими массивами данных — в том числе с наборами, включающими до 112 временных срезов.

ПК готов к интеграции в отечественные системы мониторинга и прогностические комплексы, что подтверждается его совместимостью с действующими стандартами и инфраструктурой. На сегодняшний день ПК развернут в сети Министерства обороны и обработанные данные отечественной оперативно-прогностической модели ПЛАВ МО транслируются в непрерывном доступе для ВС РФ.

Работа выполнена в рамках СЧ НИР «Исследование вопросов разработки и экспериментальной проверки макета программного комплекса визуализации прогностических гидрометеорологических величин» в интересах Гидрометеорологической службы ВС РФ.

## ПОСТОБРАБОТКА ГНСС-ИЗМЕРЕНИЙ В ПРИЛОЖЕНИИ К ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИМ ЗАДАЧАМ

Юровский Ю.Ю.<sup>1✉</sup>, Панов Д.К.<sup>2</sup>, Дронов М.П.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*МГИ, г. Севастополь*

<sup>2</sup>*МФТИ, г. Долгопрудный*

<sup>3</sup>*МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва*

✉ [y.yurovsky@mhi-ras.ru](mailto:y.yurovsky@mhi-ras.ru)

**Ключевые слова:** поверхностные волны, течения, буй, измерения, инерциальный датчик, ГНСС.

Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) широко применяются в океанографии благодаря возможности определения координат приёмной антенны с точностью до метров, что востребовано, в первую очередь, при отслеживании дрейфующих зондов и приборов. Кроме того, измерение доплеровской скорости антенны относительно спутников и земной поверхности позволяет использовать ГНСС-датчики в волноизмерительных буях, использующих вертикальную скорость корпуса буя как основной источник информации о волнении.

Большинство ГНСС-приёмников оснащены встроенным процессором, выдающим в реальном времени навигационное решение по координатам и, опционально, по скоростям. Однако алгоритмы внутрипроцессорной обработки обычно не раскрываются производителями, поэтому разные модели в идентичных условиях могут давать несовпадающие результаты, особенно при затенении спутников и помехах, что вносит определенную субъективность в выбор датчика.

Альтернативой служит постобработка исходных ГНСС данных: псевдодальностей, доплеровских скоростей и эфемерид видимых спутников. Это позволяет сохранить максимум информации, отфильтровать выбросы, использовать уточнённые сведения о движении спутников и полностью контролировать вычисления, что повышает точность оценки координат и скоростей и даёт доступ к дополнительным параметрам.

В работе представлены результаты эксперимента на НИС «Профессор Молчанов» в Баренцевом море в июле 2026 г. Сбор данных велся с помощью четырёх пространственно разнесённых ГНСС-приёмников: три U-blox LEA-M8T с активными антеннами в составе волноизмерительных буюв и один U-blox NEO-M8T с антенной на пеленгаторной палубе.

Рассматриваются методы постобработки исходных ГНСС-данных: сопоставление штатного решения датчика с решением, полученным с помощью программного обеспечения с открытым исходным кодом (RTKLIB), анализ улучшения качества при использовании уточнённых эфемерид, а также влияние того или иного способа обработки на оценки волновых параметров и течений. В специальных тестах один из буюв размещался на суше как опорная станция, что позволяет существенно повысить точность и, используя общий спутниковый набор для подвижного и неподвижного датчиков, получать не только уточнённые характеристики волнения, но и оценку уровня моря.

Применение нескольких приёмников на корпусе судна (с постоянной базой длиной  $\sim 10$  м) обеспечивает высокоточное определение курсового угла судна независимо от скорости хода, в том числе в дрейфе и на якорных стоянках. Показано, что эта информация критична для дистанционного оценивания течений (например, по радиолокационным или оптическим данным), поскольку даже малые погрешности в угловой скорости судна вызывают недопустимые ошибки на больших удалениях от носителя (ошибка скорости пропорциональна произведению неучтенной угловой скорости судна и дальности).

Работа выполнена по результатам экспедиции «Арктический Плавающий университет» в рамках Всероссийской научно-образовательной программы «Плавающий университет» (соглашение № 075-03-2025-662/8) при поддержке Госзадания МГИ FNNN-2024-0001.

## 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.

**АО «Морские неакустические комплексы и системы»**, г. Санкт-Петербург.

**ВИТ «ЭРА»** – Федеральное государственное автономное учреждение «Военный инновационный технополис ЭРА», г. Анапа.

**ВНИИГМИ-МЦД** – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных», г. Обнинск.

**ВНИРО** – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», г. Москва.

**ГОИН** – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова», г. Москва.

**ДальНИИВХ** – Дальневосточный филиал ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», г. Владивосток.

**ДВФУ** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный федеральный университет», г. Владивосток.

**ИАПУ ДВО РАН** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматизации и процессов

управления Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Владивосток.

**ИГ РАН** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт географии Российской академии наук, г. Москва.

**ИнБИОМ** – Государственный научный центр Российской Федерации Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей 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.

**Крымское УГМС** – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Крымское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», 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.

**ММБИ** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Мурманский морской биологический институт Российской академии наук», г. Мурманск.

**МФТИ** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», г. Долгопрудный.

**НИИ «АЭРОКОСМОС»** – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт аэрокосмического мониторинга «АЭРОКОСМОС» Министерства науки и высшего образования и Российской Федерации под научно-методическим руководством Российской академии наук», г. Москва.

**НИЦ ПСГ – филиал ФИЦ ИнБЮМ** – Научно-исследовательский центр пресноводной и солоноватоводной гидробиологии – филиал Государственного научного центра Российской Федерации Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь.

**НПО «Тайфун»** – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-производственное объединение „Тайфун“», г. Обнинск.

**ООО «Марлин-Юг»**, г. Севастополь.

**ООО «Экосервис А»**, г. Москва.

**ПИНРО им. Н. М. Книповича** – Полярный филиал им. Н.М. Книповича Государственного научного центра Российской Федерации Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», г. Мурманск.

**РГГМУ** – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург.

**СГУ** – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение Высшего образования «Сочинский государственный университет», г. Сочи.

**Севастопольский центр туризма, краеведения, спорта и экскурсий** – 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.

**СПбПУ** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург.

**СПЛ** – Государственное бюджетное образовательное учреждение города Севастополя «Севастопольский политехнический лицей», г. Севастополь.

**СОШ № 4** – Государственное бюджетное образовательное учреждение города Севастополя «Средняя общеобразовательная школа № 4 имени А.Н. Кесаева», г. Севастополь.

**СОШ № 22** – Государственное бюджетное образовательное учреждение города Севастополя «Средняя общеобразовательная школа № 22 имени Н.А. Острякова», г. Севастополь.

**СОШ № 45** – Государственное бюджетное образовательное учреждение города Севастополя «Средняя общеобразовательная школа № 45 с углублённым изучением испанского языка им. В. И. Соколова», г. Севастополь.

**ТОИ ДВО РАН** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук», г. Владивосток.

**Университет Бергена**, г. Берген, Норвегия.

**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.

**ФИЦ ИУ РАН** – Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, г. Москва.

**Хабаровский филиал им. Б.Г. Езерского СПбГУ ГА** – Хабаровский филиал имени Б.Г. Езерского Федерального государственного бюджетного образовательного

учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А.А. Новикова», г. Хабаровск.

**Херсонес Таврический** – Федеральное Государственное Бюджетное Учреждение Культуры «Государственный Историко-Археологический Музей-Заповедник «Херсонес Таврический», г. Севастополь.

**ЮНЦ РАН** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук», г. Ростов-на-Дону.

**280 ЦКП ВМФ** – Федеральное государственное учреждение «280 Центральное картографическое производство военно-морского флота», г. Санкт-Петербург.

## АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

|                        |                   |
|------------------------|-------------------|
| Алексеев Д.В. ....     | 149, 238          |
| Алексеева Е.Е. ....    | 155               |
| Алескерова А.А. ....   | 87, 172, 230      |
| Андреев Т.И. ....      | 220               |
| Анисимов И.М. ....     | 196               |
| Анкудинов Н.О. ....    | 98                |
| Антоненков Д.А. ....   | 157               |
| Артамонова К.В. ....   | 27                |
| Бабич С.А. ....        | 220               |
| Багаев А.В. ....       | 29, 158, 216, 238 |
| Баженова Е.С. ....     | 30                |
| Бакуева Я.И. ....      | 32, 33            |
| Барабанов В.С. ....    | 100               |
| Баталкина С.А. ....    | 19                |
| Башкирова А.Ю. ....    | 220               |
| Баянкина Т.М. ....     | 42                |
| Безгин А.А. ....       | 199               |
| Белокопытов В.Н. ....  | 101, 151          |
| Белоненко Т.В. ....    | 49, 85            |
| Берзова И.Г. ....      | 236               |
| Бетке И.А. ....        | 55                |
| Богуславский А.С. .... | 89, 236           |
| Большаинов Д.Ю. ....   | 160               |
| Бондур В.Г. ....       | 34                |
| Бортин Н.Н. ....       | 162, 164          |
| Букатов А.А. ....      | 167               |
| Булыгин А.М. ....      | 19, 173           |
| Вареник А.В. ....      | 169               |
| Васечкина Е.Ф. ....    | 170               |
| Василевская Л.Н. ....  | 162               |
| Василевский Д.Н. ....  | 162               |
| Василенко Н.В. ....    | 83, 172, 230      |
| Вахонеев В.В. ....     | 167               |
| Вержевская Л.В. ....   | 158               |
| Вецало М.П. ....       | 113               |

|                          |                  |
|--------------------------|------------------|
| Вишнев О.Г. ....         | 173              |
| Воронин П.П. ....        | 228              |
| Воронцов А.А. ....       | 19, 173          |
| Вязилов А.Е. ....        | 35               |
| Вязилова Н.А. ....       | 35               |
| Гаврилов Ю.Г. ....       | 37               |
| Гайский П.В. ....        | 57, 78, 175, 176 |
| Гангнус И.А. ....        | 27               |
| Гармашов А.В. ....       | 221              |
| Георга-Копулос А.А. .... | 102, 121         |
| Герасимов В.В. ....      | 52               |
| Гибадуллина А.И. ....    | 39               |
| Глазунов В.В. ....       | 167              |
| Глухов Л.А. ....         | 108, 126         |
| Годин Е.А. ....          | 19               |
| Горелиц О.В. ....        | 54               |
| Горчаков А.М. ....       | 164              |
| Горячкин Ю.Н. ....       | 179, 237, 238    |
| Грант Е.М. ....          | 218              |
| Григоренко К.С. ....     | 21               |
| Григорьев А.Г. ....      | 177              |
| Григорьев П.А. ....      | 41               |
| Гуров К.И. ....          | 169, 192         |
| Давидович А.Р. ....      | 176              |
| Данова Т.Е. ....         | 42               |
| Даньшина А.В. ....       | 81               |
| Демидов А.Н. ....        | 210              |
| Дёмин А.Е. ....          | 197              |
| Демышев С.Г. ....        | 109              |
| Дианский Н.А. ....       | 147              |
| Добродий В.А. ....       | 51               |
| Довгая С.В. ....         | 104              |
| Долотов В.В. ....        | 179              |
| Дорофеев В.Л. ....       | 106              |
| Дронов М.П. ....         | 73, 181, 244     |
| Дулов В.А. ....          | 34, 41, 119, 221 |
| Дымова О.А. ....         | 108              |
| Дьяков Н.Н. ....         | 183, 207, 228    |

|                               |                      |
|-------------------------------|----------------------|
| Евстигнеева Н.А. ....         | 109                  |
| Ерёмина Е.С. ....             | 46                   |
| Еркушов В.Ю. ....             | 183, 207             |
| Ефименко Е.А. ....            | 226                  |
| Ефимов В.В. ....              | 153                  |
| Ефимов И.Г. ....              | 241                  |
| Ефимова М.А. ....             | 185                  |
| Ефремова Т.В. ....            | 179                  |
| Жидкова Л.Б. ....             | 183                  |
| Жиляев С.А. ....              | 228                  |
| Жихарь Я.М. ....              | 48                   |
| Жмур В.В. ....                | 49                   |
| Жохова Н.В. ....              | 207                  |
| Жук В.Р. ....                 | 48, 51, 65, 124      |
| Жук Е.В. ....                 | 101, 111, 113        |
| Заболотских Е.В. ....         | 64                   |
| Завьялов А.В. ....            | 220                  |
| Задорожный-Ремарчук Е.Е. .... | 167                  |
| Зацепин А.Г. ....             | 52                   |
| Землянов И.В. ....            | 54                   |
| Иванов В.В. ....              | 22, 27, 142          |
| Иванова В.А. ....             | 218                  |
| Иванча Е.В. ....              | 149                  |
| Ившин В.А. ....               | 139                  |
| Ильяшенко Е.Ф. ....           | 54                   |
| Ингеров А.В. ....             | 19                   |
| Казаков Д.А. ....             | 114, 189             |
| Казаков С.И. ....             | 89, 236              |
| Казакова У.А. ....            | 187                  |
| Каменев О.Т. ....             | 119, 221             |
| Карпелянский А.О. ....        | 113                  |
| Керимов А.А. ....             | 194                  |
| Клименко А.Е. ....            | 228                  |
| Кобылянский В.В. ....         | 216                  |
| Ковалев С.М. ....             | 22                   |
| Козлов И.Е. ....              | 32, 55, 57, 115, 176 |
| Козуб В.А. ....               | 34                   |
| Копышов И.О. ....             | 55, 57, 176          |

|                          |                                     |
|--------------------------|-------------------------------------|
| Коржуев В.А. ....        | 57, 115, 189                        |
| Кориненко А.Е. ....      | 41                                  |
| Коробейников А.А. ....   | 197                                 |
| Коротаев Г.К. ....       | 101, 151                            |
| Корчёмкина Е.Н. ....     | 66                                  |
| Коршенко А.Н. ....       | 207                                 |
| Котельянец Е.А. ....     | 191, 225                            |
| Кочергин В.С. ....       | 118                                 |
| Кочергин С.В. ....       | 118                                 |
| Краевская Н.Ю. ....      | 119                                 |
| Красильников Д.С. ....   | 49                                  |
| Крашенинникова С.Б. .... | 220, 223                            |
| Кременчуцкий Д.А. ....   | 192                                 |
| Кременчуцкий Д.В. ....   | 121                                 |
| Кубряков А.А. ....       | 33, 65, 78, 115, 121, 123, 124, 197 |
| Кубрякова Е.А. ....      | 33, 123                             |
| Кудинов О.Б. ....        | 194                                 |
| Кузнецов А.С. ....       | 58                                  |
| Кузьмичёва Т.Ф. ....     | 59                                  |
| Лазоренко Д.И. ....      | 29, 149, 238                        |
| Латушкин А.А. ....       | 221                                 |
| Лахно О.В. ....          | 196                                 |
| Лелеко Н.А. ....         | 197                                 |
| Лемешко Е.Е. ....        | 61                                  |
| Лемешко Е.М. ....        | 61, 152                             |
| Лисина И.А. ....         | 162                                 |
| Литвинов В.А. ....       | 232                                 |
| Лишаев П.Н. ....         | 123                                 |
| Логачёв В.Н. ....        | 62                                  |
| Лукьянова О.Н. ....      | 27                                  |
| Лунев Е.Г. ....          | 199                                 |
| Лысенко В.И. ....        | 201                                 |
| Львова Е.В. ....         | 64                                  |
| Люберец Е.П. ....        | 199                                 |
| Май Р.И. ....            | 37                                  |
| Майборода С.А. ....      | 89                                  |
| Макаров А.С. ....        | 160                                 |
| Макаров К.Н. ....        | 203                                 |



|                    |                        |
|--------------------|------------------------|
| Мамчур Н.Л.        | 137                    |
| Манилюк Ю.В.       | 29, 104                |
| Манько А.А.        | 51, 65, 124            |
| Маньковская Е.В.   | 66, 67                 |
| Маркова В.С.       | 205                    |
| Маркова Н.В.       | 126                    |
| Марьина А.А.       | 62                     |
| Матвеева И.С.      | 207                    |
| Матишов Г.Г.       | 21                     |
| Медведев Е.В.      | 213                    |
| Медведева А.В.     | 83                     |
| Мезенцева И.В.     | 209                    |
| Мельников В.В.     | 220, 223               |
| Метик-Дионова В.В. | 89                     |
| Мизюк А.И.         | 65, 113, 121, 124, 137 |
| Миньковская Р.Я.   | 210                    |
| Михайличенко С.Ю.  | 128                    |
| Молчанов М.С.      | 32                     |
| Монаков И.Р.       | 197                    |
| Морозов А.Н.       | 55, 67                 |
| Морозов Е.А.       | 69                     |
| Морозова О.А.      | 37                     |
| Мукосеев И.Н.      | 213                    |
| Мурынин А.Б.       | 34                     |
| Наривончик С.В.    | 215                    |
| Наumenко И.П.      | 170                    |
| Нефедова Г.И.      | 19                     |
| Никишин В.В.       | 216                    |
| Новиков Б.А.       | 237, 238               |
| Новицкая В.П.      | 70                     |
| Новицкий А.В.      | 70, 71                 |
| Нуриев С.А.        | 70                     |
| Онищенко Н.С.      | 130                    |
| Орехова Н.А.       | 23                     |
| Осадчиев А.А.      | 30                     |
| Остроумов Л.В.     | 199                    |
| Павлушин А.А.      | 132                    |
| Павлушин В.А.      | 72                     |

|                                   |              |
|-----------------------------------|--------------|
| Панов Д.К. ....                   | 73, 181, 244 |
| Петренко В.И. ....                | 51, 133      |
| Петренко Л.А. ....                | 75, 80       |
| Погожева М.П. ....                | 218          |
| Погребной А.Е. ....               | 134          |
| Покидайло С.Л. ....               | 199          |
| Полозок А.А. ....                 | 76           |
| Полозок П.В. ....                 | 76           |
| Полухин А.А. ....                 | 187          |
| Попова Е.В. ....                  | 223          |
| Поспелов С.С. <sup>1,2</sup> .... | 220          |
| Поспелова Н.В. ....               | 205, 223     |
| Правкин С.А. ....                 | 160          |
| Приймак А.С. ....                 | 205          |
| Пузина О.С. ....                  | 136          |
| Разувай Т.А. ....                 | 221          |
| Ратнер Ю.Б. ....                  | 137          |
| Ревина А.Д. ....                  | 81           |
| Репина И.А. ....                  | 25           |
| Рогожкин Н.А. ....                | 223          |
| Розвадовский А.Ф. ....            | 224          |
| Рубакина В.А. ....                | 78           |
| Руднев В.И. ....                  | 87           |
| Руднева И.И. ....                 | 225, 240     |
| Румянцев К.А. ....                | 62           |
| Румянцева Е.А. ....               | 226          |
| Рябцев Ю.Н. ....                  | 152          |
| Саенко Н.Е. ....                  | 139          |
| Сафонов В.А. ....                 | 228          |
| Светличный А.С. ....              | 62           |
| Серегин С.А. ....                 | 223          |
| Симонова Ю.В. ....                | 78           |
| Ситак Н.П. ....                   | 51, 80       |
| Слепышев А.А. ....                | 98, 141      |
| Смирнов А.В. ....                 | 142          |
| Смоляницкий В.М. ....             | 81           |
| Совга Е.Е. ....                   | 209          |
| Соколихина Н.Н. ....              | 39           |

|                         |                             |
|-------------------------|-----------------------------|
| Соколов А.А. ....       | 142                         |
| Спирина В.А. ....       | 218                         |
| Станичный С.В. ....     | 46, 83, 87, 121, 172, 230   |
| Сумкина А.А. ....       | 27                          |
| Сухих Л.И. ....         | 106                         |
| Сушкевич Т.А. ....      | 144                         |
| Темирбулатова Л.Г. .... | 232                         |
| Терентьев А.С. ....     | 234                         |
| Толстошеев А.П. ....    | 199                         |
| Торгунова Н.И. ....     | 27                          |
| Травкин В.С. ....       | 49, 85                      |
| Трофимова А.А. ....     | 141                         |
| Тюлькин Р.В. ....       | 147                         |
| Фёдоров А.А. ....       | 139                         |
| Федоров С.В. ....       | 87                          |
| Фер И. ....             | 55                          |
| Фильчук К.В. ....       | 22                          |
| Фомин В.В. ....         | 104, 147, 149, 238          |
| Фомин Ю.В. ....         | 49                          |
| Фомина И.Н. ....        | 76                          |
| Хамицевич Н.В. ....     | 89, 236                     |
| Харитонов Л.В. ....     | 87, 128, 149, 172, 237, 238 |
| Хмара Т.В. ....         | 209                         |
| Холод А.Л. ....         | 113, 121, 137, 151          |
| Хотченков С.В. ....     | 37                          |
| Цыганова М.В. ....      | 152                         |
| Чересов А.А. ....       | 91                          |
| Чечин Д.Г. ....         | 25                          |
| Чудиновских Е.С. ....   | 220                         |
| Чупин В.А. ....         | 221                         |
| Чухарев А.М. ....       | 189                         |
| Шайда В.Г. ....         | 225, 240                    |
| Шайда О.В. ....         | 225, 240                    |
| Швец В.А. ....          | 221                         |
| Шик Н.В. ....           | 201                         |
| Шкаберда О.А. ....      | 91, 241                     |
| Шокуров М.В. ....       | 119, 130                    |
| Шукало Д.М. ....        | 96                          |

|                    |                                          |
|--------------------|------------------------------------------|
| Шульга Т.Я.....    | 96                                       |
| Шутов С.А.....     | 57, 176                                  |
| Щука А.С.....      | 27                                       |
| Юровский Ю.Ю.....  | 29, 34, 73, 119, 155, 181, 221, 224, 244 |
| Яковенко С.В. .... | 221                                      |
| Яровая Д.А. ....   | 153                                      |

*Научное издание*

**МОРЯ РОССИИ: СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ,  
ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ,  
ЭКОНОМИКА ДАННЫХ**

Тезисы докладов

X Всероссийской научной конференции

(Севастополь, 21–25 сентября 2026 г.)

Дизайн обложки *А. В. Дулова*

Верстка *Л. В. Вержевской*

Подписано в печать 15.09.2026. Формат 60×84 1/6. Тираж 150 экз.

Заказ 14.

---

Отпечатано в типографии СРОО «Дом солнца»  
299020, Севастополь, ул. Хрусталева, 143, тел. +(8692) 65-60-11.