

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**РОССИЙСКИЙ ФОНД
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



Российская Академия Наук



РОССИЙСКИЙ ФОНД
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ
ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**МОРЯ РОССИИ:
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И
ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**



**г. Севастополь
23–28 сентября 2019 г.**

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**РОССИЙСКИЙ ФОНД
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ
ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**МОРЯ РОССИИ:
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И
ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

**г. Севастополь
23–28 сентября 2019 г.**

Моря России: фундаментальные и прикладные исследования
/ Тезисы докладов всероссийской научной конференции. – г. Севастополь, 23–28 сентября 2019 г. – Севастополь: ФГБУН ФИЦ МГИ, 2019. – 411 с.
ISBN 978-5-9908460-9-8

В сборнике представлены тезисы докладов научной конференции «Моря России: фундаментальные и прикладные исследования». Целью конференции является анализ современного уровня изученности природных процессов и антропогенного воздействия в морях России, обсуждение ключевых направлений исследований и разработок, обеспечивающих научно-техническое развитие морского сектора экономики России, технологическую и экологическую безопасность природопользования.

Всероссийская научная конференция «Моря России: фундаментальные и прикладные исследования» проводится при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках проекта №19-05-20074 Научные мероприятия 2019 и Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Редколлегия: чл.-корр. РАН, д. геогр. н. *Коновалов С.К.*;
д. геогр. н. *Васечкина Е.Ф.*;
д. ф.-м. н. *Кубряков А.И.*;
к. ф.-м. н. *Алексеев Д.В.*;
к. ф.-м. н. *Анисимов А.Е.*;
к. ф.-м. н. *Багаев А.В.*;
к. ф.-м. н. *Букатов А.А.*;
к. геогр. н. *Орехова Н.А.*;
к. т. н. *Федоров С.В.*;
Вержевская Л.В.;
Пастухова М.П.;
Хмара Т.В.

© Коллектив авторов, 2019
© ФГБУН ФИЦ МГИ, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

<i>Дианский Н.А.</i> Модель морской циркуляции INMOM (Institute of Numerical Mathematics Ocean Model). Исследование климата и решение прикладных задач.....	24
<i>Долгих Г.И., Гусев Е.С., Будрин С.С., Долгих С.Г., Чупин В.А.</i> Атмосферные и морские опасные природные явления: фундаментальные и прикладные аспекты	28
<i>Долгих Г.И., Чупин В.А., Будрин С.С.</i> Томографические исследования шельфовых зон	30
<i>Филатов Н.Н., Дружинин П.В., Менишуткин В.В.</i> Белое море и водосбор: состояние и изменения социо-эколого-экономических процессов.....	32
<i>Фролов И.Е., Иванов В.В., Фильчук К.В.</i> Предварительные результаты экспедиции «Трансарктика 2019» (1 этап), НЭС «Академик Трешников».....	34

СЕКЦИЯ 1

«ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ И ЭВОЛЮЦИИ МОРСКОЙ СРЕДЫ»

<i>Артамонова К.В., Демидов А.Н.</i> Гидролого-гидрохимические условия глубинных вод Гданьской котловины Балтийского моря	36
<i>Архипкин В.С., Иванов В.В.</i> Особенности стерических колебаний уровня моря в Баренцевом море.....	37
<i>Базыкина А.Ю., Фомин В.В.</i> Оценки амплитудных характеристик наката волн цунами в прибрежной зоне Черного моря.....	39

<i>Башмачников И.Л., Белоненко Т.В., Куйбин П.А.</i> Связь горизонтальной и вертикальной циркуляции в подповерхностном Лофотенском вихре.....	40
<i>Бежин Н.А., Довгий И.И., Выдыш А.А., Янковская В.С.</i> Селективное извлечение ^{210}Pb из морской воды сорбентами импрегнированного типа	42
<i>Букатов А.А.</i> Распространение нелинейных волн в жидкости с плавающим ледовым покровом.....	43
<i>Букатов А.А., Соловей Н.М., Павленко Е.А.</i> Дисперсионные свойства свободных короткопериодных внутренних волн в Баренцевом и Карском морях.....	44
<i>Булатов В.В., Владимиров Ю.В.</i> Нестационарные режимы генерации внутренних и поверхностных гравитационных волн в океане.....	45
<i>Бурдина Е.И., Баскакова Т.Е.</i> Особенности гидрохимического режима северо-восточной акватории Черного моря в 2018 г.....	47
<i>Буфетова М.В.</i> Оценка содержания меди и цинка в воде и донных отложениях Азовского моря.....	49
<i>Вареник А.В., Калинин Д.В., Мыслина М.А., Хоружий Д.С.</i> Изменение содержания биогенных элементов в поверхностном слое морской воды после выпадения атмосферных осадков.....	51
<i>Вержевская Л.В., Медведева А.В., Багаев А.В., Шульга Т.Я., Пластун Т.В., Свищева И.А., Иванов В.А., Жук Е.В.</i> Веб-атлас наблюдений за проявлениями внутренних волн на шельфе Крыма и результатов их моделирования.....	52
<i>Видничук А.В., Кондратьев С.И.</i> Анализ состояния субкислородной зоны Черного моря по экспедиционным данным 2018 г.	54
<i>Вязилова Н.А.</i> О районах генезиса циклонов, выходящих на европейскую территорию России	56

<i>Головизнин В.М., Горчаков А.Ю., Залесный В.Б., Майоров Павел А., Майоров Петр А., Семенов Е.В., Соловьев А.В.</i> Численная модель для решения уравнений геофизической гидродинамики, использующая новый класс консервативных разностных схем, сохраняющих момент импульса на расчетных сетках	58
<i>Григоренко К.С., Хартиев С.М.</i> О распределении вертикальной составляющей скорости внутренних волн в северных морях	61
<i>Григорьев А.В., Зацепин А.Г., Кубряков А.И.</i> Воспроизводимость особенностей термохалинной структуры и динамики вод северо-восточной части Черного моря посредством численного моделирования	62
<i>Гуров К.И., Куринная Ю.С.</i> Особенности пространственной изменчивости геохимических характеристик донных отложений прибрежных районов Черного моря	63
<i>Демышев С.Г., Дымова О.А., Миклашевская Н.А.</i> Результаты сравнения двух численных экспериментов, выполненных с учетом линеаризованного и полного кинематического условия на поверхности моря	65
<i>Демышев С.Г., Евстигнеева Н.А.</i> Численные расчеты циркуляции у берегов западного Крыма на основе ассимиляции в гидродинамической модели данных наблюдений температуры и солёности	67
<i>Довгий И.И., Товарчий Я.Ю., Шибеевская Ю.Г., Чайкин Д.Ю., Вертерич А.В., Бежин Н.А., Кременчуцкий Д.А., Козловская О.Н.</i> Радиотрассерный метод изучения субмаринной разгрузки подземных вод	69
<i>Дорофеев В.Л., Сухих Л.И.</i> Оценка влияния циркуляции в Черном море на потоки биогенов с шельфа в центральную часть на основе результатов реанализа	70
<i>Елкин Д.Н., Зацепин А.Г.</i> Лабораторное исследование влияния шероховатости наклонного дна на опускание воды в придонном экмановском погранслое.....	71

<i>Еремина Е.С., Хмара Т.В.</i> Моделирование гидродинамических процессов в мелководных водоемах на примере залива Восточный Сиваш.....	73
<i>Ерманюк Е.В., Пийе Г., Бурри С., Маас Л., Сибгатуллин И.Н., Сюлинь С., Доксуа Т.</i> Аттракторы внутренних и инерционных волн в случае пространственной геометрии.....	75
<i>Забегаетов И.А., Медведев Е.В.</i> Равновесное парциальное давление углекислого газа в поверхностном слое вод северной части Черного моря на основании данных прямых наблюдений в 2017 году	76
<i>Ивахов В.М., Парамонова Н.Н., Привалов В.И., Зинченко А.В., Семенец Е.С., Кароль И.Л., Киселев А.А., Полищук В.Ю.</i> Оценка потоков парниковых газов в литоральной зоне Обской губы	78
<i>Калинюк И.В., Маленко Ж.В., Ярошенко А.А.</i> Волны в море с ледяным покровом от движущихся возмущений	80
<i>Капустин И.А., Ермошкин А.В., Богатов Н.А., Шомина О.В., Мольков А.А., Ермаков С.А.</i> Новый подход к исследованию структуры течений прибрежной зоны с использованием искусственных сликовых полос. Предварительные результаты	81
<i>Кокарев С.С.</i> Методы теории функций комплексного переменного в задачах гидро(аэро)динамики, теории упругости и электро(магнито)статики.....	82
<i>Коршенко А.Н., Жугайло С.С.</i> Сезонная динамика гидрохимических параметров в Керченском проливе.....	83
<i>Котельянец Е.А.</i> Содержание тяжелых металлов в донных отложениях Балаклавской бухты (Черное море).....	85
<i>Кременчуцкий Д.А., Батраков Г.Ф.</i> Роль взвешенного вещества в формировании поля концентрации бериллия-7 в водах Черного моря.....	87
<i>Куркин А.А., Куркина О.Е., Талалушкина Л.В., Рувинская Е.А., Козелков А.С., Лобовиков П.В.</i> Лабораторное и численное моделирование стратифицированных потоков с геофизическими приложениями	88

<i>Лисютин В.А., Ластовенко О.Р., Ярошенко А.А., Петренко Н.В.</i> Оценка влияния внутреннего трения на дисперсию и затухание звука в газонасыщенных морских осадках	90
<i>Лишаев П.Н., Кныш В.В., Коротаяев Г.К.</i> Восстановление гидрофизических полей Черного моря с ассимиляцией поверхностной температуры в модели	92
<i>Лобанов В.Б., Сергеев А.Ф., Горин И.И., Воронин А.А., Щербинин П.Е., Навроцкий В.В., Павлова Е.П., Семкин П.Ю., Шлык Н.В.</i> Склоновая конвекция в заливе Петра Великого и вентиляция толщи вод Японского моря.....	94
<i>Люшвин П.В.</i> Последствия природной дегазации в акваториях	96
<i>Люшвин П.В.</i> Троянская калориметрическая шкала	97
<i>Манилюк Ю.В., Лазоренко Д.И., Фомин В.В., Дивинский Б.В.</i> Особенности сейшевых колебаний в смежных бухтах	98
<i>Маркова Н.В., Демьшев С.Г.</i> Исследование глубоководных течений Черного моря на основе численного моделирования.....	99
<i>Миронюк С.Г.</i> Закономерности распределения сероводорода в донных отложениях и воде в пределах коридоров трубопроводных систем Черного моря	101
<i>Мысленков С.А.</i> О влиянии зыби Тихого океана на формирование ветрового волнения в Охотском море	104
<i>Новоселова Е.В., Белоненко Т.В.</i> Оценка бароклинного радиуса деформации Россби в районе Лофотенской котловины.....	105
<i>Орехова Н.А.</i> Баланс неорганического углерода прибрежных морских экосистем в условиях антропогенной нагрузки	106
<i>Орехова Н.А., Овсянный Е.И., Гуров К.И., Тихонова Е.А.</i> Органическое вещество и окислительно-восстановительные условия в донных отложениях Балаклавской бухты	108
<i>Павлов Д.Г.</i> Проблемы гидродинамики и их математические модели	110

<i>Павлушин А.А., Шати́ро Н.Б., Михайлова Э.Н.</i> Влияние учета скорости поверхностных течений при расчете касательного напряжения ветра на энергетику двухслойной вихреразрешающей модели.....	111
<i>Павлушин А.А., Шати́ро Н.Б., Михайлова Э.Н.</i> Особенности циркуляции Черного моря, формируемые ветром с циклонической и антициклонической завихренностью	112
<i>Пака В.Т., Голенко М.Н., Кондрашов А.А., Корж А.О., Ландер М.Р., Набатов В.Н., Подуфалов А.П.</i> Развитие экспериментальных методов исследования морей эстуарного типа на примере Балтики	113
<i>Полозок А.А., Лемешко Е.Е.</i> Сопоставление результатов моделирования сгонных колебаний уровня моря с данными натурных наблюдений в районе МГС Опасное	115
<i>Пономарев В.И., Файман П.А., Дубина В.А., Шкорба С.П., Карнаухов А.А.</i> Моделирование изменчивости циркуляции в Сахалинском заливе, Амурском лимане и прилегающих районах шельфа Охотского и Японского морей.....	117
<i>Ратнер Ю.Б., Фомин В.В., Иванчик М.В., Холод А.Л.</i> Система прогноза ветрового волнения в Севастопольском районе Черного моря.....	119
<i>Санников В.Ф.</i> Трехмерная структура ближней области поля внутренних волн, генерируемых движущимися барическими образованиями во вращающейся жидкости.....	120
<i>Сендеров М.В., Маркова Н.В., Дымова О.А.</i> Анализ глубинной циркуляции по результатам расчетов моделей МГИ и NEMO	122
<i>Слепышев А.А., Носова А.В.</i> Генерации вертикальной тонкой структуры внутренними волнами при наличии турбулентности	123
<i>Струков Б.С., Реснянский Ю.Д., Зеленко А.А.</i> Спектральные характеристики крупномасштабной изменчивости Мирового океана в численных экспериментах по модели NEMO с усвоением данных наблюдений.....	125

<i>Стурова И.В., Ткачева Л.А.</i> Генерация волновых движений динамическими возмущениями в жидкости с неоднородным ледяным покровом	126
<i>Телегин В.А., Веремьев В.И., Горбачкий В.В., Зацепин А.Г., Иванов И.И., Коваленко В.В., Куклев С.Б., Кутузов В.М., Мысленков С.А.</i> Об одном из подходов к созданию системы оперативной океанографии для прибрежных морских акваторий	128
<i>Ушаков К.В., Ибраев Р.А., Кауркин М.Н.</i> Моделирование вихревых процессов обмена окраинных морей России с Мировым океаном в глобальном численном эксперименте..	130
<i>Холод А.Л., Ратнер Ю.Б., Кубряков А.И., Иванчик М.В.</i> Анализ апвеллингов в Севастопольском районе Черного моря по результатам расчетов по гидродинамической модели РОМ.....	132
<i>Хоружий Д.С.</i> Особенности распределения фосфора и кремния в аэробной и субкислородной зоне Черного моря ..	133
<i>Чашечкин Ю.Д.</i> Теория, моделирование и метрология морских процессов	135
<i>Чехов В.Н., Лушников В.А.</i> Оценки влияния моды Гельмгольца на периоды и собственные формы сейш в бухтах Крыма.....	137
<i>Чикин А.Л., Клещенков А.В., Сорокина В.В., Чикина Л.Г.</i> Математическая модель поступления взвешенного вещества из Дона в Таганрогский залив	138
<i>Шевцова О.В.</i> Короткопериодная изменчивость в системе неконсервативных гидрохимических параметров.....	140
<i>Шелушинин Ю.А.</i> Лабораторные исследования трансформации периода волн в прибрежной зоне моря.....	142
<i>Шмакова Н.Д., Флёр Я.Б.</i> Нелинейные эффекты фокусировки внутренних волн	144
<i>Яицкая Н.А.</i> Результаты ретроспективного анализа зимнего штормового волнения в Азовском море.....	145

СЕКЦИЯ 2

«ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗА СОСТОЯНИЯ МОРСКИХ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С АТМОСФЕРОЙ»

<i>Андреев О.М., Виноградов Р.А., Скутин А.А.</i> Современные методы прямых и косвенных оценок прочностных свойств морского льда.....	148
<i>Анисимов А.Е., Ефимов В.В., Львова М.В., Попов В.Б.</i> Экстремальные осадки в Ялте: радиолокационные наблюдения и численное моделирование	149
<i>Артамонов А.Ю., Ретина И.А., Чухарев А.М., Степаненко В.М., Варенцов М.И., Пашкин А.Д.</i> Взаимодействие атмосферы и моря в прибрежной зоне Черного моря в условиях устойчивой стратификации.....	151
<i>Баранов В.И., Очередник В.В., Зацепин А.Г., Куклев С.Б., Машура В.В.</i> Первый опыт использования автоматической стационарной станции вертикального зондирования на полигоне «Геленджик» (ИО РАН) на Черном море.....	153
<i>Белокопытов В.Н., Годин Е.А., Жук Е.В., Ингеров А.В.</i> Разработка новой версии электронного атласа «Физическая океанография Черного моря».....	154
<i>Бескоровайный А.С., Тимченко И.Е., Изумнова Е.М., Свищев С.В.</i> Управление эколого-экономическими процессами потребления рекреационного ресурса прибрежной зоны моря	156
<i>Бессонова Е.А., Петухов В.И., Зверев С.А., Теличко А.С., Коптев А.А.</i> Геомагнитные исследования на акватории бухты Золотой Рог (г. Владивосток) для выявления антропогенных объектов, погребенных в современных геологических отложениях	158
<i>Богуславский А.С., Казаков С.И., Лемешко Е.Е., Берзова И.Г.</i> Особенности переноса донных наносов и формирования пляжей у Южного берега Крыма	160

<i>Будников А.А., Малахова Т.В., Иванова И.Н., Линченко Е.В.</i> Применение пассивного акустического метода для детектирования и оценки объемов газовыделений в бухте Ласпи	162
<i>Васечкина Е.Ф., Филиппова Т.А.</i> Влияние температуры воды и освещенности на функциональные характеристики морского фитопланктона	163
<i>Васечкина Е.Ф., Филиппова Т.А.</i> Объектно-ориентированное моделирование функционирования прибрежного макрофитобентоса в условиях гипоксии	165
<i>Виноградов Р.А., Андреев О.М., Орлова Е.Ю.</i> Антропогенное воздействие на распространение припая в Обь-Енисейском регионе на фоне климатических изменений	167
<i>Вишневецкий В.Ю., Колесник Д.А., Старченко И.Б.</i> Применение эхоинтеграционного метода дистанционной идентификации зоопланктона на принципах нелинейной акустики	169
<i>Вишневецкий В.Ю., Попружный В.М., Старченко И.Б.</i> Исследование влияния постройки Керченского моста на состояние морской среды	170
<i>Власова Г.А., Марченко С.С., Рудых Н.И.</i> Гидродинамический режим вод в Камчатском проливе в весенний период.	172
<i>Гайко Л.А.</i> Особенности температурного фона прибрежной зоны Приморского края по многолетним данным гидрометеорологических станций (северо-западная часть Японского моря)	174
<i>Гармашов А.В.</i> Гидрологические исследования Севастопольской бухты	176
<i>Гармашов А.В., Толочков Ю.Н., Коровушкин А.И.</i> Гидрометеорологический мониторинг на стационарной океанографической платформе в Голубом заливе в 2011–2019 гг. .	177
<i>Гицба Я.В., Строчан Т.П.</i> Влияние температурного режима на колебания уровня моря в Сухумской акватории	179

<i>Гнатюк Н.В., Радченко Ю.В., Башмачников И.Л., Бобылев Л.П.</i> Методика выбора климатических моделей СМIP5 для оценки будущих изменений факторов, определяющих динамику глубоководной конвекции в арктических морях	181
<i>Григорьев А.Н., Попович В.В., Смирнова О.В.</i> Макет оптико-электронного комплекса для воздушного мониторинга зоны береговой линии и результаты натурной отработки.....	182
<i>Гузенко Р.Б., Харитонов В.В., Хотченков С.В.</i> Комплексные исследования торосов в российской Арктике	184
<i>Даньшина А.В.</i> Изменения, происходящие в гидрологическом режиме вод Баренцева и Карского морей при сокращении ледяного покрова.....	186
<i>Дбар Р.С., Марколия А.И., Сизов И.И.</i> Семьдесят лет гидрофизических исследований у Кавказского побережья Черного моря.....	187
<i>Домнин Д.А., Чубаренко Б.В.</i> Отклик речной составляющей водного баланса водосбора Вислинского залива (Балтийского моря) на многолетние и внутригодовые климатические изменения.....	189
<i>Домнина А.Ю., Домнин Д.А.</i> Элементы морского пространственного планирования в Куршском и Вислинском заливах.....	191
<i>Дыкман В.З., Воликов М.С., Безгин А.А., Литвиненко С.Р., Юркевич Н.Ю.</i> Энергоснабжение автономных систем оперативного контроля морской среды.....	193
<i>Ерёмина Е.С., Евстигнеев В.П.</i> Оценки стоков Азово-Сивашских вод в проливе Тонком	195
<i>Ермолов А.А., Игнатов Е.И., Кизяков А.И.</i> Морфодинамическое районирование берегов Черного и Азовского морей.....	196
<i>Ермолов А.А., Илюшин Д.Г., Кизяков А.И., Михайлюкова П.Г.</i> Экологическая чувствительность берегов Черного и Азовского морей к разливам нефти	198

<i>Есипов И.Б., Попов О.Е., Солдатов Г.В.</i> Сжатие сигнала параметрической антенны в подводном звуковом канале в мелком море	200
<i>Ефимов В.В.</i> Мезомасштабные процессы в атмосфере Черноморского региона	201
<i>Ефремов О.И., Чухарев А.М.</i> Влияние параметров движения зондирующих устройств на характеристики измеряемых мелкомасштабных неоднородностей	203
<i>Жемков Е.И., Инюшина Н.В., Мартынов М.В.</i> Модернизация компьютерных сетей института – локализация и защита	205
<i>Жук В.О.</i> Изменения климата в Крыму	206
<i>Зацепин А.Г., Баранов В.И., Кременецкий В.В., Куклев С.Б., Островский А.Г.</i> Предварительные результаты исследования придонного слоя в шельфово-склоновой зоне Черного моря.....	208
<i>Иванов В.В.</i> Изменения вертикальной структуры вод в приатлантической Арктике в 2010-е годы	210
<i>Ионов В.В.</i> Проявления современных климатических изменений и результаты синоптического мониторинга основных термических фронтов Южного океана	212
<i>Исаченко И.А., Чубаренко И.П., Лобчук О.И.</i> Лабораторные эксперименты по взмучиванию частиц микропластика: особенности движений на дне с различной шероховатостью.....	214
<i>Кириченко И.А., Старченко И.Б.</i> Анализ и обоснование видов зондирующих сигналов параметрического профилографа	215
<i>Крыленко В.В., Крыленко М.В.</i> Палеогеографические предпосылки возникновения эоловых форм Благовещенского останца	217
<i>Крыленко С.В., Лукиных А.И.</i> Морфологические адаптации растений к обитанию в условиях абразионных берегов	219

<i>Кузнецов А.С.</i> О бимодальном распределении направления прибрежных течений у Южного берега Крыма.....	221
<i>Латушкин А.А., Федирко А.В., Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А., Кудинов О.Б.</i> Гидрооптическая структура вод северной части Черного моря осенью 2018 г. по данным натурных измерений в ходе 103-го рейса НИС «Профессор Водяницкий»	223
<i>Липатов М.А., Май Р.И., Фукс В.Р.</i> Долгопериодный приливной дрейф ледяного покрова в Северном Ледовитом океане.....	225
<i>Лобчук О.И., Килесо А.В.</i> Присутствие, перенос и накопление частиц вспененных пластиков в прибрежной зоне Балтийского моря	227
<i>Лобчук О.И., Чубаренко И.П.</i> Сравнение пространственных измерений холодного промежуточного слоя Балтийского моря по данным одного года.....	228
<i>Лубков А.С., Воскресенская Е.Н.</i> Экспериментальный прогноз аномалий метеорологических характеристик с заблаговременностью в несколько месяцев	230
<i>Лунев Е.Г., Мотыжев С.В., Толстошеев А.П., Дыкман В.З., Безгин А.А., Быков Е.М., Воликов М.С., Лисецкий И.В.</i> Технологическое обеспечение системы мониторинга гидрометеорологической обстановки в Арктике.....	232
<i>Магаева А.А.</i> Динамика ледовистости Северного Каспия по данным наблюдений и реанализа.....	233
<i>Макаров К.Н.</i> Автоматизированная система прогноза качества воды в прибрежной зоне моря.....	235
<i>Малахова В.В.</i> Исследование динамики многолетнемерзлых пород шельфа арктических морей на основе численного моделирования.....	237
<i>Маньковский В.И., Маньковская Е.В.</i> Оптические характеристики вод средиземного моря по попутным измерениям во 2-м рейсе НИС «Горизонт».....	238

<i>Марчукова О.В., Воскресенская Е.Н., Лубков А.С.</i> Явление Ла-Нинья: пространственно-временная типизация и гидрометеорологические аномалии в северном полушарии.....	239
<i>Мельникова Е.Б.</i> Исследование сезонной и межгодовой изменчивости интенсивности свечения планктонного сообщества на шельфе юго-западного Крыма.....	241
<i>Метик-Дионова В.В., Казаков С.И., Симонова Ю.В., Майборода С.А.</i> Сезонные аномалии температуры воздуха в районе ЮБК и их связь с крупномасштабными процессами в атмосфере	243
<i>Минин А.В.</i> Использование энергии ветра для энергоснабжения прибрежных потребителей Арктики – одно из направлений рационального природопользования ..	245
<i>Михайличенко С.Ю., Иванча Е.В., Базыкина А.Ю.</i> Моделирование потенциально опасных природных явлений в акватории Национального заповедника «Херсонес Таврический»	247
<i>Молодыхина С.В., Гузенко Р.Б., Май Р.И.</i> Стохастический генератор полей характеристик ледяного покрова	248
<i>Мороз В.В., Шатилина Т.А.</i> Особенности межгодовой изменчивости гидрологических условий южной части Охотского моря в летний период.....	250
<i>Морозов А.Н., Маньковская Е.В.</i> Инерционные колебания в Черном море по натурным данным	252
<i>Морозов А.Н., Маньковская Е.В.</i> Натурные измерения течений в прибрежных водах Севастополя.....	253
<i>Мотыжев С.В., Лунев Е.Г., Толстошеев А.П., Дыкман В.Г., Зацепин А.Г., Коновалов С.К., Коротаев Г.К., Кубряков А.И., Лемешко Е.М., Островский А.Г., Рябушко В.И., Щуров С.В.</i> Черноморский интеллектуальный полигон оперативной океанологии.....	255
<i>Никольский Н.В., Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А.</i> Внутригодовая изменчивость поля температуры на поверхности Баренцева и Карского морей.....	257

<i>Новиков М.А., Драганов Д.М.</i> ГИС «Юго-восточная часть Баренцева моря (Печорское море)» для оценки и управления экологическими рисками при эксплуатации Приразломного нефтяного месторождения	259
<i>Павлова Е.А., Гузенко Р.Б., Май Р.И., Смоляницкий В.М., Юлин А.В., Таровик О.В.</i> Сравнение типизаций ледовых условий для задач навигации в Арктике	263
<i>Панов Б.Н., Спиридонова Е.О.</i> Основные результаты исследований влияния атмосферной циркуляции в Азово-Черноморском регионе на изменения солености вод Азовского моря	265
<i>Петров В.А., Ярославцев Н.А.</i> Состояние и перспективы восстановления галечных пляжей города-курорта Сочи	267
<i>Ретина И.А., Степаненко В.М., Артамонов А.Ю., Варенцов М.И., Гавриков А.В.</i> Исследование взаимодействия атмосферы и морской поверхности в прибрежной зоне Белого моря в зимний период	269
<i>Свищев С.В., Тимченко И.Е.</i> Применение модифицированной модели Фэшема-Даклоу для оценки ассимиляционной емкости морских экосистем методом адаптивного баланса влияний	270
<i>Сизов А.А., Баянкина Т.М., Лебедев Н.Е.</i> Реакция сезонного термоклина на изменяющуюся скорость ОЧТ (по материалам дрейфтерного эксперимента)	272
<i>Совга Е.Е., Еремина Е.С.</i> Экспедиционные исследования МГИ в Восточном Сиваше за 2018 г.	273
<i>Совга Е.Е., Мезенцева И.В., Слепчук К.А., Хмара Т.В.</i> Оценки самоочистительной способности различных частей Севастопольской бухты в зависимости от уровней поступления биогенных элементов	274
<i>Совга Е.Е., Хмара Т.В.</i> Зимние паводки на реке Черная как источник поступления биогенных элементов в кутовую часть Севастопольской бухты	276

<i>Совга Е.Е., Хмара Т.В.</i> Экспертные оценки экологического состояния Каркинитского залива с учетом его заповедных акваторий.....	278
<i>Соколичина Н.Н., Семенов Е.К.</i> Циркуляционные оценки основных этапов развития новороссийской боры.....	280
<i>Соколов В.А., Апухтина С.П., Егоров П.А.</i> Особенности климатической изменчивости морских гидрологических полей Черного моря, анализируемые с учетом их совместной статистики и теории открытых неравновесных термодинамических систем.....	282
<i>Соломаха Т.А., Завьялов Д.Д.</i> Теплофизические свойства снега и его влияние на термическую эволюцию толщины льда в Азовском море.....	283
<i>Сорокин А.Н., Щодро А.Е.</i> Некоторые подходы к оценке влияния техногенной нагрузки в районах разлива нефтяных углеводородов.....	285
<i>Спиридонова Е.О., Панов Б.Н., Смирнов С.С.</i> Синоптические вихревые образования в Черном море как фактор формирования его рыбопродуктивности.....	287
<i>Стефанович А.А., Воскресенская Е.Н.</i> анализ тенденций изменения биоклиматических показателей комфортности на курортах Черного моря.....	288
<i>Суркова Г.В., Крылов А.А.</i> Метеорологические условия и высокие скорости ветра над Баренцевым морем.....	290
<i>Тимченко И.Е., Игумнова Е.М., Свищев С.В.</i> Эколого-экономический баланс потребления и воспроизводства ресурсов морской среды в системе берег – море.....	292
<i>Тявлин Р.М., Макаров К.Н., Тявлиная Г.В.</i> Экспериментальные исследования волновых нагрузок и воздействий на волногасящие сооружения с волновой камерой.....	295
<i>Тявлиная Г.В., Тявлин Р.М.</i> Экспериментальные исследования эффективности волногасящих сооружений на приливных морях.....	297

<i>Толстошеев А.П., Лунев Е.Г., Мотыжев С.В., Быков Е.М.</i> Автономный термопрофилирующий дрейфующий буй с модулем вычисления солёности.....	299
<i>Тузов Ф.К.</i> Исследование каскадинга на арктических шельфах по данным численного моделирования	301
<i>Тюгалева А.И., Май Р.И.</i> Оценка вероятности встречи айсбергов в Карском море, рассчитанная по численной модели дрейфа	303
<i>Уба А.В.</i> Количественный анализ береговых морфодинамических процессов на примере острова Сахалин	305
<i>Федирко А.В., Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А., Шутов С.А.</i> Особенности гидрологической структуры вод в северной части Черного моря по данным экспедиционных измерений в 2018 г.	306
<i>Федотова А.А., Демидов А.Н.</i> Сезонная изменчивость распространения вод шельфовых ледников в заливе Прюдс	308
<i>Хамицевич Н.В.</i> Межгодовая изменчивость и тренды уровня моря в прибрежной зоне Южного берега Крыма	309
<i>Харламова М.Н., Новиков М.А.</i> Опыт гидрооптических исследований «желтого вещества» Баренцева и Белого морей.....	311
<i>Хлебников Д.В., Иванов А.Ю., Коновалов Б.В., Соловьев Д.М., Терлеева Н.В.</i> Структура выносов малых рек в Черном море – мультисенсорный подход	314
<i>Цыбулевская М.В.</i> Оценка состояния популяции брюхоногого моллюска <i>Rapana thomasiana</i> (Crosse, 1861) в восточной части Черного моря (Республика Абхазия, Нижняя Эшера)	315
<i>Цыганова М.В., Лемешко Е.М.</i> Влияние ветра на распространение материкового стока на северо-западном шельфе Черного моря.....	317
<i>Чухарев А.М.</i> Влияние различных механизмов генерации турбулентности на интенсивность вертикального обмена вблизи поверхности моря	318

<i>Шевердяев И.В.</i> Моделирование вклада нагонных явлений в поступление тяжелых металлов в дельту Дона	320
<i>Шокуров М.В., Краевская Н.Ю.</i> Моделирование бризовой циркуляции в Азово-Черноморском регионе	322
<i>Шоларь С.А., Степанова О.А., Стельмах Л.В.</i> Изменение оптических свойств морской воды под влиянием микробиоты в условиях эксперимента	324
<i>Щербаченко С.В., Кузнецов А.С., Зима В.В.</i> Натурные исследования изменчивости прибрежных течений у Южного берега Крыма в 2017–2019 гг.	326
<i>Щодро А.Е.</i> Некоторые виды завихренных течений в морских и речных акваториях, их влияние на водообмен, перенос наносов и способы управления ими	327
<i>Щука С.А., Григорьев А.В., Кубряков А.И.</i> Динамика вод в районе Слупского желоба Балтийского моря по данным экспедиционных исследований и численных экспериментов ..	329

СЕКЦИЯ 3

«ДИСТАНЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ В МОРСКОЙ СРЕДЕ»

<i>Алескерова А.А., Кубряков А.А., Станичный С.В., Медведева А.В.</i> Транспорт взвешенного вещества субмезомасштабными вихрями по спутниковым данным	331
<i>Андросович А.И.</i> Восстановление расхода рек северо-восточного побережья Черного моря	332
<i>Белоненко Т.В., Гневышев В.Г., Кубряков А.А., Фролова А.В.</i> Волны Россби в АЦТ	336
<i>Бондур В.Г., Воробьев В.Е., Замишин В.В.</i> Автоматизированный анализ пространственных спектров космических оптических и радиолокационных изображений прибрежных акваторий	338

<i>Бондур В.Г., Мурынин А.Б.</i> Оптимизация регистрации пространственных спектров морской поверхности при космическом мониторинге.....	339
<i>Боровская Р.В., Смирнов С.С., Загайный Н.А., Кочергин А.Т.</i> Особенности гидрологических условий Азовского и Черного морей в 2018 г. по данным дистанционного зондирования и их влияние на формирование и распределение промысловых скоплений рыбных объектов	341
<i>Дулов В.А., Юровский Ю.Ю.</i> Оценка характеристик приповерхностного течения по видеозаписям волнения на поверхности моря	343
<i>Замишин В.В., Ибраев Р.А., Кауркин М.Н., Кудряшов П.Д., Шлюпиков В.А.</i> Исследование динамики пространственного распределения толщины морского льда в Арктике по данным спутника CRYOSAT-2 за 2017–2019 гг.....	344
<i>Замишин В.В., Матросова Е.Р., Харченко В.Д., Ходаева В.Н.</i> Особенности пространственного распределения нефтепроявлений в районе российского шельфа Черного моря по данным космического мониторинга за 2017–2018 гг.....	345
<i>Замишин В.В., Ходаева В.Н.</i> Исследование особенностей нефтепроявлений в Каспийском море по данным космической съёмки	346
<i>Козлов И.Е., Плотников Е.В., Михайличенко Т.В.</i> Динамика вихрей и внутренних волн в Арктике по данным последовательных спутниковых радиолокационных измерений.....	348
<i>Козлов И.Е., Фер И., Зубкова Е.В.</i> Внутренние волны большой амплитуды в Арктике: механизмы генерации и роль в турбулентном перемешивании	349
<i>Кориненко А.Е., Дулов В.А., Малиновский В.В., Кудрявцев В.Н.</i> Модуляция обрушений длинными ветровыми волнами.....	350

<i>Корчемкина Е.Н., Маньковская Е.В.</i> Биооптические характеристики и параметры кокколитофоридного цветения в Черном море по спутниковым и контактными данным, июнь 2017 г.	351
<i>Кубряков А.А., Станичный С.В., Зацепин А.Г.</i> Межгодовая изменчивость распространения пеллаги Дуная и ее влияние на биооптические характеристики Черного моря по спутниковым измерениям	353
<i>Кубряков А.А., Станичный С.В., Шокуров М.В., Гармашов А.В.</i> Изменчивость скорости и завихренности ветра над Черным морем по спутниковым скаттерометрическим измерениям QuikScat и Ascat.....	354
<i>Кубрякова Е.А., Кубряков А.А., Станичный С.В.</i> Зимние «цветения» кокколитофорид в Черном море по спутниковым измерениям.....	356
<i>Кузьмичева Т.Ф.</i> Результаты анализа спутниковых снимков (AQUA/TERRA, 2000–2019 гг.) Об источнике воды, бьющем с бывшего дна Аральского моря	358
<i>Медведева А.В., Станичный С.В., Кубряков А.А., Алескерова А.А., Плотников Е.В.</i> Характеристика процессов и явлений в Мраморном море по оптическим снимкам высокого разрешения	359
<i>Миловский Г.А.</i> Оценка возможностей многозональной космической съемки высокого разрешения при поисках прибрежных россыпей и месторождений углеводородов в северных морях России.....	361
<i>Мисиров С.А., Беспалова Л.А.</i> Опыт использования беспилотных летательных аппаратов для изучения типов и морфометрических характеристик Южного берега Таганрогского залива	363
<i>Михайличенко Т.В., Медведева А.В.</i> Субмезомасштабные и мезомасштабные процессы в предустьевой зоне Дуная.....	365
<i>Морозов Е.А., Кондрик Д.В., Чепикова С.С.</i> Исследование влияния цветений кокколитофорид на поток CO ₂ по данным спутникового датчика Orbiting Carbon Observatory-2.....	366

<i>Нижниковская О.Ю., Зацепин А.Г.</i> Изучение прибрежных вихрей Черного моря по измерениям спутников Landsat и Sentinel.....	367
<i>Плотников Е.В., Медведева А.В., Козлов И.Е., Кубряков А.А., Холод А.Л., Алескерова А.А.</i> Опыт применения методов вычисления оптического потока для восстановления полей скорости поверхностных морских течений, а также дрейфа ледяных покровов с использованием серий спутниковых и радиолокационных изображений с высоким разрешением.....	368
<i>Рубакина В.А., Кубряков А.А., Станичный С.В., Мизюк А.И.</i> Суточный ход температуры вод Черного моря по данным сканера SEVIRI и модели NEMO и его влияние на стратификацию	369
<i>Рябовая В.О.</i> Метод структурного синтеза в информационных системах мониторинга процессов и явлений в морской среде.....	371
<i>Рябовая В.О., Холод А.Л.</i> Информационные системы поддержки принятия решений в дистанционных исследованиях процессов и явлений в морской среде	373
<i>Савоськин В.М.</i> Изучение процесса переноса загрязнений прибрежными течениями в районе мыса Айя	375
<i>Симонова Ю.В., Станичный С.В., Метик-Диюнова В.В.</i> Валидация данных дистанционного зондирования параметров морской среды на экспериментальном подспутниковом контрольно-калибровочном полигоне в целях гидрофизического мониторинга прибрежной зоны ЮБК.....	377
<i>Скиба Е.В., Дулов В.А., Кудрявцев В.Н.</i> Выделение случаев временного развития волнения из традиционных волнографических данных	378
<i>Скиба Е.В., Кубряков А.А., Дулов В.А.</i> Исследование разгона ветровых волн по оптическим спутниковым снимкам высокого разрешения	380

<i>Скороход Е.Ю., Моисеева Н.А., Ефимова Т.В., Землянская Е.А., Суслин В.В., Чурилова Т.Я.</i> Сравнение концентрации хлорофилла- <i>a</i> (стандартного продукта Modis-Aqua) с натурными наблюдениями в прибрежных водах Севастополя	381
<i>Станичный С.В., Медведева А.В., Кучейко А.Ю., Алескерова А.А., Кубряков А.А.</i> Коммунальные стоки в акваториях Южного и Западного Крыма – характеристики и проявления в многоспектральных спутниковых данных	382
<i>Сушкевич Т.А., Стрелков С.А., Максакова С.В., Фомин Б.А., Козодеров В.В., Пригарин С.М., Страхов П.В., Зимовая А.В., Белов В.В., Фалалеева В.А., Николенко А.А., Шурыгин Б.М., Кузьмичев А.С., Колокутин Г.Э., Краснокутская Л.Д.</i> Всемирная глобальная научная программа «Будущее Земли»: радиационное поле, атмосфера, океаны и моря.....	383
<i>Юровская М.В., Дулов В.А.</i> Исследование спектральных контрастов в снимках по фотографиям морской поверхности..	385
<i>Юровский Ю.Ю., Кудрявцев В.Н., Гродский С.А., Шапрон Б.</i> Модель доплеровского сдвига частоты радиолокационного сигнала, рассеянного морем	387
Перечень организаций	389
Авторский указатель	398

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

МОДЕЛЬ МОРСКОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ INMOM (INSTITUTE OF NUMERICAL MATHEMATICS OCEAN MODEL). ИССЛЕДОВАНИЕ КЛИМАТА И РЕШЕНИЕ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ

Дианский Н.А.

*МГУ, г. Москва, Россия
nikolay.diansky@gmail.com*

Представлены результаты воспроизведения глобальной циркуляции океана и ее межгодовой изменчивости за период 1948–2007 гг. с помощью сигма-модели общей циркуляции океана Института вычислительной математики (ИВМ) РАН – INMOM (Institute of Numerical Mathematics Ocean Model) [Дианский Н.А. Моделирование циркуляции океана и исследование его реакции на короткопериодные и долгопериодные атмосферные воздействия. М. Физматлит, 2013. 272 с.], основанной на полных уравнениях морской гидротермодинамики. Следует отметить, что эта модель используется в качестве океанического блока в модели Земной системы ИВМ РАН, единственной от России, участвующей в экспериментах для моделей этого класса по программе IPCC – Coupled Model Intercomparison Project (CMIP) Phase 4 и 5 [IPCC. 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, T. F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.)] Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.; Володин Е. М., Дианский Н. А., Гусев А. В. Воспроизведение современного климата с помощью совместной модели общей циркуляции атмосферы и океана INMCM 4.0. // Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2010, Т. 46, № 4, С. 448-466;

Володин Е.М., Дианский Н.А., Гусев А.В. Модель земной системы INMCM4: воспроизведение и прогноз климатических изменений в 19-21 веках // Известия РАН, физика атмосферы и океана, 2013. Т.49. №4. С.379–400]. Численные эксперименты были проведены по сценарию Coordinated Ocean-ice Reference Experiment (CORE) для участия в этой международной программе по сравнению моделей общей циркуляции океана [Danabasoglu, G., Yeager S.G., ... Diansky N.A. ..., et al. North Atlantic simulations in Coordinated Ocean-ice Reference Experiments phase II (CORE-II). Part I: Mean states // Ocean Modelling. 2014. V. 73. P. 76-107; Danabasoglu, G., Yeager S.G., ... Diansky N.A. ... et al. North Atlantic simulations in Coordinated Ocean-ice Reference Experiments phase II (CORE-II). Part II: Inter-annual to decadal variability // Ocean Modelling. 2016. V. 97. P. 65–90]. Для задания реалистичного атмосферного воздействия использовались специализированные данные CORE. Показано существенное уменьшение к 2007 г. площади морского льда в Северном Ледовитом океане, соответствующее данным наблюдений. Выявлена мультideкадная климатическая изменчивость [Дианский Н.А., Гусев А.В. Моделирование процесса изменения климата и современного замедления глобального потепления с помощью модели INMOM // Фундаментальная и прикладная климатология. 2015. №1, С. 96–118.] с заметным падением с конца 1990-х гг. интенсивности Атлантической меридиональной опрокидывающейся циркуляции (АМОЦ), характеризующей поведение атлантической термохалинной циркуляции, и меридионального переноса тепла (МПТ) в Северной Атлантике (СА). Эволюция МПТ свидетельствует об уменьшении поступления тепла из СА в атмосферу начиная с середины 1990-х гг. Таким образом, обнаружена отрицательная обратная связь в климатической системе Земли, направленная на уменьшение потепления климата, вызванного в последние десятилетия, в основном, антропогенным фактором. Выявлена также долгопериодная – около 60 лет – изменчивость АМОЦ, которая с задержкой около 10 лет влияет на термическое состояние поверхности СА. Обосновывается предположение, что этот механизм может определять формирование собственной долгопериодной изменчивости АМОЦ.

Предложен комбинированный сценарий оценки изменения климата на основе состава «парниковых» и «циклических» эф-

фектов [Панин Г.Н., Дианский Н.А., Соломонова И.В., Гусев А.В., Выручалкина Т.Ю. Оценка климатических изменений в Арктике в XXI столетии на основе комбинированного прогностического сценария // Арктика: экология и экономика. 2017. №2 (26). С. 35–52]. С использованием данных CORE за 1948–2009 гг. сделан прогноз атмосферного форсинга на 2010–2071 гг. на основе чего, в свою очередь, с помощью глобальной версии INMOM сделан прогноз по воспроизведению термохалинной циркуляции и морского льда в Атлантическом и Северном Ледовитом океане на 1948–2071 годы. Этот подход позволяет описывать рост температуры, вызванный не только эмиссией парниковых газов, но и изменчивостью климата (в частности похолодание, наблюдавшееся в 1950–1970-х годах). Расчеты по предложенному комбинированный сценарий климатических изменений показывают возможное похолодание в Арктике и соответствующее снижение продолжительности навигационного периода Северного морского пути в ближайшие 10–20 лет. Были определены взаимосвязи между Северной Атлантикой и Арктикой и дана оценка изменений продолжительности Северного морского пути.

В ФГБУ «Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова» (ГОИН) как учреждения Росгидромета внедрена модель INMOM для расчета циркуляции западных морей Российской Арктики (Баренцева, Карского и Печорского морей), работающая в составе комплексной системы оперативного диагноза и прогноза гидрометеорологических характеристик [Дианский Н.А., Кабатченко И.М., Фомин В.В., Панасенкова И.И., Резников М.В. Система диагноза и прогноза термогидродинамических характеристик и ветрового волнения в западных морях российской Арктики и расчет параметров экстремального шторма 1975 г. в Баренцевом море с учетом ледовых условий. Вести газовой науки. 2018. № 4(36). С. 156–165; Дианский Н.А., Кабатченко И.М., Фомин В.В., Архипов В.В., Цвезинский А.С. Моделирование гидрометеорологических характеристик в Карском и Печорском морях и расчет наносов у западного побережья полуострова Ямал. Вести газовой науки. 2015. № 2(22). С.98–105; Дианский Н.А., Фомин В.В., Кабатченко И.М., Грузинов В.М. Воспроизведение циркуляции Карского и Печорского морей с помощью системы оперативного диагноза и прогноза морской динамики. Арктика: экология и экономика. 2014. № 1(13). С. 57–73.].

С ее помощью выполнены ретроспективные расчеты термогидродинамических характеристик для этих акваторий за безледный период с 2003 по 2012 г. и обнаружены важные особенности циркуляции вод Баренцева, Карского и Печорского морей. Выявлена структура водообмена между Карским и Печорским морями через пролив Карские ворота.

Подобная же система оперативного расчета морской циркуляции разрабатывается в ФГБУ «ГОИН» и для Черного и Азовского морей [Фомин В.В., Дианский Н.А. Расчет экстремальных нагонов в Таганрогском заливе с использованием моделей циркуляции атмосферы и океана различного пространственного разрешения. Метеорология и Гидрология. № 12. 2018. С. 69–80]. С помощью варианта этой системы, приспособленного для ретроспективных расчетов, выполнены расчеты режимных характеристик гидрометеоусловий для обеспечения задач проектирования строительства Керченского мостового перехода. С целью изучения особенностей формирования и выявления требований к точности воспроизведения атмосферной и морской циркуляции в акватории Азовского моря было проведено изучение воспроизведения самых экстремальных за весь период инструментальных наблюдений таганрогских нагонов, произошедших 24.03.2013 и 24.09.2014. Для этого на основе модели морской циркуляции INMOM, были реализованы версии модели Азовского моря с пространственным разрешением 4 км, 1 км и 250 м. Было показано, что расчет атмосферного воздействия с более высоким пространственным разрешением по негидростатической модели WRF (Weather Research and Forecast Model) позволяет воспроизводить экстремальный нагон с более высокой точностью, чем с помощью глобального атмосферного реанализа чем данные реанализа ERA-Interim с более грубым пространственным разрешением. Результаты расчета штормового нагона 2014 г. показали, что в отличие от нагона 2013 г., для его максимума обнаруживается переоценка чуть ли не на 0,5 м. По-видимому, главная причина этого заключается в том, что шторм 2014 г. привел существенно большему, почти на 0,5 м нагону, чем в 2013 г. Возможно эта переоценка вызвана недоучетом затопления, ограничивающее повышение уровня моря.

АТМОСФЕРНЫЕ И МОРСКИЕ ОПАСНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ЯВЛЕНИЯ: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ

**Долгих Г.И., Гусев Е.С., Будрин С.С.,
Долгих С.Г., Чупин В.А.**

*ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, Россия
dolgikh@poi.dvo.ru*

Ключевые слова: метеоцунами, цунами, землетрясения, тайфуны, «голос моря», ветровые волны, шторм, одиночные волны, волны-убийцы, инфрагравитационные волны.

В докладе представлены оригинальные результаты авторов, полученные при обработке экспериментальных данных о вариациях уровня микродеформаций земной коры, колебаниях атмосферного и гидросферного давлений, данных метеостанций и данных различных доступных сайтов в инфразвуковом и звуковом диапазонах. Приведен обзор лучших достижений мировых ученых по рассматриваемой тематике. В работе рассмотрены причины возникновения метеоцунами и особенности их воздействия на физические процессы соседних геосфер. Указано, что метеоцунами в море могут возбуждать уединенные нелинейные волны с амплитудами, превосходящими в несколько раз амплитуду прилива. При определенных условиях метеоцунами могут порождать уединенные волны по своим характеристикам относящиеся к волнам-убийцам. Кроме того, обработаны многочисленные записи лазерных измерителей вариаций давления гидросферы с целью выделения характерных уединенных волн с солитоподобными свойствами и относящиеся к волнам-убийцам в диапазоне морских ветровых волн. Проведена классификация выделенных уединенных волн, но не обнаружено ни одного случая возникновения уединенных волн с амплитудой, превосходящей амплитуды ветровых волн в десять и более раз, что позволило бы нам приписать данные уединенные волны к волнам-убийцам.

Рассмотрены закономерности возникновения цунами после подводных землетрясений. Описаны особенности возникновения деформационного скачка, вызванного подвижками морского дна поршневого типа или подводного оползня после землетрясений различной мощности. Экспериментально установлено, что деформационные скачки, регистрируемые удаленными береговыми лазерными деформографами, наблюдаются всегда при мощных, катастрофических землетрясениях, но редко наблюдаются после землетрясений средней и малой мощности, что может быть связано с природой возникновения данного уединенного возмущения. При землетрясениях средней и ниже средней мощности при значительных расстояниях от места подводного землетрясения до лазерного деформографа вследствие преобладания дисперсии над нелинейностью данный импульс «расплывается», не доходя до регистраторов.

В работе рассмотрены особенности воздействия проходящих тропических циклонов (тайфунов) на прибрежные, береговые и морские объекты. Обсуждены некоторые аспекты образования первичных и вторичных микросейсм, а также воздействие морских ветровых волн на прибрежную структуру и их модулирующее воздействие на пространственно-временную структуру гидроакустических полей. В инфразвуковом диапазоне обнаружено усиление интенсивных колебаний земной коры в частотном диапазоне 1–4 Гц, вызванное разрушением ветровых волн в прибойной зоне. Из-за большей скорости данных возмущений по отношению к скорости передвижения тайфунов можно отслеживать их перемещение с прогнозированием дальнейшего направления движения. Впервые в мире обнаружены микросейсм «голоса моря» в частотном диапазоне 7–9 Гц, возникающие в результате взаимодействия морских прогрессивных волн и ветра в прибойной зоне с дальнейшей передачей энергии возникших колебаний земной коре. При рассмотрении временного изменения частоты некоторых рассматриваемых максимумов по эффекту Доплера можно отслеживать направления передвижения тайфунов с оценкой их энергетических характеристик. Обсуждается воздействие микросейсм «голоса моря» на здоровье человека и его психофизическое состояние.

В диапазоне инфрагравитационных морских волн (30 с – 10 мин) в различных местах Японского моря обнаружены устойчивые максимумы, период и амплитуда которых не зависят от характеристик ветрового волнения, а определяется особенностями прибойной зоны и строением морского бассейна.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-05-80011).

ТОМОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ШЕЛЬФОВЫХ ЗОН

Долгих Г.И., Чупин В.А., Будрин С.С.

*ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, Россия
dolgikh@poi.dvo.ru*

Ключевые слова: томография дна, сложные сигналы, модель, гидроакустические излучатели, береговые лазерные деформографы, шельф.

В последние годы начаты работы по изучению строения и структуры морского дна на основе применения низкочастотных гидроакустических излучателей, создающих в воде низкочастотные гидроакустические сигналы различной сложности, и береговых лазерных деформографов. Полученные результаты позволили сформировать оптимистические надежды по удачному применению данных методов для решения задач по изучению структуры и состава морской земной коры вплоть до границы Мохоровичича и построения реальной модели земной коры исследуемых регионов. В данном методе приемная система не стоит на дне, как во всех ранее применяемых методах, а расположена на берегу. Если методика работы при расположении приемных датчиков на морском дне в виде кос основана на обработке отраженных сигналов, то методика работы при расположении одного приемника на берегу основана на обработке прошедших по различным путям сигналов. Решение обратной задачи позволяет определить

пути распространения сигналов в земной коре, скорости различных волн в слоях и на их границах, а по полученным расчетным данным определить упругие характеристики сред их распространения. При выполнении экспериментальных работ необходимо учитывать особенности распространения сигналов от излучающей системы до береговой приемной системы, подробно исследуемых при работе низкочастотного гидроакустического излучателя с несущей частотой 33 Гц на шельфе убывающей глубины.

Нами показано, что: 1) при глубинах $h \geq \lambda/2$, где $\lambda = \frac{1500 \text{ м/с}}{33 \text{ Гц}} \approx 45 \text{ м}$, (h, λ – глубина моря, длина гидроакустической волны), в среднем около 22% энергии гидроакустического излучателя трансформируется в энергию гидроакустических волн, распространяющихся по шельфу; 2) при глубинах $h \leq \lambda/2$ энергия гидроакустических волн трансформируется в энергию затухающих волн рэлеевского типа, распространяющихся на границах «вода-дно» и «воздух – земная кора»; 3) около 72% энергии гидроакустических волн трансформируется в энергию затухающих волн рэлеевского типа; 4) около 78% излученной гидроакустическим излучателем энергии трансформируется в энергию объемных волн. Данные волны уходят в земную кору и не регистрируются лазерным деформографом. Полученные результаты необходимо учитывать при использовании других низкочастотных гидроакустических излучателей, внося соответствующие коррективы в методику обработки и интерпретации полученных экспериментальных данных.

Рассмотрены этапы создания технологии томографии земной коры шельфа и глубокого моря на основе применения береговых лазерных деформографов и широкополосных низкочастотных гидроакустических излучателей, предназначенной для ее использования при изучении структуры и состава морской земной коры шельфовых областей, в том числе покрытых льдом без его разрушения. В ходе многочисленных экспериментальных исследований, выполненных в разные сезоны года и на различных акваториях, продемонстрирована ее высокая эффективность при построении модели морской земной коры исследуемых полигонов, в том числе при использовании низкочастотных гидроакустических излучателей буксируемого типа. Показано, что применение низкочастотного гидроакустического излучателя с центральной

частотой 22 Гц позволяет исследовать структуру и состав морской земной коры на больших глубинах шельфовой области моря, чем применение низкочастотного гидроакустического излучателя с центральной частотой 33 Гц. По экспериментальным данным, полученным в различных районах шельфа Японского моря в теплые и холодные времена года построены модели исследуемых участков морской земной коры вплоть до фундамента с определением основных параметров распространяющихся волн на трассе «излучение-прием».

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (соглашение №16-29-02023) и Подпрограммы №18-1-004 «Изучение фундаментальных основ ...» Президиума РАН.

БЕЛОЕ МОРЕ И ВОДОСБОР: СОСТОЯНИЕ И ИЗМЕНЕНИЯ СОЦИО-ЭКОЛОГО- ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Филатов Н.Н.¹, Дружинин П.В.¹, Меншуткин В.В.²

¹ИВПС КарНЦ РАН, г. Петрозаводск, Россия

*²Санкт-Петербургский экономико-математический институт
РАН г. Санкт-Петербург, Россия
nfilatov@rambler.ru*

Ключевые слова: море, водосбор, климат, экономика, экосистемы, вылов рыб, когнитивная модель, население.

Для Белого моря и его водосбора (Беломорья), региона, занимающего более 10% Арктической зоны РФ, поставлена задача исследовать динамику не только экологических систем моря, но и процессов, происходящих на его водосборном бассейне в экономике, окружающей среде и социальной сфере.

Оценка влияния экономики, климата на наземные и водные экосистемы и комфортность проживания населения на Севере требует учета множества параметров. Выходом может служить

использование методов когнитивного моделирования [Малинецкий и др. 2011; Меншуткин и др., 2018]. Для оценки состояния и прогнозов экономики использовались данные статистики, а также современные модели [Дружинин и др. 2019], позволяющие оценить влияние развития экономики регионов на окружающую среду водосбора и само моря. Показано, что снижение основных видов загрязнений в Беломорье при росте экономики с 2000 г. происходит в большей степени за счет структурных сдвигов в экономике, а в меньшей – ее модернизация и еще менее значимы природоохранные инвестиции, проведенные за период реформ. Отмечено, что потепление климата на водосборе Белого моря положительно влияет на развитие сельского хозяйства и отрицательно (на продуктивность) на лесное хозяйство и некоторые другие сектора экономики.

Состояние экосистемы Белого моря оценивается как на основе результатов долгосрочных наблюдений, так и 3-D моделей [Белое море и водосбор, 2007] и разрабатываемом совместно (ИБМ, ИВПС и ИПМИ КарНЦ РАН) – комплексе JASMINE [Толстиков и др. 2018].

Создание когнитивных моделей. Впервые для региона разработаны основы когнитивных моделей, которые на первом этапе включали более 20 переменных, характеризующих экономику, экологические и социальные процессы, а также состояние экосистем Белого моря. Модель состоит из четырех основных блоков: климатической, экосистемой, социально-экономической и управленческой с учетом поиска распределения инвестиций по субъектам РФ, обеспечивающих наилучшее развитие всех регионов Беломорья. В настоящее время разрабатывается новая когнитивная модель с оценкой влияния рыболовства на условия проживания населения, в условиях климатических изменений и разных сценариев развития экономики. При этом целевая функция управления переключается с максимизации выловов на достижения максимально высокого уровня жизни населения.

Разрабатываемые когнитивные модели дают возможность на качественном уровне подойти к решению проблемы оптимального управления развитием регионов бассейна Белого моря. Важный смысл настоящего исследования заключается не в том, чтобы давать многообещающие прогнозы развития экономики,

социальной сферы, а показать возможность модельного подхода к рассматриваемой ситуации во всей ее полноте.

Работа выполняется при поддержке гранта РФФИ «Арктика» 18-05-60296.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕДИЦИИ «ТРАНСАРКТИКА 2019» (1 ЭТАП), НЭС «АКАДЕМИК ТРЕШНИКОВ»

Фролов И.Е., Иванов В.В., Фильчук К.В.

*АНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
frolov@aari.ru*

Ключевые слова: Северный Ледовитый океан, экспедиционные исследования, Атлантические воды, состояние природной среды Арктики, ледостойкая самодвижущаяся платформа.

Экспедиция была организована в соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 23.02.2019 №276-р.

При подготовке научной программы комплексных исследований по проекту «Трансарктика 2019» учтены предложения научно-исследовательских организаций Росгидромета, МПР, РАН, Минобрнауки РФ. Непосредственно в экспедиции приняли участие 12 научных организаций, причем 3 из них – из Германии.

Основная цель экспедиции: проведение мониторинга состояния и загрязнения морской среды в высокоширотной Арктике, экспериментальная отработка новых технологий и получение данных о состоянии природных сред с использованием дрейфующей станции нового типа «судно – лед».

Экспедиционные исследования, осуществленные в марте-мае 2019 г., внесли значительный вклад в изучение роли трансформации Атлантических вод на материковом склоне и примыкающей глубоководной части Арктического бассейна в изменившихся климатических условиях, а также в исследование механизмов формирования уплотненных шельфовых вод в Баренцевом море

и их вклада в процессы обновления водных масс. Всего в ходе экспедиционных работ было выполнено 253 CTD-зондирований.

В течение дрейфа была получена подробная информация о характеристиках атмосферы и подстилающей поверхности при различных погодных условиях. Получены длительные ряды измерений энерго-массообмена приземного слоя атмосферы с подстилающей поверхностью.

Проведены исследования морфометрии ровного и восторощенного льда и снега. Исследовано состояние и изменчивость нижней поверхности ледяного покрова с помощью гидролокационного комплекса.

В рамках гидробиологических исследований водно-ледовой системы и ее роли в глобальных биосферных процессах были отобраны пробы зообентоса, хлорофилла, зоо- и фитопланктона.

Целью геологических исследований в экспедиции являлось получение представительного разреза донных осадков вдоль пути дрейфа судна для комплексной геолого-геохимической характеристики переходной зоны «континент-океан».

В рамках программы геофизических измерений осуществлялось исследование распространения радиоволн коротковолнового диапазона с помощью приемного комплекса наклонного зондирования ионосферы, производилась регистрация магнитного поля Земли и уровня космического радиоизлучения.

Получен уникальный материал для всестороннего исследования текущего состояния природных условий арктических морей СЛО.

Опробованы новые технологии организации и проведения современных комплексных научных исследований.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда фундаментальных исследований в рамках проектов 18-05-60048, 18-05-60083 и 17-05-41197.

СЕКЦИЯ 1
«ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ
ФОРМИРОВАНИЯ И ЭВОЛЮЦИИ МОРСКОЙ СРЕДЫ»

ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ
ГЛУБИННЫХ ВОД ГДАНЬСКОЙ КОТЛОВИНЫ
БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Артамонова К.В.¹, Демидов А.Н.²

¹*ВНИРО, г. Москва, Россия*

²*МГУ, географический факультет, г. Москва, Россия*
ksusha.vniro@gmail.com

Ключевые слова: Балтийское море, Гданьская котловина, глубинные воды, температура воды, соленость, растворенный кислород, сероводород.

Проанализирована изменчивость гидролого-гидрохимических характеристик (температуры, солености, растворенного кислорода и сероводорода) в глубинных Североморских водах Гданьской котловины Балтийского моря в летний период 2014–2018 гг. Данные, используемые в работе, были получены в ходе комплексных учебно-научных экспедиций в Гданьской котловине по проектам РГО-РФФИ (в июле-августе 2014–2018 гг.). Показано, что T,S-диаграммы в течение исследуемого периода имели сходную трехслойную структуру, при этом Североморские глубинные воды в Гданьской котловине залегали на глубинах свыше 65 м и характеризовались соленостью 8–12 епс и температурой до 7° С. Показана зависимость гидролого-гидрохимических условий глубинных вод от интенсивности и периодичности затоков Североморских вод (ЗСВ). Выявлено, что не каждый ЗСВ, приводящий к увеличению солености в глубинных водах Гданьской котловины, приводит к значимому увеличению здесь содержания

растворенного кислорода. Показано, что с 2014 по 2018 гг. прослеживается потепление Североморских глубинных вод на 1,5°C.

По полученным наблюдениям выявлены три разные ситуации по кислородным условиям в глубинных водах Гданьской котловины: благоприятные с высокими концентрациями растворенного кислорода в июле-августе 2014 г.; промежуточная ситуация с уже нарастающим дефицитом кислорода в июне-августе 2015 г.; бескислородные условия во всем слое североморских вод Гданьской котловины ниже 85–90 м, характеризующиеся наличием сероводорода с концентрациями более 1 мл/л (июль-август 2018 г.).

Авторы выражают огромную благодарность своим коллегам И.А. Гангнусу, Н.А. Рыкову, Н.С. Чечуевой и А.С. Гордей за помощь в получении и обработке экспедиционных данных. Исследование проведено при финансовой поддержке РФФИ-РГО проект №17-05-41029.

ОСОБЕННОСТИ СТЕРИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ МОРЯ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ

Архипкин В.С.

МГУ, г. Москва, Россия
victor.arkhipkin@gmail.com

Ключевые слова: уровень моря, стерические колебания, Баренцево море.

Для исследования особенностей многолетней изменчивости стерического уровня в Баренцевом море была проведена выборка квадратов, наиболее обеспеченных океанографическими данными. При этом должны были выполняться несколько условий: 1) для расчетов стерического уровня нужны одновременно температура и соленость морской воды на разных горизонтах; 2) количество горизонтов наблюдений в пределах толщи воды до 200 м должно было превышать 10; 3) океанографическими

наблюдениями должно охватываться как можно большее количество лет.

Источником данных послужила база данных World Ocean Database (WOD). Использовались только те типы наблюдений, при которых температура и соленость морской воды измеряются одновременно: Ocean Station Data (OSD) (батометрические серии, CTD низкого разрешения); CTD высокого разрешения и Autonomous Pinniped Bathythermographs (APB), устанавливаемые на ластоногих животных.

Всего из базы WOD за период с 1900 по 2018 гг. было выбрано 141 548 океанографических станций: OSD (118137), CTD (21237), APB (2174).

Перед началом исследования многолетней изменчивости стерического уровня необходимо знать особенности его сезонной изменчивости. Используя данные атласа World Ocean Atlas 2018 и методику расчета стерического уровня, описанную в работе [Архипкин, Бережной, 1995], были рассчитаны стерический уровень за разные месяцы года и размах сезонных колебаний стерического уровня, а также проведен гармонический анализ этих колебаний.

Самый низкий стерический уровень наблюдается в центральной части моря во все сезоны года, например, в феврале на 14 см ниже среднемноголетнего. При приближении к Скандинавии и Мурманскому побережью, к архипелагам Шпицберген и Земля Франца Иосифа, стерический уровень увеличивается, наибольший (на 8–9 см выше среднего) отмечается у Скандинавии и Мурманского побережий в августе.

Размах сезонных стерических колебаний уровня в центральной части Баренцева моря небольшой – от 2 до 4 см, у Шпицбергена, Земли Франца Иосифа и Мурманского побережья размах колебаний увеличивается. Самый большой размах колебаний стерического уровня отмечается у Земли Франца Иосифа – до 16 см.

Гармонический анализ (использовались две гармоники – годовая и полугодовая) сезонного хода стерического уровня в Баренцевом море показал, что в южной части моря больше 80% всей дисперсии колебаний приходится на годовую гармонику. При продвижении на северо-восток ее влияние значительно уменьшается. Максимум амплитуды годовой гармоники приходится на

конец сентября – начало октября, причем в центральной части он отмечается на 2–30 дней раньше.

Многолетняя изменчивость стерического уровня в Баренцевом море изучалась в наиболее обеспеченном океанографическими данными квадрате – 70–75° с. ш. и 30–35° в. д. Расчеты показали, что вклад температуры преобладает (около 68%). При этом в период с 1950 по 1975 гг. подъем стерического уровня происходил за счет солёности, особенно в 1950–1960 гг. (температурная составляющая оставалась приблизительно на одном и том же уровне). Скорость подъема уровня средняя за 110 лет была порядка 0,6 мм/год; наиболее быстрый рост наблюдался в 1950-е и 2000-е гг. – порядка 2 мм/год.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ №18-05-60083.

ОЦЕНКИ АМПЛИТУДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАКАТА ВОЛН ЦУНАМИ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

Базыкина А.Ю., Фомин В.В.

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

Ключевые слова: численное моделирование, цунами в Черном море, накат волн на берег, амплитудные характеристики волн цунами.

Известно, что явление цунами в Черном море, в основном, имеет сейсмическое происхождение, реже – метеорологическое и оползневое. Несмотря на то, что волны цунами в этом регионе имеют небольшую высоту, по сравнению со штормовыми волнами, они обладают не менее мощной энергией. Поэтому своевременное предупреждение этого опасного природного явления и определение наиболее подверженных воздействию волн цунами участков побережья является важной задачей по мониторингу и защите прибрежной зоны Черного моря.

В рамках нелинейной модели поверхностных длинных волн решалась задача о распространении волн цунами в прибрежной зоне Черного моря с последующим накатом волн на побережье. Выполнена серия численных экспериментов по распространению волн из сейсмических очагов генерации цунами для определения амплитудных характеристик и периодов подходящих к берегу волн. Параметры зон генерации цунами находились по эмпирическим формулам в зависимости от магнитуды землетрясения. Показаны особенности эволюции и трансформации волн цунами в прибрежной зоне. Получены оценки вертикального и горизонтального заплесков и глубин осушения берега для характерных масштабов нерегулярности береговой черты при различных типах начального возмущения. Для нескольких пунктов черноморского побережья рассчитаны мареограммы, найдены экстремальные смещения уровня моря и изменение периодов волн цунами.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2019-0004 «Прибрежные исследования».

СВЯЗЬ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ И ВЕРТИКАЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ В ПОДПОВЕРХНОСТНОМ ЛОФОТЕНСКОМ ВИХРЕ

Башмачников И.Л.^{1, 2}, Белоненко Т.В.¹, Куйбин П.А.³

¹*СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия*

²*Фонд «Нансен-Центр», г. Санкт-Петербург, Россия*

³*ИТ СО РАН, г. Новосибирск, Россия*

igor1969@mail.ru

Ключевые слова: Норвежское море, Лофотенский вихрь, структура вертикальной скорости течения, дивергенция.

Средние радиальные распределения различных динамических характеристик постоянно существующего антициклонического Лофотенского вихря, с заглубленным ядром, были получены по данным вихреразрешающей региональной гидродинамической

модели Массачусетского института технологии (МИТ). Предварительная верификация модели показала, что модель адекватно воспроизводит наблюдаемую среднюю трехмерную термохалинную и динамическую структуру Лофотенского вихря.

Результаты исследования вторичной циркуляции в вихре, связанной с агеострофическими эффектами, показали, что скорости такой циркуляции составляли первые см/с. Это на порядок меньше азимутальных скоростей в вихре, что согласуется с характерным соотношением этих скоростей в вихрях с невысокими числами Россби. Полученное радиальное распределение вертикальной средней скорости образует сложную структуру: с восходящими токами вдоль оси ядра Лофотенского вихря и над ядром, которые компенсируются нисходящими токами по периферии вихря. Под ядром вихря восходящих токов не наблюдается и происходит конвергенция нисходящих токов к оси вихря. Выделенная структура вертикальной скорости соответствовала структуре радиальных скоростей, а также характеру изгиба изопикн.

Применение теории колоннообразных вихрей со спиральной структурой [Куйбин П.А, Окулов В.Л. Одномерные решения для течений с винтовой симметрией // Теплофизика и аэромеханика. 1996. № 4. С. 311–315] к Лофотенскому вихрю позволило по характеру радиальной изменчивости азимутальной скорости получить реалистичные радиальные профили вертикальной скорости [Башмачников И.Л, Куйбин П.А. Приложение теории колоннообразных Q-вихрей с винтовой структурой к описанию динамических характеристики Лофотенского вихря Норвежского моря // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2017. № 62 (3), С. 221–236]. Ход азимутальной скорости аппроксимировался профилем Рэлея.

Оценки показали, что вторичная циркуляция в нижней части вихря поддерживается Экмановской дивергенцией в придонном перемешанном слое [Pedlosky J. Geophysical fluid dynamics // Springer Verlag. 1987. P.1–710]. Вторичная циркуляция в верхней части вихря сформировалась под влиянием динамической неустойчивости границы вихря и, в меньшей степени, за счет горизонтальной диффузии энергии вихря, усиливающих к поверхности моря. Хотя оба эти процесса приводят к диссипации кинетической энергии вихря, через генерацию вторичной циркуляции

они одновременно поддерживают аномалию доступной потенциальной энергии в верхней части ядра вихря. Последний процесс способствует увеличению времени жизни подповерхностного вихря.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-17-01151).

СЕЛЕКТИВНОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ ^{210}Pb ИЗ МОРСКОЙ ВОДЫ СОРБЕНТАМИ ИМПРЕГНИРОВАННОГО ТИПА

Бежин Н.А.¹, Довгий И.И.², Выдыш А.А.¹, Янковская В.С.³

¹*СевГУ, г. Севастополь, Россия,*

²*МГИ, г. Севастополь, Россия,*

³*ЦГиЭ в РК и гфз Севастополе, г. Севастополь, Россия*
nickbezhin@yandex.ru, dovhyi.illarion@yandex.ru

Ключевые слова: ^{210}Pb , морская вода, сорбенты, краун-эфиры, поданды.

Радионуклиды, входящие в радиоактивные ряды ^{238}U , ^{235}U и ^{232}Th , находят широкое применение в качестве трассеров благодаря различному геохимическому поведению. Равновесие между радиоактивными парами $^{234}\text{Th}/^{238}\text{U}$ и $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$ широко используется для определения потоков взвешенного органического вещества в морской среде.

Поэтому за рубежом был разработан быстрый прямой метод для определения ^{210}Pb и ^{210}Po в морской воде. Улучшениями данного метода по сравнению с другими является возможность: завершения анализа в течение 6 дней; достижения очень низких пределов обнаружения ^{210}Pb и ^{210}Po ; возможность проведения большей части метода на борту исследовательского судна.

В данном методе для разделения пары $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$ предлагается использовать сорбент Sr Resin. Однако данный продукт имеет ряд недостатков: вымывание краун-эфира, дороговизна. Поэтому нами проводится изучение прямого селективного извлечения

^{210}Pb с использованием сорбентов импрегнированного типа на основе краун-эфиров и различных разбавителей (октанола-1, нитробензола, спирта-теломера n3), в том числе ионных жидкостей, а также на основе фосфорилподанда (1,8-бис[2-(дифенилфосфосфорилметил)фенокси]-3,6-диоксаоктана).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и города Севастополь в рамках научного проекта № 18-43-920004, государственного задания ФАНО Российской Федерации (тема «Океанологические процессы» № 0827-2019-0003).

РАСПРОСТРАНЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ВОЛН В ЖИДКОСТИ С ПЛАВАЮЩИМ ЛЕДОВЫМ ПОКРОВОМ

Букатов А.А.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
newisland@list.ru*

Ключевые слова: нелинейные волны, изгибно-гравитационные волны, взаимодействие волн, упругий лед.

На основе метода многих масштабов получены асимптотические разложения до величин третьего порядка малости для возвышения поверхности пластинка-жидкость и потенциала скорости движения жидких частиц, формируемых при распространении и нелинейном взаимодействии двух гармоник прогрессивных поверхностных волн конечной амплитуды в однородной идеальной несжимаемой жидкости конечной глубины с плавающей ледовой упругой пластинкой на поверхности. Проведен анализ зависимости волновых характеристик от модуля упругости и толщины пластинки, длины и крутизны волны начальной основной гармоники. Дана оценка влияния нелинейности вертикальных ускорений ледяного покрова при его изгибе на характеристики колебаний. В случае нелинейного взаимодействия волновых гар-

моник получено выражение амплитуды второй взаимодействующей гармоники и изучена зависимость ее распределения по волновому числу от характеристик пластинки и нелинейности ускорения вертикальных смещений льда. Определены критические значения волнового числа. Рассмотрено влияние характеристик взаимодействующих гармоник на распределение высоты вертикального смещения пластинки вдоль профиля волны ее изгибной деформации.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2019-0003.

ДИСПЕРСИОННЫЕ СВОЙСТВА СВОБОДНЫХ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В БАРЕНЦЕВОМ И КАРСКОМ МОРЯХ

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

*МГИ, г. Севастополь, Россия
ne.le.7@hotmail.com*

Ключевые слова: Баренцево море, Карское море, частота плавучести, внутренние волны, дисперсионные свойства, собственная частота, собственный период.

На основе линеаризованных уравнений движения идеальной, несжимаемой, непрерывно стратифицированной жидкости выполнено исследование дисперсионных свойств свободных внутренних волн (ВВ) в Баренцевом и Карском морях. В результате решения основной краевой задачи типа Штурма – Лиувилля рассчитаны собственные частоты пяти низших мод и собственный период первой моды внутренних волн. Для расчета поля плотности использовались данные реанализа World Ocean Atlas 2013 по температуре и солёности за период 1955–2012 гг. с разрешением $0,25^\circ \times 0,25^\circ$. Выполнен анализ связи дисперсионных свойств короткопериодных ВВ и вертикальной структуры поля плотности. Проведено сравнение дисперсионных характеристик ВВ в Барен-

цевом и Карском морях. Показано, что между плотностной стратификацией вод и дисперсионными свойствами ВВ прослеживается ярко выраженная связь. В месяцы максимальных градиентов плотности наблюдаются самые короткопериодные и самые высокочастотные ВВ. Установлено, что значения усредненных максимумов частоты Вьяйсяля – Брента в Баренцевом море меньше, чем в Карском море примерно в 3 раза, значения усредненных собственных частот меньше приблизительно в 2 раза, а значения усредненных собственных периодов больше примерно в 2 раза.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2019-0003.

НЕСТАЦИОНАРНЫЕ РЕЖИМЫ ГЕНЕРАЦИИ ВНУТРЕННИХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН В ОКЕАНЕ

Булатов В.В., Владимиров Ю.В.

*ИИМех РАН, г. Москва, Россия
internalwave@mail.ru*

Ключевые слова: внутренние и поверхностные гравитационные волны, стратифицированный океан, волновая динамика, асимптотики.

Целью работы является математическое моделирование нестационарных режимов генерации полей внутренних и поверхностных гравитационных волн, возбуждаемых нестационарными движущимися источниками возмущений. Изучены основные особенности фазовых структур и волновых картин возбуждаемых волновых полей в зависимости от различных параметров генерации. Результаты математического моделирования нестационарных режимов генерации показывают, что дальние волновые поля от нестационарных источников возмущений при определенных режимах генерации представляют собой гибридную систему волн двух типов: кольцевых (поперечных) и клиновидных (продольных). Нестационарность источника возмущений приводит к

появлению не только кольцевых волн, расходящихся непосредственно от источника, но также к генерации гибридных волновых возмущений, распространяющихся от источника вверх по потоку. Качественная картина волновых полей от нестационарного источника существенно усложняется по сравнению со случаем генерации волн движущимся стационарным источником, когда в фиксированную точку наблюдения последовательно приходят волновые фронты отдельных клиновидных (продольных) мод. Расчеты показывают, что при определенных параметрах генерации в фиксированную точку наблюдения могут приходить вначале кольцевые (поперечные) волны. Волновые моды, первые достигающей фиксированной точки наблюдения, определяются параметрами генерации и стратификацией среды. Для больших номеров мод угол полураствора волнового клина уменьшается с номером моды так же, как и для случаев стационарных режимов генерации. Полученные результаты математического моделирования полей внутренних и поверхностных гравитационных волн дают возможность эффективно анализировать основные амплитудно-фазовые характеристики возбуждаемых волновых полей, и, кроме того, качественно исследовать полученные решения, что важно для правильной постановки более сложных математических моделей волновой динамики реальных стратифицированных сред. Подобного рода волновые картины могут наблюдаться при дистанционном зондировании, наблюдении и измерениях внутренних и поверхностных гравитационных волн, возбуждаемых различными источниками возмущений, в природных (океан, атмосфера Земли) и искусственных стратифицированных средах. Помимо фундаментального интереса построенные математические модели представляют значительную ценность для практики, поскольку позволяют решать задачи моделирования волновых гидрофизических полей в широком классе приложений.

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ АКВАТОРИИ ЧЕРНОГО МОРЯ В 2018 Г.

Бурдина Е.И., Баскакова Т.Е.

АзНИИРХ, г. Ростов-на-Дону, Россия
helensine@yandex.ru

Ключевые слова: гидрохимическая структура, фотосинтез, деятельный слой, минеральный азот, фосфаты, кремнекислота.

Формирование гидрохимической структуры вод Черного моря в 2018 г. определялось динамическими и продукционными процессами, которые соответствовали сезонному состоянию водной толщи.

В весенне-раннелетний период районы, охваченные фотосинтезом с различной скоростью продуцирования первичного органического вещества, формировались локально на протяжении всей акватории Российского побережья Черного моря. Подповерхностный максимум фиксировался на горизонтах сезонного термоклина исключительно в глубоководной зоне. Так, в Крымском секторе наибольшая скорость фотосинтеза фиксировалась в створах глубоководных станций Симеиза – 7,96 мл/л (112%) и Судака – 8,56 мл/л (123%); в Кавказском секторе в створах Геленджика – 7,53 мл/л (107%) и Архипо-Осиповки – 7,40 мл/л (104%) на 30 м глубине. В летне-осенний период по средним оценкам в Крымском секторе деятельный слой (0–30 м) характеризовался сниженной скоростью фотосинтеза и насыщение воды кислородом было ниже равновесного (96%). В Кавказском секторе за счет активации динамики вод насыщение кислородом как в прибрежной (101%), так и глубоководной зонах (106%) свидетельствовало об интенсивных продукционных процессах.

По среднегодовым оценкам содержание минерального азота в деятельном слое составляет весной – 52 мг/м³, осенью – 33 мг/м³. Сниженная концентрация минерального азота в весенне-раннелетний период года была обусловлена высоким сезонным залеганием термоклина и ХПС вследствие резкого прогрева воды и нарушения водообмена между слоями. В результате

содержание минерального азота в слое 0–50 м (28 мг/м^3) оказалось в 2 раза ниже среднееголетнего уровня. В осенний период 2018 г. содержание минерального азота соответствовало среднееголетнему значению и составляло 33 мг/м^3 .

Среднее содержание фосфатов в 2018 г. в слое 0–50 м в весенне-раннелетний период (18 мг/м^3) незначительно превысило среднееголетнее значение (10 мг/м^3). При этом минимальное количество фосфатов ($\leq 10 \text{ мг/м}^3$) отмечалось в зонах интенсивного фотосинтеза и совпадало с максимумом насыщения воды кислородом. В осенний период при развитии сезонного антициклона фосфаты были истощены до 100 м, что связано с опусканием глубинных вод, а также их потреблением фитопланктоном и бактериопланктоном.

Колебания концентрации кремнекислоты в весенне-раннелетний период в слоях фотосинтеза, как известно, отражают ее зависимость от солености, которая минимальна в марте-апреле и повышается в летне-осенний период. В многолетнем разрезе содержание кремнекислоты в деятельном слое составляет 200 мг/м^3 весной, снижаясь до 100 мг/м^3 осенью. В 2018 г. среднее содержание кремнекислоты в слое 0–50 м соответствовало фоновым значениям в обоих сезонах. Истощение кремния отмечалось локально при доминировании диатомовых водорослей, обогащение – при подъеме глубинных вод.

Можно заключить, что в 2018 г. в обоих сезонах содержание в воде растворенного кислорода и биогенных веществ определялось типом циркуляции вод. Активность фотосинтеза в Черном море была выше в весенне-раннелетний период относительно летне-осеннего, продукционные процессы локально охватывали районы на протяжении всей акватории Российского побережья.

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ МЕДИ И ЦИНКА В ВОДЕ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ АЗОВСКОГО МОРЯ

Буфетова М.В.

*МГРИ-РГГРУ, г. Москва, Россия
mbufetova@mail.ru*

Ключевые слова: тяжелые металлы, медь, цинк, загрязнение, источники, морская экосистема.

Азовское море обладает статусом рыбохозяйственного водоема и имеет высокий рекреационный потенциал, а значит, несет в себе большой интерес как объект исследования и мониторинга окружающей среды.

К числу приоритетных загрязняющих веществ морских экосистем относятся тяжелые металлы, отличающиеся максимальной аккумуляционной способностью и высокой токсичностью.

В работе были использованы данные, предоставленные ФГУ «Азовморинформцентр» по концентрации меди и цинка в воде и донных отложениях в 2017 г. в рамках сотрудничества с кафедрой экологии и природопользования МГРИ. Пробы воды отбирались на 19 станциях, пробы донных отложений – на 13 станциях. Всего проанализировано 76 проб воды и 13 проб донных отложений. Измерения проводились в испытательной лаборатории ФГУ «Азовморинформцентр».

В экосистему Азовского моря медь и цинк поступают как из природных, так и антропогенных источников, а один из главных – речной сток, в основном рек Дона и Кубани. Также источниками меди и цинка для экосистемы Азовского моря являются атмосферные осадки, интенсификация судоходства, строительство новых и реконструкция существующих портов, сточные воды населенных пунктов, расположенных на побережье: Азов, Таганрог, Ейск, Приморско-Ахтарск, Темрюк и др.

Содержание тяжелых металлов в воде. Превышения ПДК меди (5 мкг/л) наблюдались во многих районах моря: до 12 мкг/л в Керченском проливе, до 13 мкг/л в районе порта Темрюк, до 26 мкг/л в центре Таганрогского залива. Среднее значение концентрации меди в 2017 году в воде Азовского моря составило

6,7 мкг/л. Наличие высокого содержания меди в водоеме очень опасно, так как приводит к активному поглощению этого металла биологической средой, что в свою очередь может привести к заболеваниям как самой рыбы, так и потребляющего ее в пищу человека.

Содержание цинка в воде Азовского моря превышало ПДК (50 мкг/л) в Керченском проливе и составляло 61 мкг/л. Среднее значение по всему морю составило 21,4 мкг/л.

Содержание тяжелых металлов в донных отложениях. Концентрация меди в донных отложениях моря находилась в диапазоне 2,6–25 мкг/г, при среднем значении 10,1 мкг/г. Наибольшие концентрации наблюдались в пробах, отобранных в Керченском проливе (до 25 мкг/г) и в районе порта Темрюк (12 мкг/г) при допустимой концентрации по «голландским листам» – 35 мкг/г.

Наибольшие значения цинка отмечены в донных отложениях Таганрогского залива (в 9 км от г. Таганрог), которые составили 63,2 мкг/г при допустимой концентрации – 140 мкг/г. Среднее значение для всего моря составило 28 мкг/г.

Таким образом, наиболее загрязненными районами моря медью и цинком являются Керченский пролив, центральная и восточная части Таганрогского залива, а также Кубано-Ахтарский и Кубано-Темрюкский районы моря. Сезонная динамика показывает, что максимальные концентрации меди и цинка наблюдались преимущественно весной, либо осенью, что говорит о смыве соединений этих металлов с весенним половодьем и с началом осеннего периода дождей с прилегающих территорий. Указанные районы характеризуются наибольшими значениями тяжелых металлов и в донных отложениях. В связи с этим необходимо на уровне хозяйствующих субъектов особое внимание направить на снижение антропогенного воздействия на морскую экосистему Азовского моря.

ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ МОРСКОЙ ВОДЫ ПОСЛЕ ВЫПАДЕНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ

Вареник А.В., Калининская Д.В., Мыслина М.А., Хоружий Д.С.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
alla.varenik@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: морская вода, атмосферные осадки, биогенные элементы, пылевой перенос.

Наличие и концентрация основных биогенных элементов (неорганического азота и фосфора, а также кремния) наряду с интенсивностью света определяет рост и развитие различных видов фитопланктона в морских экосистемах. Атмосферные осадки являются важным источником поступления биогенных элементов в поверхностный слой морских акваторий.

Для анализа влияния атмосферных осадков на изменение содержания биогенных элементов в Севастопольской бухте проводился отбор проб атмосферных осадков на МГС «Севастополь», а также поверхностного слоя морской воды в течение 4–5 дней (или дольше, до установления сухого периода) после выпадения осадков. В пробах осадков и морской воды определялось содержание неорганического азота, фосфатов и силикатов.

Результаты проведенных исследований показали, что после выпадения осадков величина концентраций биогенных элементов в поверхностном слое вод бухты во многих случаях была сопоставима с их концентрацией в районах, подверженных стоку ливневой канализации и бытовых стоков. Однако по прошествии нескольких дней после выпадения осадков концентрация азота, фосфора и кремния линейно снижалась. При этом содержание аммонийного азота достигало фонового уровня значительно быстрее нитратов. Объяснением этого факта может служить то, что аммонийный азот более доступен для потребления некоторыми видами фитопланктона.

В случае зафиксированного пылевого переноса биогенных элементов со стороны Сирийской пустыни или Сахары концентрация кремния и фосфатов значительно превышала фоновое значение для данного участка акватории бухты.

Соотношение биогенных элементов в поверхностном слое Севастопольской бухты (N : P : Si) значительно отличается от классического соотношения Редфилда 16 : 1 : 15. Учитывая, что концентрация поступающих биогенных элементов с атмосферными осадками существенно выше их содержания в поверхностном слое вод бухты, то при выпадении осадков это различие становится еще более явным. Кроме того, выпадение атмосферных осадков с чрезвычайно высокими концентрациями кремния и фосфора в случае пылевого переноса со стороны пустынных районов (даже эпизодические явления) может оказывать воздействие на морскую экосистему, включая биологическое сообщество и концентрацию хлорофилла-а.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФГБУН МГИ РАН № 0827-2019-0003 и проекта РФФИ № 19-05-00140 А «Воздействие пылевого переноса на баланс биогенных веществ и биохимические характеристики Черного моря».

ВЕБ-АТЛАС НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ПРОЯВЛЕНИЯМИ ВНУТРЕННИХ ВОЛН НА ШЕЛЬФЕ КРЫМА И РЕЗУЛЬТАТОВ ИХ МОДЕЛИРОВАНИЯ

**Вержевская Л.В., Медведева А.В., Багаев А.В., Шульга Т.Я.,
Пластун Т.В., Свищева И.А., Иванов В.А., Жук Е.В.**

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

Ключевые слова: внутренние волны, спутниковые снимки, математическое моделирование, ГИС, Черное море.

Одним из необходимых условий для обеспечения хозяйственной деятельности в прибрежных областях является изучение физических процессов, происходящих в шельфовой зоне, в том

числе интенсивных внутренних волн. Их изучение может включать использование контактных, дистанционных методов, а также математическое моделирование. Визуализацию результатов таких исследований целесообразно осуществить в виде веб-атласа, в котором пользователи могут выводить необходимые параметры. Данная работа посвящена усовершенствованию и доработке веб-атласа проявлений внутренних волн на шельфе Крыма вблизи Гераклейского п-ова по данным спутниковых наблюдений и результатам математического моделирования.

В атласе содержатся данные, полученные со спутниковых снимков и хранящиеся в виде точек и полигонов. Полигоны в форме шестигранников описывают форму выявленных волновых пакетов. Для каждого из них отображается информация о пространственных характеристиках: длине и ширине волнового пакета, направлении его распространения, ширине фронта и длине волны, а также дата наблюдения и тип спутника. Для точек, расположенных в вершинах шестигранников, указаны данные о длине волны и длине волнового пакета, глубине места по данным GEBCO, а также дате наблюдения и типе спутника. Кроме того, представлены полигоны, ограничивающие три выделенных области проявления внутренних волн на спутниковых снимках. Для них указаны данные о количестве обнаруженных проявлений внутренних волн в каждой области, а также минимальное, максимальное, среднее и медианное значение длины волны.

Результаты моделирования содержатся в слоях в виде прямых линий и точек. Для каждого из 18 разрезов (линии) можно отобразить полученные значения средней глубины залегания пикноклина и с.к.о. в разные месяцы. Информация о глубине места, фазовой скорости, глубине и периоде внутренних волн первых трех мод по данным математического моделирования содержится в слоях, разделенных по месяцам: май, июнь, июль и август.

Первая версия атласа была сформирована на базе открытой геоинформационной системы «QGIS» и выложена на сервер «QGIS Cloud». Эта система дает возможность отображения данных в виде подключаемых слоев, состоящих из полигонов, точек или линий. При нажатии на точку на карте выводится информация о соответствующем объекте. Однако существующая система имела ряд недостатков: интерфейс был не вполне удобным для

пользователей, функционал не включал возможности выбора данных, названия параметров выводились недостаточно понятно для пользователя. В связи с этим было принято решение переработать систему выбора и визуализации данных по проявлениям внутренних волн и их моделированию. Для этого была разработана онлайн система на базе клиент-серверной архитектуры. Для хранения данных о проявлениях внутренних волн на спутниковых снимках и результатов математического моделирования их характеристик была разработана база данных внутренних волн у побережья Гераклейского п-ова. Для построения запросов и отображения данных разработан пользовательский интерфейс. На данном этапе он обеспечивает более дружественное взаимодействие с пользователями: подробное отображение названий полей и параметров, интерактивность, скачивание данных.

Работа выполнена в рамках научного проекта РФФИ №18-45-920036 и частично в рамках госзадания по теме 0827-2018-0004.

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ СУБКИСЛОРОДНОЙ ЗОНЫ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ЭКСПЕДИЦИОННЫМ ДАННЫМ 2018 Г.

Видничук А.В., Кондратьев С.И.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
anna_vidnichuk@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: субкислородная зона, кислород, сероводород, шельфовые и глубоководные районы Черного моря.

Продолжая выполнение мониторинга состояния субкислородной зоны (СКЗ) Черного моря в пределах экономической зоны России, в 2018 г. МГИ РАН в сотрудничестве с ИМБИ и ИО выполнил три экспедиции на НИС «Профессор Водяницкий». В июне-июле (38 станций с определением вертикальных профилей кислорода и сероводорода), в августе-сентябре (19 станций) и в ноябре-декабре (28 станций).

Верхняя граница СКЗ, определяемая по изооксигене 10 мкМ, в июне располагалась, как правило, в пределах изопикн $\sigma_t = 15,65\text{--}15,8 \text{ кг/м}^3$, в сентябре несколько опустилась на $\sigma_t = 15,7\text{--}15,8 \text{ кг/м}^3$, в декабре осталась на том же уровне, приподнимаясь чуть выше $\sigma_t = 15,7 \text{ кг/м}^3$ в восточном районе моря и возле керченского шельфа.

Содержание кислорода на изопикне $\sigma_t = 15,8 \text{ кг/м}^3$ на всех выполненных станциях было ниже 10 мкМ и только на двух станциях превышало эту величину. Одна станция в декабре располагалась над континентальным склоном на разрезе м. Херсонес – пролив Босфор, другая находилась на СЗШ, где в июне превышение концентрации O_2 на $\sigma_t = 15,8 \text{ кг/м}^3$ сопровождалось также поднятием сероводорода до $\sigma_t = 16,05 \text{ кг/м}^3$.

Нижняя граница СКЗ, определяемая по изосульфиде 3 мкМ, в июне на 34 из 38 выполненных станций располагалась в пределах изопикнических поверхностей $\sigma_t = 16,10\text{--}16,15 \text{ кг/м}^3$. Повышение нижней границы СКЗ (до $\sigma_t = 16,02 \text{ кг/м}^3$) наблюдали на двух шельфовых станциях возле м. Меганом, и на двух станциях северо-западного шельфа (СЗШ), причем на одной из них изосульфида 3 мкМ поднялась до $\sigma_t = 16,05 \text{ кг/м}^3$, а на другой еще выше, до $\sigma_t = 15,95 \text{ кг/м}^3$.

В сентябре изосульфида 3 мкМ располагалась на изопикне $\sigma_t = 16,1 \text{ кг/м}^3$ или чуть ниже, только на одной станции на шельфе под Керченским проливом она поднялась до $\sigma_t = 16,05 \text{ кг/м}^3$. Такая же ситуация с расположением нижней границы СКЗ на изопикне $\sigma_t = 16,1 \text{ кг/м}^3$, или несколько глубже, наблюдалась и в декабре, в этот период поднятие изосульфида 3 мкМ было обнаружено только на одной станции СЗШ.

Причиной зафиксированного поднятия нижней границы СКЗ может быть усиление турбулентного обмена, поскольку все названные станции были расположены в зоне сопряжения шельфа и континентального склона, где коэффициент турбулентного обмена максимален.

Особое внимание уделяется величине максимальной концентрации сероводорода в Черном море, которая наблюдается на глубинах более 1750 м, где в вертикальных распределениях вели-

чин солености, температуры и концентрации сероводорода практически отсутствует какой-либо градиент. Средняя концентрация сероводорода в глубинном слое вод для трех экспедиций 2018 г. (всего 15 измерений) составила 382 мкМ (пределы 378–386 мкМ., СКВО 2,6 мкМ).

Работа выполнена в рамках государственного задания по темам №0827-2019-0003 «Фундаментальные исследования океанологических процессов, определяющих состояние и эволюцию морской среды под влиянием естественных и антропогенных факторов, на основе методов наблюдения и моделирования» (шифр «Океанологические процессы») и №0827-2019-0004 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей» (шифр «Прибрежные исследования»).

О РАЙОНАХ ГЕНЕЗИСА ЦИКЛОНОВ, ВЫХОДЯЩИХ НА ЕВРОПЕЙСКУЮ ТЕРРИТОРИЮ РОССИИ

Вязилова Н.А.

*ВНИИГМИ-МЦД, г. Обнинск, Россия
nav@meteo.ru*

Ключевые слова: внетропические циклоны, траектории, генезис циклонов.

В оценке циклонической активности сведения о траекториях внетропических циклонов относятся к числу наиболее распространенных и востребованных показателей, наряду с информацией о районах генезиса и затухания циклонов, длине жизни циклонов и путей их передвижения.

В настоящей работе представлено исследование плотности траекторий внетропических циклонов, выходящих на европейскую территорию России в зимнюю и летнюю половину года, а также распределение траекторий циклонов по районам генезиса и длине жизни за период с 1979 по 2018 гг.

Траектории циклонов рассчитаны автоматизированным методом на основе синоптических данных приземного давления, данных реанализа-2 NCAR/NCEP DOE (США). Количество траекторий циклонов входит в комплекс показателей циклонической активности, рассчитываемых в рамках прикладной задачи ЕСИМО и представленных на портале ЕСИМО для всего региона Северной Атлантики и Европы, а также отдельных выбранных районов для каждого календарного месяца за период исследования.

Плотность траекторий циклонов в основном определяется как количество циклонов, проходящих через исследуемый район за определенный промежуток времени, *плотность генезиса циклонов* или *плотность возникающих циклонов* – как количество циклонов, зародившихся или имеющих свое начало в данном районе. Для анализа отбирались циклоны с длиной жизни от 2 суток и более.

Результаты исследования показывают, что на европейскую территорию России в зимнюю и летнюю половину года выходит около 20–25 циклонов за сезон. Экстремально глубокие циклоны, как в зимние, так и летние месяцы, составляют значительную долю от общего количества циклонов, в отдельные годы достигающую 80%.

Более 36% всех циклонов, выходящих на территорию России, как в летний, так и зимний сезон, берет начало в основной европейской зоне шторм-трека умеренных широт – в регионе Северного и Балтийского морей. 30–33% траекторий начинается в южных широтах – в западной и восточной части Средиземноморского региона. Из полярных широт приходит менее 10% циклонов, с акватории Атлантического океана – около 4% циклонов. Около 25% циклонов зарождается или регенерируется на территории России.

Максимальной продолжительностью жизни отличаются циклоны, зарождающиеся на акватории Северной Атлантики и в западной части Средиземного моря. Большая часть атлантических и средиземноморских циклонов имеет длину жизни более 4 суток. Продолжительность жизни некоторых атлантических циклонов превышает 10 суток.

**ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ
ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ГИДРОДИНАМИКИ,
ИСПОЛЬЗУЮЩАЯ НОВЫЙ КЛАСС
КОНСЕРВАТИВНЫХ РАЗНОСТНЫХ СХЕМ,
СОХРАНЯЮЩИХ МОМЕНТ ИМПУЛЬСА
НА РАСЧЕТНЫХ СЕТКАХ**

**Головизнин В.М.¹, Горчаков А.Ю.², Залесный В.Б.³,
Майоров Павел А.⁵, Майоров Петр А.⁵, Семенов Е.В.⁴,
Соловьев А.В.⁵**

¹*МГУ, г. Москва, Россия*

²*ВЦ РАН, г. Москва, Россия*

³*ИВМ РАН, г. Москва, Россия*

⁴*ИО РАН, г. Москва, Россия*

⁵*ИБРАЭ, г. Москва, Россия*

gol@ibrae.ac.ru

Ключевые слова: численная модель, новый класс алгоритмов, локальные инварианты Римана, схема КАБАРЕ, ассимиляция данных, Белое море.

В работе предложена численная модель для решения уравнений геофизической гидродинамики, использующая новый класс консервативных разностных схем, сохраняющих массу и момент импульса на расчетных сетках с произвольной топологией расчетных ячеек и вычислением потоков на их гранях с привлечением локальных инвариантов Римана (Балансно-характеристические схемы, в частности, схема КАБАРЕ).

Проведены результаты верификации модели и ее апробация на моделировании динамики вод Белого моря.

Рассматривается технология решения задачи ассимиляции глубоководных термохалинных измерений в вариационной постановке с автоматическим нахождением необходимого градиента при вариации краевых условий.

Данная постановка апробируется методом «близнецов» с использованием решения прямой задачи динамики вод Белого моря. Приведены результаты апробации.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДОРОДНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ И ТЕНДЕНЦИИ ЕГО ИЗМЕНЕНИЙ

Гребнева Е.А., Полонский А.Б.

*ИПТС, г. Севастополь, Россия
lenagrebneva12@gmail.com*

Ключевые слова: Черное море, водородный показатель, рН, глубоководная часть моря, тренды рН.

Одним из важнейших показателей гидрохимического состава вод является величина рН. Изменение рН в поверхностном слое морской воды зависит от многих факторов: парциального давления углекислого газа в атмосфере, растворимости CO_2 в морской воде и др. Моря и океаны играют ключевую роль в глобальном углеродном цикле, в основном поглощая CO_2 . Опубликованные оценки показывают, что около 30% углекислого газа, выбрасываемого в атмосферу в результате хозяйственной деятельности, поглощается Мировым океаном, что и приводит к уменьшению величины рН его верхнего слоя. Повышение кислотности (или понижение рН) поверхностных вод океана, непосредственно вызванное антропогенным увеличением выбрасываемого в атмосферу CO_2 , является глобальной проблемой. В 2014 г. В отчете Всемирной метеорологической организации «О парниковых газах» в специальном разделе «О закислении океана» указывалось, что с 1890 г. по настоящее время кислотность океана повысилась на 30%. По имеющимся прогнозам, она будет только увеличиваться, как минимум, до конца XXI в. Даже в случае радикального сокращения эмиссии CO_2 инвазия его будет продолжаться еще долгое время, поскольку диоксид углерода – очень долгоживущий газ по сравнению с другими парниковыми газами, такими как метан и закись азота. Увеличение кислотности в океанических водах оказывает влияние на живые организмы путем утраты способности образовывать раковины, состоящие из углекислого кальция. Также под влиянием закисления воды нарушается ориентация рыб в окружающей среде, морские хищники теряют чувствительность к запаху своих жертв, что ставит под угрозу само

существование морских экосистем. Именно поэтому исследованию тенденций изменений величины рН в океанических водах в настоящее время уделяется большое внимание

На основе массива архивных данных Института природно-технических систем за период с 1956 и до 2010 гг. приведены результаты исследования крупномасштабной структуры поля рН, сезонной изменчивости и многолетней тенденции изменения величины рН в верхнем 150-метровом слое глубоководной части Черного моря. Для анализа выбрана глубоководная часть Черного моря, так как пространственно-временная изменчивость поля рН здесь намного меньше, чем в прибрежных и шельфовых водах. Это дает возможность выделить долговременный тренд в изменчивости величины рН в верхнем 150-метровом слое на значимом уровне.

Пространственные климатические неоднородности величины рН в поверхностном слое открытой части Черного моря составляют около 0.06 ед. рН, размах осредненного сезонного хода – 0.05 ед. рН. В глубоководной части моря пониженные величины рН наблюдаются в окрестности центров циклонических круговоротов, где имеет место подъем более кислых вод. На всех глубинах анализируемой водной толщи, решающее значение в формировании пространственной неоднородности поля рН имеет динамическая структура вод. Таким образом, в центрах циклонических круговоротов практически на всех горизонтах имеет место уменьшение величины водородного показателя по сравнению с периферийными водами.

В поверхностном слое наблюдается долговременное увеличение кислотности величина которого в основном обусловлена повышением содержания углекислого газа в нижней тропосфере и поглощением части избыточного CO_2 морской водой. Это увеличение проявляется в уменьшении величины рН которое составляет около -0.06 ед. рН за 50 лет, что близко к оценкам, полученным для других регионов Мирового океана. Вместе с тем, в области промежуточных вод отмечается отрицательный тренд величины рН, превышающий (по абсолютной величине) тренд на поверхности более чем в 5 раз. Вероятной причиной интенсивного

уменьшения величины рН здесь служит долговременная интенсификация вертикальной циркуляции в промежуточном слое вод Черного моря.

О РАСПРЕДЕЛЕНИИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СКОРОСТИ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В СЕВЕРНЫХ МОРЯХ

Григоренко К.С.¹, Хартиев С.М.²

¹ *ЮНЦ РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия.*

² *ЮФУ, г. Ростов-на-Дону, Россия
klim_grig@mail.ru*

Ключевые слова: внутренние волны, кинематические характеристики, модальный анализ внутренних волн.

Расчет кинематических характеристик (длин, периодов и модального состава) основан на дисперсионном соотношении частоты и волнового числа, построен на системе линейных уравнений гидродинамики Эйлера, сведенной к однородной краевой задаче, которая решается методом конечных элементов для построения спектра свободных внутренних волн и расчета вертикальной и горизонтальной компонент скорости.

Расчеты кинематических характеристик внутренних волн в Баренцевом море выполнены на основе данных Климатического атласа морей Арктики-2004.

Модовая структура внутренних волн в Баренцевом море показывает, что во всем диапазоне частот на высоких широтах и при малых глубинах максимумы вертикальной составляющей скорости сдвигаются к горизонтам с максимальными градиентами плотности. В частности, если слой скачка плотности располагается в нижних горизонтах, максимумы вертикальной компоненты скорости мод внутренних волн в Баренцевом море будут смещены ближе ко дну.

ВОСПРОИЗВОДИМОСТЬ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕРМОХАЛИННОЙ СТРУКТУРЫ И ДИНАМИКИ ВОД СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ ПОСРЕДСТВОМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Григорьев А.В.¹, Зацепин А.Г.², Кубряков А.И.³

¹ГОИН, г. Москва, Россия

²ИО РАН, г. Москва, Россия

³МГИ, г. Севастополь, Россия

ag-privat@mail.ru, zatsepin@ocean.ru,

alexander.kubryakov@mhi-ras.ru

Ключевые слова: численное моделирование, Черное море, оперативная океанография, синоптическая изменчивость, инерционные колебания.

Моделирование термохалинной структуры и динамики вод северо-восточной области Черного моря проводилось в рамках задач оперативной океанографии в международном Черноморском центре морских прогнозов, созданного на базе Морского гидрофизического института (МГИ) РАН, и Государственном океанографическом институте им. Н.Н. Зубова (ГОИН) посредством автоматизированной системы диагноза и прогноза характеристик вод моря с использованием региональной модели Princeton Ocean model (POM) RuReM, совмещенной с общебассейновой моделью МГИ. Горизонтальное разрешение RuReM составляло ~1 км, МГИ ~5 км. Модели совмещены по технологии «вложенных сеток».

Анализ полученных данных моделирования показал, что региональная модель воспроизводит наблюдаемые вихревые образования с горизонтальными масштабами от 10 км. При этом Основное черноморское течение (ОЧТ) проявляется только в статистическом смысле. Например, при осреднении полей скоростей течений за длительный период времени. В конкретные моменты времени, особенно в летний сезон, поля течений в регионе представляют собой систему вихрей различного знака и масштабов.

В спектрах изменчивости термохалинных характеристик ярко выражен синоптический масштаб ~7–10 суток. Имеет место слабо выраженный локальный максимум спектров на частоте ~3 суток, по-видимому, соответствующий вихрям с горизонтальными размерами 2–7 км, наблюдаемым непосредственно в прибрежной области моря. Но в силу горизонтального разрешения 1 км такие вихри плохо воспроизводятся моделью.

Инерционные колебания (~17,5 часов) хорошо воспроизводятся моделью как минимум в штормовые периоды. В глубоководной области моря инерционные колебания по своей интенсивности соизмеримы с синоптическими.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ-РГО № 17-05-41089.

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНОВ ЧЕРНОГО МОРЯ

Гуров К.И.¹, Куринная Ю.С.²

¹ МГИ, г. Севастополь, Россия

² АзНИИРХ, г. Ростов-на-Дону, Россия
gurovki@gmail.com, kurinnaya-jul@ya.ru

Ключевые слова: Черное море, донные отложения, гранулометрический состав, органический углерод, карбонатность.

Известно, что донные отложения, выполняя роль индикатора интенсивности и масштаба техногенных воздействий, являются важным звеном в цепи экологического равновесия. Изучение геохимических характеристик донных отложений, таких как гранулометрический состав, влажность и содержание органического вещества, особенностей их пространственно-временной изменчивости – важные составляющие системы комплексного мониторинга водных объектов. Это объясняется тем, что именно эти па-

раметры определяют адсорбционные свойства донных отложений. В первую очередь это касается способности накапливать и удерживать различные загрязняющие вещества, в том числе и тяжелые металлы.

Материалами для данной работы послужили пробы поверхностного слоя донных отложений, полученные в ходе 103-го рейса НИС «Профессор Водяницкий» в сентябре 2018 г. на участке прибрежной зоны Черного моря от м. Тарханкут до г. Сочи.

Целью данной работы является изучение особенностей пространственного распределения гранулометрических фракций, органического углерода и карбоната кальция в поверхностном слое донных отложений, оценка накопления органического вещества в различных прибрежных районах Черного моря.

Согласно схеме станций отбора, большинство проб расположено в зоне распространения илистого материала. Отмечено, что поверхностный слой осадка текучий и водонасыщенный, изредка проявляются включения песчаного материала и отдельных раковин. Пробы, отобранные на участке м. Опук – Керченский пролив – м. Железный рог – Бугазская коса, отличаются особенностями фракционного состава. Донные отложения в этом районе преимущественно гравийно-песчаные, доля илистого материала 5–10%. В первую очередь это определяется близким расположением станций к берегу, а также особенностями строения и очертания берегов. Особенности гранулометрического состава напрямую отражаются в содержании органического вещества. Установлено, что для проб, в которых доля мелкодисперсного пелито-алевритового материала максимальная (75–80%), отмечаются повышенные концентрации органического углерода (2,4–2,7%), а для песчано-гравийных отложений характерны максимальные величины CaCO_3 (60–80%). Получены корреляционные зависимости содержания $\text{C}_{\text{орг}}$ и CaCO_3 в различных фракциях. Анализ результатов показал, что для органического углерода максимальная положительная (0,84) корреляция отмечается с фракцией <0,05 мм, а максимальная отрицательная (–0,9) с фракцией 2–1 мм. Для карбоната кальция соответственно наоборот: максимальная положительная (0,78) с фракцией 2–1 мм, а максимальная отрицательная (–0,76) с фракцией <0,05 мм.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2019-0004, а также при поддержке РФФИ, грант № 18-05-80028 «Опасные явления».

РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНЕНИЯ ДВУХ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ С УЧЕТОМ ЛИНЕАРИЗОВАННОГО И ПОЛНОГО КИНЕМАТИЧЕСКОГО УСЛОВИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ

Демышев С.Г., Дымова О.А., Миклашевская Н.А.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
olgadym@yahoo.com*

Ключевые слова: Черное море, моделирование, уровень моря, кинематическое условие.

В работе представлены результаты двух численных прогнозных экспериментов по расчету циркуляции Черного моря, выполненных на основе модели Морского гидрофизического института с горизонтальным разрешением $1,6 \times 1,6$ км. В качестве атмосферного форсинга использованы данные SKIRON за 2011 г. Время интегрирования уравнений модели в обоих расчетах составляло один год модельного времени. Отличие между экспериментами заключалось в задании разных краевых условий на поверхности моря. В эксперименте 1 рассматривалось линеаризованное кинематическое условие, в эксперименте 2 – полное кинематическое условие.

Для оценки отличий в поле уровня для двух экспериментов в каждом узле модельной сетки была рассчитана разница между высотами возвышения свободной поверхности $\Delta\zeta$ и построены карты ее пространственного распределения. В течение первых трех месяцев после начала интегрирования при отсутствии сильных ветров наблюдалась довольно гладкая структура полей уровня, а величина $\Delta\zeta$ не превышала в среднем 0,6 см. Эпизоди-

ческие увеличения высот уровня более 30 см были вызваны действием штормовых ветров и наблюдались около северо-западного и западного побережья. При этом величина $\Delta\zeta$ была положительна, что соответствует меньшим значениям ζ в эксперименте 2. Наиболее показательные эпизоды были зафиксированы 2–3 апреля и 17–18 октября 2011 г., в это время разница между данными экспериментов достигала 3 см.

Существенные отличия в структуре поля уровня получены примерно через 7 месяцев после начала моделирования. В некоторые моменты времени абсолютное значение величины $\Delta\zeta$ достигало 15 см. Это связано с несовпадением фаз перемещения вихревых структур, формирующихся на периферии Основного черноморского течения (ОЧТ). Наибольшие отличия наблюдались в районах Севастопольского и Батумского антициклонов. Во второй половине года в эксперименте 2 Севастопольский антициклон в среднем на 14 дней раньше начинает перемещаться на юго-запад, чем по данным эксперимента 1. А циклонический круговорот к северо-востоку от Батумского антициклона более интенсивен и занимает большую площадь по результатам первого расчета.

Таким образом, учет полного кинематического условия на поверхности моря приводит к уменьшению высоты возвышения свободной поверхности около западной границы бассейна в случаях экстремальных нагонов (более 30 см), вызванных действием ветра. Наибольшие различия в структуре полей уровня наблюдались в период ослабления ОЧТ (в теплый сезон) в зонах эволюции Севастопольского и Батумского антициклонов. Следует отметить, что минимальные и максимальные значения высот уровней почти одинаковы для обоих экспериментов, но их локализации не совпадали. Расхождение в пространственных положениях подъемов и опусканий уровня обусловлено несоответствием фаз движения антициклонов и мезомасштабных вихрей по периферии ОЧТ.

Полученная разница в результатах расчетов возможно объясняется тем, что учет нелинейных слагаемых в уравнении изменения уровня позволяет более точно описать волновые движения, в результате чего происходит перераспределение кинетической

энергии между движениями разных пространственных и временных масштабов.

Работа выполнена в рамках госзадания по теме № 0827-2018-0003.

ЧИСЛЕННЫЕ РАСЧЕТЫ ЦИРКУЛЯЦИИ У БЕРЕГОВ ЗАПАДНОГО КРЫМА НА ОСНОВЕ АССИМИЛЯЦИИ В ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И СОЛЕННОСТИ

Демышев С.Г., Евстигнеева Н.А.

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

Ключевые слова: численное моделирование, прибрежная зона, ассимиляция данных наблюдений, гидрофизические поля, мезомасштабные особенности циркуляции.

Восстановление трехмерной структуры гидрофизических полей с учетом данных наблюдений – одна из актуальных задач современной океанологии.

Данное исследование посвящено анализу результатов численного моделирования прибрежной циркуляции Черного моря на основе ассимиляции в гидродинамической модели данных измерений температуры и солёности. Непрерывные по времени и пространству поля уровня, скорости течений, температуры, солёности, реконструированы в прибрежной области Черного моря (у берегов западного Крыма и в районе Севастополя) с пространственным разрешением ~1,6 км по горизонтали и 30 горизонтов по вертикали с помощью гидродинамической модели и данных наблюдений по температуре и солёности сентября 2007 г. В качестве инструмента исследования выбрана z-координатная трехмерная нелинейная модель Черного моря, которая была разработана в Морском гидрофизическом институте и адаптирована к условиям прибрежной зоны. В качестве процедуры ассимиляции

использовалась последовательная оптимальная интерполяция данных наблюдений температуры и солёности.

Подробно анализировалась область, расположенная между меридианами 32,2° и 33,8° в. д. и параллелями 44,4° и 45,5° с. ш. Рассчитанные поля течений характеризовались мезо- и субмезомасштабными вихревыми образованиями и струями.

В силу мелководности рассматриваемого района большое влияние на формирование циркуляции оказывал ветровой режим. Под действием юго-западного ветра, действующего с 14 по 18 сентября, основное движение поверхностных течений – восточное. В верхнем 36-метровом слое был восстановлен антициклонический вихрь с радиусом около 15 км в Каламитском заливе, который отчетливее всего был выражен в слое 5–20 м, скорость которого с глубиной уменьшалась с 24 до 12 см/с. Отмечено усиление течений у м. Тарханкут до значений 44 см/с на верхнем горизонте, в слое 10–20 м генерировалось циклоническое вихревое образование с радиусом около 10 км вблизи г. Евпатория. Отмечено, что при достаточно высоких скоростях ветра вихрь в Каламитском заливе в верхнем слое не наблюдался, скорость течений достигала 54 см/с. С 17 сентября ниже горизонта 10 м отмечено формирование особенностей циркуляции, связанные с меандрированием Основного Черноморского Течения (ОЧТ), проходящего вдоль свала глубин.

Под влиянием северных и северо-восточных ветров, действующих с 19 по 24 сентября, основное движение поверхностных течений – западное, во всем слое воды наблюдался элемент меандра ОЧТ (антициклонический вихрь с радиусом около 15 км) между 32,2° и 32,6° в. д. 22 и 23 сентября в верхнем 36-метровом слое сформировалось интенсивное течение (с максимальной скоростью на верхнем горизонте до 32 см/с) вблизи г. Севастополя и вдоль западного берега Крыма, направленное на север и северо-запад.

На основе сравнения результатов двух численных экспериментов без усвоения и с усвоением данных измерений температуры и солёности показано, что учет данных наблюдений приводил к некоторым качественным и количественным отличиям (усиление течений, смена направления течений, отчетливее выражены вихревые образования).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и города Севастополь в рамках научного проекта № 18-45-920019.

РАДИОТРАССЕРНЫЙ МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ СУБМАРИННОЙ РАЗГРУЗКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Довгий И.И.¹, Товарчий Я.Ю.², Шибецкая Ю.Г.²,
Чайкин Д.Ю.¹, Вертерич А.В.¹, Бежин Н.А.²,
Кременчуцкий Д.А.¹, Козловская О.Н.¹

¹ МГИ, г. Севастополь, Россия

² СевГУ, г. Севастополь, Россия
dovhyi.illarion@yandex.ru

Ключевые слова: субмаринная разгрузка подземных вод, радий, морская радиохимия.

Поступление пресных вод в местах субмаринной разгрузки превышает вклад речного стока, при этом концентрация ряда компонентов в субмаринных подземных водах выше, чем в речной воде. По этой причине исследование потока пресных вод в местах субмаринной разгрузки наиболее важно для оценки баланса многих элементов в океане. С другой стороны, субмаринные воды карстового происхождения используются в ряде Средиземноморских регионов в качестве питьевой воды.

Для оценки потока субмаринной разгрузки МАГАТЭ (IAEA-TECDOC-1595) рекомендовано использование ядерных и изотопных методов, в том числе изотопов радия ^{226}Ra ($T_{1/2} = 1600$ лет), ^{228}Ra ($T_{1/2} = 5,75$ лет).

В ходе экспедиционных работ в районе м. Айя в 2018–2019 гг. были отобраны пробы морской воды для определения объемной активности изотопов радия. Показано, что объемная активность изотопов радия максимальна в карстовых полостях и коррелирует с концентрацией биогенных элементов.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ и г. Севастополя в рамках научного проекта №18-33-50001 (конкурс «Наставник»), а также в рамках государственного задания № 0827-2019-0003 (шифр «Океанологические процессы»).

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЦИРКУЛЯЦИИ В ЧЕРНОМ МОРЕ НА ПОТОКИ БИОГЕНОВ С ШЕЛЬФА В ЦЕНТРАЛЬНУЮ ЧАСТЬ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РЕАНАЛИЗА

Дорофеев В.Л., Сухих Л.И.

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

Ключевые слова: Черное море, циркуляция, реанализ, поток биогенов, шельф.

В работе исследуется зависимость величины потоков биогенов между СЗШ и глубоководной частью Черного моря от характера циркуляции в верхнем слое моря. Для решения этой задачи используются поля течений и параметров морской экосистемы на регулярной сетке, полученные в результате реанализа. Основой физического реанализа является z-уровенная модель, имеющая горизонтальный пространственный шаг сетки 4,8 км и 35 вертикальных расчетных уровней. Биогеохимический блок модели экосистемы Черного моря включает в себя 15 переменных состояния и описывает процессы в верхнем 200-метровом слое моря. Шаг по пространству и расчетные горизонты соответствуют модели циркуляции.

На основе полученных полей были рассчитаны потоки различных компонентов экосистемы с шельфа в глубоководную часть моря. Наибольшие значения потоков наблюдаются в зимнее время, когда концентрация биогенов и фитопланктона в верхнем слое моря максимальны. При этом величина потоков существенно меняется в разные годы. Эта межгодовая изменчивость вызвана в первую очередь характером циркуляции. Интенсивное ОЧТ в зимнее время затрудняет поперечный обмен между шельфовой и глубоководной частями моря. В то же время поток через зональное сечение у мыса Калиакра имеет максимальные значения. Когда интенсивность ОЧТ падает, и оно разбивается на ряд вихрей у кромки СЗШ, наблюдается повышенный перенос в направлении поперек изобат. Перенос же через зональное сечение в этом случае падает.

ЛАБОРАТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ НАКЛОННОГО ДНА НА ОПУСКАНИЕ ВОДЫ В ПРИДОННОМ ЭКМАНОВСКОМ ПОГРАНСЛОЕ

Елкин Д.Н., Зацепин А.Г.

ИО РАН, г. Москва, Россия
dmelkin@mail.ru

Ключевые слова: Черное море, континентальный склон, опускание вод, шероховатость дна, конвекция, лабораторное моделирование.

Вдольбереговое прибрежное течение, достигающее дна моря, формирует придонный экмановский слой (ПЭС), в котором перенос воды происходит перпендикулярно направлению течения и влево от него (в северном полушарии). В случае даунвеллингового вдольберегового течения, в ПЭС происходит перенос воды от берега и ее опускание по склону дна. При наличии устойчивой стратификации, достигая определенной глубины, менее плотная вода в ПЭС останавливается и конвективным образом перемешивается с вышележащими водами.

Ранее процесс опускания вод в ПЭС при наличии даунвеллингового вдольберегового течения исследовался в условиях гладкого дна. Цель данной работы – изучение динамики даунвеллингового вдольберегового течения и связанного с ним ПЭС на шероховатом наклонном дне при наличии и в отсутствии стратификации.

Опыты проводились в цилиндрическом бассейне и расположенном на вращающейся платформе. В центре бассейна установлен усеченный конус с нижнем основанием на дне. Боковая поверхность конуса покрыта ковриком, вышитым бисером – мелкими шариками, создающими шероховатость наклонного дна.

В центре верхнего основания усеченного конуса сделано отверстие, соединенное шлангом с сосудом Мариотта. Над верхним основанием расположен пустотелый цилиндр с щелью –

кольцевой источник, через который из сосуда Мариотта подается вода в бассейн.

Перед началом опыта бассейн заполнялся водой плотностью ρ_0 до уровня кольцевого источника. Сосуд Мариотта заполнялся водой плотностью ρ_1 , подкрашенной красителем. Поступающая в бассейн вода образовывала вокруг источника вдольбереговое антициклоническое течение. Из-за трения течения о дно возникал ПЭС, в котором происходило опускание воды. Вид прибрежного течения и ПЭС снимался сверху и сбоку видеокамерами. Для определения скорости течения на поверхность воды помещались бумажные пелетки. Опыты проводились при различных значениях скорости вращения платформы, расхода источника и размера шероховатости дна.

В случае ($\rho_1 \approx \rho_0$) распространения ПЭС вниз по поверхности конуса происходило квазиламинарным образом. Было установлено, что с ростом размера шероховатости скорость опускания воды в ПЭС убывает, а толщина придонного погранслоя – возрастает.

В случае небольшого различия плотности вод ($\rho_1 < \rho_0$), наклонный фронт течения достигал поверхности конуса и формировался ПЭС с опусканием менее плотной воды вниз по склону. Со временем этот слой испытывал конвективную неустойчивость: в нем формировались кольцевые валы, которые распадались на трехмерные вихревые структуры, в которых вода медленно поднималась в вверх, вплоть до свободной поверхности жидкости. Шероховатость дна значительно интенсифицировала процесс конвекции.

При большом различии плотности вод ($\rho_1 \ll \rho_0$) наклонный фронт течения не достигал поверхности конуса, и опускания более легкой жидкости в ПЭС как на гладком, так и на шероховатом дне не происходило. Поступающая жидкость из источника распространялась радиально.

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы 0149-2019-0004 и при поддержке гранта РФФИ № 17-05-00381.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МЕЛКОВОДНЫХ ВОДОЕМАХ НА ПРИМЕРЕ ЗАЛИВА ВОСТОЧНЫЙ СИВАШ

Ерёмина Е.С., Хмара Т.В.

МГИ, г. Севастополь, Россия
xmara@mhi-ras.ru

Ключевые слова: динамика вод, уровень моря, численное моделирование, залив Сиваш, Азовское море.

Для изучения процессов различной природы, происходящих в мелководных водоемах, знание пространственно-временной структуры ветровой циркуляции и связанного с ней водообмена между отдельными частями акватории является важным шагом на пути оценки гидродинамических взаимодействий в водоеме.

Цель настоящего исследования – охарактеризовать влияние ветра на структуру циркуляции в сложной гидросистеме и оценить водообмен между отдельными частями акватории из-за воздействия ветра. Учитывая малые значения глубины водоема, предполагалось, что вертикальные движения незначительны и стратификация отсутствует. Зависимость плотности воды от температуры и солености не была учтена в этом исследовании.

Для изучения структуры ветровой циркуляции в акватории используется численная нестационарная гидродинамическая модель, которая позволяет рассчитать ветровые (дрейфовые и компенсационные) течения, гравитационные течения в эстуариях, заливах. Характерная особенность этой модели заключается в возможности ее применения для расчетов динамики вод и распространения примеси в морских акваториях, отдельные участки которых имеют меньший (подсеточный) размер в одном из горизонтальных направлений, чем шаг расчетной сетки (например, соединительный канал).

Модель реализована в криволинейных (по вертикали) координатах (σ -система), что улучшает вычислительные свойства модели и позволяет дать более точное описание вертикальной структуры вод на малых глубинах.

Структура модели позволяет с заданной дискретностью в ходе расчета усваивать информацию об изменчивости метеорологических параметров: на поверхности моря (скорость и направление ветра; температура воздуха, облачность, относительная влажность воздуха), на открытой морской границе (уровень моря).

При расчетах акватория залива Восточный Сиваш покрывалась горизонтальной расчетной сеткой 76×99 узлов с шагом 1000 м. Значения температуры воздуха, направлений и скорости ветра задаются на основе данных наблюдений, выполненных на ГМС «Геническ».

Результаты расчетов течений без учета ветра показали, что их пространственная структура представляет собой ряд локальных вихревых образований, расположенных преимущественно в южной части Восточного Сиваша, что обусловлено особенностями геоморфологического строения залива. В южной части в поле средних по вертикали течений наблюдается интенсивный вихрь.

При продольных ветрах в поверхностном слое отмечается интенсификация течений в прибрежной зоне и ослабление – вдоль продольной оси водоема. В придонном слое, наоборот, наблюдается интенсификация потока вдоль оси водоема. Средние по глубине течения направлены по ветру вдоль берегов на прибрежном мелководье и против ветра – вдоль оси ложа залива.

При поперечных ветрах вдольбереговые потоки на мелководье выражены очень слабо. В поле течений отмечается множество локальных вихревых структур, среди которых выделяется интенсивный вихрь в южной части.

Таким образом, использование численной гидротермодинамической модели позволило оценить влияние оротографии берега и морфометрических характеристик залива на динамику вод в Восточном Сиваше. Ветра определенных направлений могут создавать сложную систему течений в мелководном заливе, состоящем из отдельных частей и подверженном естественной гидрологической изменчивости из-за сочетания климатических факторов. Циркуляция вод в исследуемой акватории характеризуется наличием большого числа вихревых образований, расположенных вдоль оси залива, которые препятствуют распространению водных масс и примеси вдоль акватории залива.

Работа выполнена в рамках темы 0827-2018-0004 «Прибрежные исследования».

АТТРАКТОРЫ ВНУТРЕННИХ И ИНЕРЦИОННЫХ ВОЛН В СЛУЧАЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ГЕОМЕТРИИ

Ерманюк Е.В.¹, Пийе Г.², Бурри С.², Маас Л.³,
Сибгатуллин И.Н.⁴, Сюлинь С.⁴, Доксуа Т.²

¹*ИГиЛ СО РАН, г. Новосибирск, Россия*

²*ENS de Lyon, г. Лион, Франция*

³*Институт морских и атмосферных исследований
Университет г. Утрехта, Нидерланды*

⁴*ИО РАН, г. Москва, Россия
ermanyuk@hydro.nsc.ru*

Ключевые слова: внутренние волны, инерционные волны, волновые аттракторы, триадный резонанс, волновая турбулентность.

Внутренние и инерционные волны подчиняются весьма специфичному дисперсионному соотношению, которое связывает частоту и направление распространения волн, но не содержит масштаб длины. Следствием дисперсионного соотношения является возможность фокусировки, т. е. уменьшения ширины пучка волн при его отражении от наклонной поверхности. В ограниченной области, имеющей наклонную границу, фокусировка преобладает, вследствие чего возможно формирование волновых аттракторов. В плоском случае в идеальной жидкости волновой аттрактор представляет собой замкнутую линию, на которой фокусируется поступающая в систему энергия, причем плотность энергии на этой линии обращается в бесконечность. В реальной физической системе ветви аттрактора имеют конечную ширину вследствие наличия линейных и нелинейных диссипативных механизмов (молекулярная вязкость, триадный резонанс). При высоком уровне поступающей энергии в системе возникает волновая турбулентность, сопровождающаяся перемешиванием жидкости. Основные особенности линейной и нелинейной динамики волновых аттракторов в плоской задаче достаточно хорошо изучены.

В пространственном случае отражение луча внутренних или инерционных волн от наклонной плоскости подчиняется закону,

установленному О.М. Филлипсом. Так как падающий луч, отраженный луч и вертикаль, восстановленная в точке отражения, в общем случае не лежат в одной плоскости, возникает большое разнообразие возможных режимов, включающих в себя формирование волновых аттракторов в трехмерных областях.

В настоящем докладе представлены результаты экспериментального и численного исследования формирования аттракторов внутренних волн в каналах, имеющих поперечное сечение в виде трапеции. Показано, что вследствие закона отражения Филлипса при распространении внутренних волн вдоль канала происходит фокусировка, приводящая к образованию волнового аттрактора поперек канала. В аттракторе происходит диссипация поступающей в канал энергии. По-видимому, влияние подобного механизма может иметь место в натуральных условиях, например, в канале Св. Лаврентия.

В докладе представлены также результаты численного и экспериментального исследования аттракторов инерционных волн в кольцевом канале, имеющем трапециевидное поперечное сечение в радиальной плоскости. Исследованы сценарии развития неустойчивости в такой системе при различных способах внесения возмущений.

РАВНОВЕСНОЕ ПАРЦИАЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ВОД СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ НА ОСНОВАНИИ ДАННЫХ ПРЯМЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В 2017 ГОДУ

Забегаев И.А., Медведев Е.В.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
zabegaev84@gmail.com*

Ключевые слова: углекислый газ, карбонатная система, $p\text{CO}_2$, Черное море.

Как известно, содержание углекислого газа в атмосфере непрерывно растет, и уже превысило 400 мкатм. Большая часть этого газа растворяется в водах Мирового океана, представляя и

является частью карбонатной системы – совокупность форм угольной кислоты (гидрокарбонаты, карбонаты, угольная кислота и растворенный углекислый газ). В связи с этим, изучение карбонатной системы вод является одной из приоритетных задач современной океанологии.

Черное море является очень хорошим показательным примером для изучения карбонатной системы, поскольку оно, находясь в средних широтах, в силу своей замкнутости и геоморфологии реагирует на внешние воздействия почти так же, как реагируют на воздействие трансформации цикла углерода моря высоких широт.

В данной работе рассмотрен годовой ход равновесного парциального давления углекислого газа ($p\text{CO}_2$ – в поверхностном слое (0,5 метра) вод Черного моря и содержания CO_2 в атмосфере в 2017 году на основании данных прямых измерений данного параметра, полученных в ходе четырех экспедиций на НИС «Профессор Водяницкий» в различные гидрологические сезоны. Прямые измерения $p\text{CO}_2$ в воде и атмосфере проводились с помощью инфракрасного анализатора *LI-7000 DP*, производства компании *LI-COR*.

В 2017 году минимальные значения концентраций углекислого газа в атмосфере наблюдались в летний период, в среднем они составили 392 мкатм. В остальных случаях: в весенний и в осенне-зимний периоды, – среднее содержание CO_2 в атмосфере превышало 400 мкатм и менялось в очень узких пределах (416 мкатм – апрель; 411 мкатм – ноябрь; 416 мкатм – декабрь). Такая внутригодовая изменчивость с минимумом в летний период и максимумом в зимний наблюдается нами на протяжении последних пяти лет. Интересно отметить, что годовой ход изменчивости содержания CO_2 в атмосфере, характерный для атмосферы над водами Черного моря, принципиально отличается от результатов многолетних измерений, проводимых на станции института Скриппса, расположенной на Гавайях.

Для годового хода парциального давления углекислого газа в поверхностном слое вод Черного моря характерна противоположная тенденция. Уже в весенний период значения $p\text{CO}_2$ начинают превышать соответствующие значения атмосферного CO_2 , достигая максимума летом. Затем они начинают постепенно уменьшаться вплоть до минимума, характерного в зимний период. При этом годовая изменчивость $p\text{CO}_2$ в воде существенно

выше, чем для атмосферы. В 2017 году летом $p\text{CO}_2$ вод Черного моря оказалось в полтора раза выше, чем зимой (523 мкاتم – июнь; 341 мкاتم – декабрь), в то время как разница между соответствующими значениями для атмосферы составляла 5%.

Исходя из тезиса, что основными факторами, влияющими на направление и скорость потока углекислого газа между водой и атмосферой, являются градиент концентраций CO_2 в обеих фазах и состояние границы между фазами, очевидным выводом является то, что наиболее интенсивное поглощение CO_2 происходит в зимний период, в то время как условия максимальной эвазии характерны для середины лета.

Также стоит отметить, что в июне 2017 года наблюдалось аномальное цветение фитопланктона в Черном море. Как известно, фитопланктон активно потребляет различные растворенные формы CO_2 (карбонаты, гидрокарбонаты), и выделяет углекислый газ, т. е. участвует в функционировании карбонатной системы вод. Повышение $p\text{CO}_2$ в поверхностном слое морской воды приводит к снижению величины pH, что в свою очередь способствует растворению карбонатного скелета фитопланктона.

Работа выполнена в рамках темы гос. задания № 0827-2018-0004 (шифр «Прибрежные исследования»).

ОЦЕНКА ПОТОКОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В ЛИТОРАЛЬНОЙ ЗОНЕ ОБСКОЙ ГУБЫ

**Ивахов В.М.¹, Парамонова Н.Н.¹, Привалов В.И.¹,
Зинченко А.В.¹, Семенец Е.С.¹, Кароль И.Л.¹,
Киселев А.А.¹, Полищук В.Ю.²**

¹ ГГО, г. Санкт-Петербург, Россия

² ИМКЭС СО РАН, г. Томск, Россия
ivakhoov@mail.ru

Ключевые слова: потоки парниковых газов, литораль, Обская губа, Арктика.

Объектом настоящего исследования является литоральная зона Обской губы, колебания уровня воды, в которой оказывают

влияние на динамику потоков диоксида углерода и метана в атмосферу.

Баланс парниковых газов (ПГ) в атмосфере определяется многочисленными и разнообразными источниками и стоками ПГ антропогенного и естественного происхождения. Более точный учет всех процессов эмиссии и поглощения ПГ позволит улучшить прогнозы климатических изменений. Водные экосистемы: озера, реки, литоральные зоны и шельфы морей, – остаются малоизученными с точки зрения их вклада в содержание ПГ в атмосферу.

Особый интерес представляют мелководные побережья с относительно высоким содержанием органического вещества в донном грунте. Вследствие сгонно-нагонных и приливно-отливных явлений литоральная зона Обской губы испытывает периодическую смену режимов прежде всего давления воды, а также анаэробного/аэробного продуцирования CH_4 и CO_2 . Ранее в рамках экспедиции в Новый Порт (Ямал) в зоне осушки на отдельных участках были зафиксированы интенсивные выходы пузырьков, анализ газового состава которых показал высокое содержание метана. Резкая осушка или затопление литоральной зоны могут форсировать интенсивную эмиссию ПГ. Анализ снимков Landsat показал, что площадь зоны осушки вдоль 17 км участка в районе Нового Порта составила около 9 км².

Для описания процессов образования углеродосодержащих парниковых газов в донных осадках разработана модель минерализации и гумификации органических веществ. Показано, что с помощью модели можно получить плотности потока диоксида углерода и метана близкие к эмпирическим данным.

Исследование выполняется в рамках проекта РФФИ №18-05-00982 А.

ВОЛНЫ В МОРЕ С ЛЕДЯНЫМ ПОКРОВОМ ОТ ДВИЖУЩИХСЯ ВОЗМУЩЕНИЙ

Калинюк И.В.¹, Маленко Ж.В.^{2,3}, Ярошенко А.А.^{2,3}

¹КФУ, г. Симферополь, Россия

²СевГУ, г. Севастополь, Россия

³КФ ГМУ, г. Севастополь, Россия
yaroshenko.575@yandex.ru

Ключевые слова: изгибно-гравитационные волны, упругая пластина, идеальная жидкость, прогиб пластины, критическая скорость, сжимающее усилие.

Исследуются трехмерные изгибно-гравитационные волны в ледяном покрове, вызванные движущейся нагрузкой. В основе математической модели лежат линейное дифференциальное уравнение колебаний тонкой упругой пластины, плавающей на поверхности идеальной несжимаемой жидкости, кинематическое и динамическое условия на границе лед-жидкость.

Исследовано влияние скорости перемещения нагрузки на характер изгибно-гравитационных волн. Определены критические скорости, при которых меняется характер волнового движения. Изучена зависимость критических скоростей от толщины пластины и сил сжатия. Оценено влияние сил сжатия и растяжения на значения критических скоростей перемещения нагрузки.

Определены угловые зоны, в которых образуются волны. Изучено влияние скорости перемещения нагрузки, толщины льда и сжимающих усилий на изменение угловых зон.

Исследованы амплитудные характеристики изгибно-гравитационных волн. Изучено влияние скорости перемещения источника возмущений, толщины пластины, сжимающих и растягивающих усилий на амплитуды образующихся волн. Показано, что упругие волны имеют наибольшую амплитуду по сравнению с продольными и поперечными волнами.

НОВЫЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ СТРУКТУРЫ ТЕЧЕНИЙ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ СЛИКОВЫХ ПОЛОС. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

**Капустин И.А., Ермошкин А.В., Богатов Н.А.,
Шомина О.В., Мольков А.А., Ермаков С.А.**

*ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия
kapustin-i@yandex.ru*

Ключевые слова: морские течения, сликовые полосы, дистанционное зондирование, натурный эксперимент, моделирование.

Пленочные слики повсеместно присутствуют на морской поверхности и при скоростях приводного ветра от слабых до умеренных и уверенно регистрируются на радиолокационных изображениях. Слики на изображениях имеют сложную структуру, которая определяется, в частности, полем течения, приводным ветром и физическими характеристиками вещества пленки. Поверхностные пленки могут иметь как биогенную, так и антропогенную природу и могут обладать весьма разнообразным составом. При анализе морских течений по спутниковым изображениям, в частности, при исследовании динамики вихревых структур, пленки рассматриваются в качестве маркеров, по которым определяется структура течения и масштабы вихрей.

Настоящая работа посвящена исследованию перспектив использования искусственных сликовых полос с целью определения структуры и оценки скоростей приповерхностных морских течений. В работе развит новый подход для исследования морских течений, основанный на создании искусственных сликовых полос и регистрации их формы. Проведена серия экспериментов, показавшая работоспособность нового подхода, а также определившая условия его применимости в прибрежной зоне морей и во внутренних водоемах.

Преимуществом развитого подхода является использование в ходе измерений пленок с известными физическими характери-

стиками, что позволяет установить некоторые эмпирические соотношения между геометрией полосовых сликов и характеристиками приповерхностных течений. Совмещение натурного эксперимента с получением спутниковых радиолокационных изображений с высоким пространственным разрешением позволит восстанавливать тонкую структуру поверхностного течения (как модуль, так и направление) вдоль сликовой полосы на больших расстояниях от источника пленки.

Помимо анализа данных натуральных экспериментов в работе проведено моделирование процесса формирования полосовой структуры в поле субмезомасштабного вихря. Показана более существенная роль приводного ветра в возможности отображения вихрей в структуре сликовых полос, чем это предполагалось ранее.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 18-77-10066).

МЕТОДЫ ТЕОРИИ ФУНКЦИЙ КОМПЛЕКСНОГО ПЕРЕМЕННОГО В ЗАДАЧАХ ГИДРО(АЭРО)ДИНАМИКИ, ТЕОРИИ УПРУГОСТИ И ЭЛЕКТРО(МАГНИТО)СТАТИКИ

Кокарев С.С.

*РНОЦ Логос, г. Ярославль, Россия
logos-center1@mail.ru*

Ключевые слова: комплексные числа, голоморфные функции, комплексный потенциал, линии тока, линии уровня, уравнение Лапласа.

Сделан обзор методов теории комплексного потенциала для решения 2-мерных прикладных задач математической физики в области гидро- и аэромеханики, теории упругости, электро- и магнитостатики. Обсуждаются обобщения метода для 3-мерных задач. Обзор сопровождается достаточным количеством моделей и иллюстративных примеров решения конкретных задач из области геофизики, теории волн, физики моря и атмосферы.

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В КЕРЧЕНСКОМ ПРОЛИВЕ

Коршенко А.Н.¹, Жугайло С.С.²

¹ГОИН, г. Москва, Россия

²АзНИИРХ, г. Керчь, Россия

korshenko58@mail.ru

Ключевые слова: Керченский пролив, гидрология, гидрохимия, еженедельные наблюдения.

В рамках финансируемого ПРООН и ЕС международного проекта ЭМБЛАС-II «Усовершенствование методов экологического мониторинга Черного моря» (EMBLAS-II) в течение 38 недель безледного периода с 7 апреля по 22 декабря 2016 г. на станции у крымского берега юго-западнее о. Тузла был выполнен еженедельный отбор проб воды с поверхностного горизонта с целью определения высокочастотной динамики гидролого-гидрохимических показателей и биологических характеристик планктонных сообществ. В исследуемый период времени основные параметры морской среды слоя показывали закономерные сезонные изменения. При весенне-летнем прогреве наблюдался характерный ход температуры с 10,1°C в начале апреля до 27,8°C в середине августа и постепенным снижением до 0,2°C в самом конце декабря.

Параллельно с прогревом происходило небольшое снижение содержания растворенного кислорода (в период с 15 июня по 13 октября – 8,58 мг/дм³), диапазон значений которого в течение года составлял 7,36–12,9 мг/дм³, в среднем 9,90 мг/дм³. Случаев дефицита растворенного в поверхностном слое вод кислорода со значениями ниже норматива 6,0 мгО₂/дм³ не наблюдалось.

В течение всего периода наблюдений значения рН были стабильными и располагались в узком диапазоне 7,68–8,18, в среднем 7,98 ед. рН. Соленость была относительно высокой и не испытывала существенных изменений – в среднем 15,92‰, диапазон 13,47–17,90‰. По данным еженедельной съемки МГС «Опасное» на четырех станциях регулярного мониторинга в северной

узости пролива между портами Крым и Кавказ соленость изменялась почти в таких же пределах 13,20–17,57‰, однако средняя величина была существенно ниже – 14,58‰.

Среди минеральных форм азота (в среднем 67,5 мкг/дм³) преобладал аммонийный азот (в среднем 52,2 мкг/дм³; диапазон 0,01–339,67 мкг/дм³), тогда как уровень содержания органического азота был обычно в 10–30 раз больше (33,3–6836,3/1377,3 мкг/дм³). Сезонная динамика азота показывает стабилизацию на низком уровне минеральных форм с первой декады июня до конца октября. Концентрация фосфатов в водах пролива была незначительной в течение всего периода наблюдений (0,4–82,7 мкг/дм³, в среднем 15,4 мкг/дм³; максимум отмечен 14 октября), а органического фосфора в несколько раз больше – средняя 63,2 мкг/дм³.

Высоким и очень устойчивым было содержание хлорофилла – 4,04–8,11 мкг/дм³, в среднем 5,55 мкг/дм³. Содержание силикатов в течение года было относительно невысоким (27–418 мкг/дм³, в среднем 164 мкг/дм³) и очень неустойчивым, переход от повышенных значений к очень низким иногда происходил за 1–2 недели. Концентрация легко окисляемых органических веществ по БПК₅ в водах пролива была относительно невысокой и изменялась в очень узком диапазоне 0,62–2,58 мгО₂/дм³; максимум составил всего 0,86 ПДК. Всю весну до первой декады июня и с конца августа до середины ноября концентрация органических веществ была ниже половины норматива, а длительное повышение наблюдалось летом и в декабре. Концентрация взвешенных частиц (2,0–58,8/18,8 мг/дм³) закономерно повышалась в несколько раз весной и поздней осенью, когда шторма поднимали со дна пролива мелкодисперсные осадки. Соответственно этому прозрачность воды по диску Секки варьировала в диапазоне 0,4–3,5 м и в среднем составляла 1,8 м.

Загрязнение поверхностного слоя нефтяными углеводородами (НУ) на еженедельной станции изменялось от незначительного весной до 2,6 ПДК в начале июня. Еженедельные наблюдения в течение безледного периода года показали достаточно стабильную ситуацию по уровню загрязненности нефтяными углеводородами (НУ). В целом из 38 проанализированных проб в 8 (21%) концентрация НУ превышала установленный норматив

0,05 мг/дм³; диапазон колебаний составил 0,01–0,13 мг/дм³, средняя величина 0,52 мг/дм³. Полученные данные подтверждают вывод о хроническом характере загрязнения Керченского пролива нефтяными углеводородами, которое связано с интенсивным трафиком и перегрузкой нефтепродуктов в портовых акваториях и на якорных стоянках.

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ БАЛАКЛАВСКОЙ БУХТЫ (ЧЕРНОЕ МОРЕ)

Котельянец Е.А.

МГИ, г. Севастополь, Россия
plistus@mail.ru

Ключевые слова: Балаклавская бухта, донные отложения, тяжелые металлы, антропогенная нагрузка.

Балаклавская бухта представляет собой акваторию с ограниченным водообменном, выполняющую роль порта для маломерных судов. Акватория бухты, исходя из морфометрии дна и конфигурации берегов, разделяется на мелководную часть в вершине бухты, центральную часть, южное глубоководное расширение и коленообразную узость, соединяющую две последние части.

В донных отложениях Балаклавской бухты за период длительной техногенной нагрузки накоплено значительное количество загрязняющих веществ.

В работе представлено определение валового содержания таких микроэлементов как As, Cr, Co, Ni, Pb, Zn, V, Sr (мг/кг) и оксидов металлов TiO₂, MnO, Fe₂O₃ (%), анализировались данные по результатам экспедиционных исследований, полученных в 2005, 2015 и 2018 годах в акватории Балаклавской бухты. В работе использовался метод рентгенофлуоресцентного анализа, с применением спектрометра «Спектроскан Макс-G».

Целью данной работы является исследование динамики загрязнения и характера пространственного распределения микроэлементов (As, Ti, Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Cr, V, Sr, Fe, Mn) в поверхностном слое донных отложений Балаклавской бухты за исследуемый период.

Анализ полученных данных показывает, что изменения в содержании тяжелых металлов в донных отложениях отличаются для различных элементов. В пробах, отобранных в 2015 г., как и пробах 2018 г., преобладают такие металлы как свинец, хром, цинк, кобальт, медь, мышьяк, стронций.

Максимальное содержание вышеперечисленных элементов отмечается в кутовой северо-восточной и в западной центральной частях Балаклавской бухты (2005, 2015 и 2018 гг.). В исследуемой акватории с затрудненным водообменном наблюдается характерное накопление загрязняющих веществ.

Максимальное содержание цинка в донных осадках бухты за последние 13 лет увеличилось почти в два с половиной раза. Однако среднее содержание свинца в пробах 2015 г. уменьшилось почти в 1,5 раза по сравнению с 2005 г. И значительно превышает среднее содержание его в мелководных осадках Черного моря.

Были выделены группы микроэлементов, различающиеся особенностями пространственного распределения.

Для большинства исследуемых элементов как в 2005 г., 2015 г., так и 2018 г., характерно весьма неравномерное распределение концентраций тяжелых металлов в донных отложениях акватории. Такая особенность распределения обусловлена рядом факторов – локализацией и характером источников загрязнения, и динамикой вод, гранулометрической дифференциацией вещества, геохимическими свойствами элементов и др.

Работа выполнена в рамках гос. задания по теме № 0827-2019-0004 «Прибрежные исследования», а также при поддержке научного проекта РФФИ № 19-45-920007.

РОЛЬ ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА В ФОРМИРОВАНИИ ПОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ БЕРИЛЛИЯ-7 В ВОДАХ ЧЕРНОГО МОРЯ

Кременчуцкий Д.А., Батраков Г.Ф., Довгий И.И.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
d.kremenchutskii@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: бериллий-7 (^7Be), Черное море, ВКС, взвешенное вещество, пространственно-временная изменчивость.

Бериллий-7 (^7Be) – это радионуклид космогенного происхождения. Основным источником этого радионуклида в морской среде является его поток из атмосферы. Научный интерес к ^7Be обусловлен возможностью его применения в роли трассера в исследованиях процессов, протекающих в деятельном слое морской среды на масштабах времени от синоптического до сезонного.

В работе представлены данные натурных наблюдений, полученные в ходе 95 рейса НИС «Профессор Водяницкий» (14 июня – 04 июля 2017 г.). В общей сложности было отобрано 37 проб морской воды на 18 станциях. Объем пробы морской воды для определения активности ^7Be изменялся от 2 до 9,5 м³. Концентрирование радионуклида, находящегося в растворенной форме, было выполнено с использованием гранулированного оксида алюминия, во взвешенной – полипропиленовых картриджах с размером пор 1 мкм. Измерения активности ^7Be в пробах были проведены на гамма спектрометре со сцинтилляционным детектором NaI (Tl) (размер кристалла диаметр 63 мм высота 63 мм, разрешение 7% по пику ^{137}Cs). Погрешность расчета концентрации ^7Be в морской воде составляла в среднем 25%.

По результатам анализа пространственно-временной изменчивости поля концентрации ^7Be в водах Черного моря установлено, что содержание радионуклида изменялось по пространству от 2,8 до 8,3 Бк м⁻³, средняя величина составила 5,3±1,8 Бк м⁻³. Повышенные величины были характерны для глубоководной части моря, пониженные – для прибрежной. В среднем 9% от общей активности ^7Be в морской воде обнаруживалось на взвешенном

веществе. Установлена статистически достоверная корреляционная связь между величинами общего содержания ^7Be в морской воде и концентрацией взвеси и показано, что увеличение концентрации последней приводит к уменьшению общей концентрации ^7Be в морской воде. Получены оценки коэффициента распределения ^7Be между растворенной и взвешенной формой, и установлена связь между изменением величин коэффициента распределения и концентрации взвеси.

Используя боксовую модель и данные о вертикальном распределении концентрации ^7Be было получено, что время нахождения радионуклида в верхнем квазиоднородном слое (ВКС) Черного моря изменяется по пространству от 6 до 35 суток.

Используя одномерную модель вертикального переноса ^7Be в морской среде и данные гидрологии были проведены оценки величины скорости седиментации взвешенного вещества в деятельном слое Черного моря. Согласно полученным результатам скорость седиментации взвеси изменялась по пространству от $0,9 \cdot 10^{-3}$ до $1,9 \cdot 10^{-3}$ см с^{-1} . Максимальные величины отмечались в шельфовой зоне, минимальные – в глубоководной.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 0827-2019-0003 (шифр «Океанологические процессы»).

ЛАБОРАТОРНОЕ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ ПОТОКОВ С ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ ПРИЛОЖЕНИЯМИ

**Куркин А.А., Куркина О.Е., Талалушкина Л.В.,
Рувинская Е.А., Козелков А.С., Лобовиков П.В.**

*НГТУ, г. Нижний Новгород, Россия
aakurkin@gmail.com*

Ключевые слова: экспериментальная установка, внутренние волны, лабораторное моделирование, численное моделирование.

Внутренние волны являются повсеместным явлением в гидросфере Земли, они оказывают значительное влияние на перенос

питательных веществ и энергии. Многочисленные наблюдения внутренних волн в океане суммированы на сайте НИЛ МПиТК НГТУ им. Р.Е. Алексеева (<https://lmnad.nntu.ru/ru/igwatlas/>), набор данных постоянно пополняется.

Наиболее эффективным и наименее затратным способом исследования внутренних волн является экспериментальное и численное исследование. Стоит отметить, что лабораторное моделирование является обязательным этапом на пути создания надежного вычислительного инструмента в гидродинамике и геофизике.

В НГТУ им. Р.Е. Алексеева создана современная гидродинамическая установка (http://lmnad.nntu.ru/ru/projects/wave_tank/), оснащенная системой измерения давления в столбе и смещения поверхности жидкости, подвижной вертикальной перегородкой, позволяющей разделять различные конфигурации жидкости, а также системой видеофиксации и постобработки. Эта установка может быть использована для моделирования волновых процессов в замкнутых (либо почти замкнутых) акваториях, в которых глубина сравнима с шириной, а длина значительно больше («вытянутой формы»). Примером таких водоемов могут служить некоторые каналы (например, Калининградский судоходный канал, Суэцкий канал и др.), множество озер (Лох-Шил, Оканоган и др.), бухты и гавани (например, гавань в поселке Ушаково, Калининградский залив), фьорды.

В рамках настоящей работы была проведена серия экспериментов по генерации внутренней уединенной волны повышения уровня в двухслойной жидкости методом гравитационного коллапса. Параметры экспериментов варьировались в следующих пределах: толщина слоев 5 и 20 см, плотность нижнего слоя от $1,0093 \text{ г/см}^3$ до $1,0226 \text{ г/см}^3$, верхнего – от $0,995 \text{ г/см}^3$ до $0,9979 \text{ г/см}^3$. В проведенных экспериментах «пикноклин» располагался на глубине одной пятой от общей, при этом генерируемый солитон имел амплитуду порядка толщины верхнего слоя (например, для неглубоких озер и каналов с глубиной порядка 10–20 м, это был бы солитон с амплитудой 2–5 м). Значение числа Рейнольдса для потока, индуцированного внутренней волной, в наших экспериментах лежит в диапазоне $1,7 \cdot 10^4$ – $2,4 \cdot 10^4$.

Численные исследования, сопоставленные с результатами лабораторного моделирования, являются эффективным методом

изучения характеристик внутренних волн. В данной работе также представлены результаты численного моделирования генерации солитоноподобной внутренней волны положительной полярности в рамках трех вычислительных моделей: глобальной модели циркуляции MITgcm (океаническая часть данной модели базируется на трехмерных уравнениях гидродинамики в приближении Буссинеска), отечественного пакета вычислительной гидродинамики ЛОГОС (в нем предусмотрена возможность моделирования многофазных сред), а также приближенной модели, основанной на уравнениях Буссинеска для волн на границе раздела в двухслойной жидкости.

Результаты расчетов сопоставлены с данными лабораторных экспериментов, проведено качественное и количественное сравнение характеристик внутренних волн (амплитуда, ширина), дана оценка давления, оказываемого внутренней волной на дно и стенки бассейна. Оценена возможность применимости описанных вычислительных моделей гидродинамики для решения задач данного класса.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ НА ДИСПЕРСИЮ И ЗАТУХАНИЕ ЗВУКА В ГАЗОНАСЫЩЕННЫХ МОРСКИХ ОСАДКАХ

**Лисютин В.А., Ластовенко О.Р.,
Ярошенко А.А., Петренко Н.В.**

*СевГУ, г. Севастополь, Россия
vlisiutin@mail.ru*

Ключевые слова: газонасыщенные морские осадки, межгранулярное трение, дисперсия скорости звука, коэффициент затухания.

Переходный слой морского дна толщиной несколько десятков метров состоит из неконсолидированных осадков типа песка, ила, смеси разнообразных обломочных материалов. В загрязненных органикой, заиленных грунтах, в местах интенсивного роста водорослей или интенсивной биотурбации слой осадков является

газонасыщенным. Газонасыщенный слой имеет толщину от нескольких сантиметров до нескольких метров, его природа связана с биологической активностью водорослей или метанообразующих бактерий. Степень газонасыщенности может служить индикатором фотосинтеза или экологического баланса водоема. Пузырьки газа в дне устойчивы благодаря покрывающим их пленкам и имеют средние размеры 0,01–0,1 мм.

Насыщение осадков (или придонного слоя воды с цветущими водорослями) газом существенно изменяет физические и акустические характеристики среды. Скорость звука значительно снижается, затухание увеличивается. Кроме того, в окрестности резонансной частоты пузырьков возникает сильная дисперсия скорости звука, а затухание возрастает многократно.

Обычно для вычисления скорости звука в газонасыщенных осадках применяется простая формула Вуда, где осадки рассматриваются как суспензия.

Для исследования баланса между силами вязкого, внутреннего трения и резонансными эффектами, связанными с пузырьками, применяется модифицированная (с подключенными резонансными эффектами) теория GS+EC и GS+ED.

Показывается, что при увеличении степени насыщения осадков газом, т. е. снижении объемного модуля упругости среды, пропорционально увеличивается относительный вклад сил внутреннего межгранулярного трения. Вычисления скорости звука по формуле Вуда дают тем более ошибочный результат, чем больше насыщение среды газом. Учет внутреннего трения в газонасыщенных осадках является принципиально важным.

Приводятся результаты инверсии физических характеристик придонного водного слоя и переходного слоя дна в месте, где интенсивно растут водоросли. Данные измерений скорости звука и коэффициента затухания на трех частотах и биомассы водорослей взяты из открытой научной периодики. Выявляются отличия в дисперсионно-диссипативных зависимостях воды и морских осадков, насыщенных пузырьками газа, обусловленные внутренним трением.

Показывается, что теория GS+ED является эффективным инструментом для осуществления инверсий физических характеристик среды по измеренным акустическим характеристикам.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ЧЕРНОГО МОРЯ С АССИМИЛЯЦИЕЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В МОДЕЛИ

Лишаев П.Н., Кныш В.В., Коротаев Г.К.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
pavellish@mail.ru*

Ключевые слова: температура поверхности моря, псевдоизмерения, ассимиляция, параметр релаксации, реанализ.

Ранее авторами была предложена оригинальная методология восстановления трехмерных полей псевдоизмерений температуры и солености морской воды по данным альтиметрии и ограниченных измерений буями Argo в слое 50–500 м и от поверхности моря до 500 м соответственно. Ассимиляция в модели циркуляции вод моря этих массивов дает возможность восстанавливать непрерывную эволюцию полей Черного моря во всей его толще. В целом точность такого ретроспективного анализа оказывается вполне удовлетворительной. Однако температура моря в слое 0–50 м восстанавливается со значительной погрешностью. С целью уточнения в верхнем слое восстановленных значений температуры Черного моря обычно ассимилируются данные наблюдений температуры поверхности моря (ТПМ) с искусственных спутников Земли (ИСЗ). При этом используются различные методики ассимиляции – как замена модельной поверхностной температуры на наблюдаемую со спутника, так и более сложные коррекции модельной температуры в пределах верхнего квазиоднородного слоя (ВКС).

В представленной работе ассимиляция трехмерных полей псевдоизмерений температуры (солености) морской воды по данным альтиметрии и ограниченных измерений буями Argo дополняется ассимиляцией спутниковых наблюдений ТПМ. Ассимиляция подготовленных ранее псевдоизмерений температуры и солености в вихреразрешающей (5×5 км) модели Морского гидрофизического института (МГИ) выполнялась в период 2012 года методом адаптивной статистики. Поля параметров атмосферного

воздействия заимствовались из данных реанализа *ERA-Interim*. Поверхностная температура бралась из ежесуточных карт *SST*, *PODAAC (NASA)* и усваивалась в модели в пределах ВКС посредством релаксация модельной температуры к наблюдаемой. В модели для параметризации перемешивания по вертикали использовалось приближение Пакановски-Филандера, которое не позволяет непосредственно идентифицировать глубину ВКС. Поэтому глубина ВКС вычислялась по результатам прогностического расчета как горизонт, на котором градиент температуры больше $0,017\text{ }^{\circ}\text{C/м}$.

Стандартное среднеквадратическое отклонение восстановленных в реанализе полей температуры относительно измеренных буями Argo, оцененное за 2012 год, является максимальным на горизонте 20 м и равно $4,44^{\circ}\text{C}$, что меньше на $\sim 12\%$ по сравнению с расчетом без ассимиляции ТПМ. Однако в работах других авторов по реанализу состояния моря за 1993–2012 гг. с ассимиляцией ТПМ в модели МГИ СКО температуры оказались равными для лета на 20 м $2,8^{\circ}\text{C}$, для зимы на 50 м $0,6^{\circ}\text{C}$. Такое отличие очевидно связано с использованием в этих расчетах модели турбулентности Меллора-Ямады, в которой, в отличие от параметризации Пакановски-Филандера, ВКС рассчитывается явным образом.

Сопоставление восстановленных в реанализе карт поверхностной температуры с такими же картами *SST*, *PODAAC (NASA)* в разные сезоны 2012 года показывает, что повышенные и пониженные значения температуры в отдельных областях акватории моря хорошо коррелируют между собою. Вихревые структуры и фронты, выделяющиеся в восстановленных полях модельного уровня моря в разные сезоны 2012 года, мало отличаются от наблюдаемых с ИСЗ.

Таким образом, выполненное исследование показывает, что предложенная методология ассимиляции псевдонаблюдений температуры и солености морской воды, дополненная ассимиляцией спутниковой ТПМ, дает возможность правильно описывать гидрологические поля во всей толще моря. При этом следует использовать модель Меллора-Ямады для описания турбулентного перемешивания в пределах ВКС.

СКЛОНОВАЯ КОНВЕКЦИЯ В ЗАЛИВЕ ПЕТРА ВЕЛИКОГО И ВЕНТИЛЯЦИЯ ТОЛЩИ ВОД ЯПОНСКОГО МОРЯ

**Лобанов В.Б., Сергеев А.Ф., Горин И.И., Воронин А.А.,
Щербинин П.Е., Навроцкий В.В., Павлова Е.П.,
Семкин П.Ю., Шлык Н.В.**

*ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, Россия
lobanov@poi.dvo.ru*

Японское море является сравнительно изолированным окраинным бассейном, соединяющимся с окружающими морями мелководными проливами. Поэтому формирование свойств водных масс на глубинах более 200 м в значительной мере определяется вертикальным перемешиванием в зимний период, обусловленным как конвекцией открытого моря, так и склоновой конвекцией (каскадингом), развивающимся на континентальном склоне. По-видимому, основным районом каскадинга является залив Петра Великого, включающий в себя наиболее обширную шельфовую область в северо-западной части моря и крутой континентальный склон с перепадом глубин от 100 до 2900 м. Впервые явление каскадинга, достигающего подножья континентального склона в области залива, было зарегистрировано по результатам СТД-съемки ТОИ ДВО РАН аномально холодной зимой 2000-2001 гг. В последующие несколько месяцев обновленные донные воды распространились слоем толщиной 100–600 м на глубинах 3000-3500 м по акватории практически всей западной части Центральной котловины Японского моря от 42 до 38 с. ш. Вентиляция придонных вод моря в таких объемах, по-видимому, не происходила с 1960-х годов и не наблюдалась в последующие годы. Отмечавшаяся на протяжении нескольких деkad тенденция роста температуры донных вод и снижения содержания кислорода, прерванная вентиляционным событием 2001 г., восстановилась в начале 21 века в результате ослабления конвективных процессов, связанного с потеплением климата.

В зимние периоды 2012–2018 гг. нами были проведены специальные наблюдения процесса каскадинга с использованием автономных донных заякоренных станций и СТД-съемок. Результаты наблюдений показали, что ежегодно в зимний период на шельфе залива формируется вода высокой плотности, достаточной для развития склоновой конвекции (каскадинга). Донная вода высокой плотности подходит к кромке шельфа в центральной части залива и в западной части склона в районе зал. Посьет, но не наблюдается в восточной части, в районе о. Аскольда, что можно объяснить системой течений на шельфе залива и мезомасштабной динамикой вод. Это процесс длится с середины января по начало мая. Как правило за сезон наблюдается 5–10 случаев подхода аномально плотных вод, продолжительностью 2–10 дней. Прямые наблюдения каскадинга по данным АБС отмечены на склоне на глубинах 1150–1170 м в 2014, 2017 и 2018 гг. В первом случае это событие было однократным и составило всего 12 часов. Во втором случае на протяжении февраля-марта отмечалось несколько эпизодов, когда воды с отрицательной температурой скатывались по каньону, проходя через место постановки АБС, но не были отмечены у подножья склона (2965 м). Зимой 2018 г. было зарегистрировано более 10 эпизодов каскадинга на глубине 651 м, из которых 7 достигли глубины 1166 м и два – 1967 м.

По данным СТД-зондирований во многих случаях зарегистрированы интрузии на вертикальных профилях, связанные с каскадингом. В нескольких случаях получена трехмерная картина плюмов каскадинга, обнаруженных на глубинах 300–1100 м, протяженностью до 7–12 км, толщиной 50–150 м, как лежащих на дне, так и расположенных в промежуточных слоях. Несмотря на то, что в отдельные годы холодного периода (2012–2014 гг.) интрузии вод каскадинга на СТД-профилях наблюдались до глубин более 2500 м, последующей заметной вентиляции донных вод Японского моря, сравнимой с 2001 г, не наблюдалось. Наоборот, в последние годы интрузии наблюдаются в слое 200–600 м, что свидетельствует о сдвиге вентиляционных процессов в область промежуточных вод, в соответствии с современными климатическими тенденциями.

ПОСЛЕДСТВИЯ ПРИРОДНОЙ ДЕГАЗАЦИИ В АКВАТОРИЯХ

Люшвин П.В.

*Независимый исследователь, г. Москва, Россия
lushvin@mail.ru*

Ключевые слова: дегазация, метан, фотический слой, гипоксия, биота, микробиология лед.

Природная дегазация в акваториях и интенсифицированные ей процессы (в зависимости от объема и состава газов) приводит к взмучиванию донных отложений, гипоксии, прогреву поверхностных вод, вспышкам развития и гибели биоты, трансформации монолитного льда в пористый, образованию разводий и полыней, климатическим изменениям.

Взмучивание донных отложений, детрита, биогенов характерно при массовой дегазации (углекислого газа, метана, водорода и пр.). Замутнение поверхностных вод способствует за счет утончения фотического слоя их прогреву, поступление биогенов – вспышкам развития биоты и т. д. При массовой дегазации метана (сейсмодегазации, разрушения газогидратов, глиняных ловушек, выходам болотного газа) за счет окисления метана (включая микробиологическое) развивается гипоксия. Сочетание гипоксии с концентрацией метана свыше 0,1–1 мг/л влечет за собой не только гибель молоди аэробных рыб, но и нарушения репродуктивных функций у выживших особей, а также гибель зообентоса, адаптированного к гипоксии без метана. При наличии на воде льда под ним и в его толще из-за метанотрофных микробиологических процессов монолитный лед, включая многолетний, превращается в пористый, что быстрее разрушается при динамических и инсоляционных процессах, образуются заприпайные разводья.

Текущий максимум циклической интенсификации дегазационных процессов в Арктике над хребтом Гаккеля привел к замене толстого (многолетнего и пакового) ледового «одеяла» на тонкое однолетнее, что привело к современному потеплению климата.

ТРОЯНСКАЯ КАЛОРИМЕТРИЧЕСКАЯ ШКАЛА

Люшвин П.В.

*Независимый исследователь, г. Москва, Россия
lushvin@mail.ru*

Ключевые слова: калория, температура, энергия, Джоуль, климатические изменения.

Исторически интуитивно степень нагрева в быту стали оценивать в шкале температур, связанной с коэффициентами термического объемного расширения ртути (спирта). От использования атмосферного воздуха оказались из-за зависимости его расширения от давления, вода – замерзает и цветет. С начала XIX века начали вводить меру количества тепла – калорию, как энергию изменения температуры грамма воды на 1°C . С открытием закона Стефана Больцмана (1879 г.) в Большой медицинской энциклопедии был поставлен диагноз нелинейности связи энергии и калорийной (температурной – $t^\circ\text{C}$) шкалы. Рост t вдвое приводит к увеличению энергии в 16 раз! Международная организация законодательной метрологии относит калорию к таким единицам измерения, «которые должны быть изъяты из обращения как можно скорее ...».

Пока это положение саботируется, при анализе энергетических трендов используются $t^\circ\text{C}$. Получается, что за последние десятилетия средняя глобальная $t^\circ\text{C}$ приземного воздуха увеличилась на $\approx 2^\circ\text{C}$. Максимум потепления в Арктике достигает $\geq 4^\circ\text{C}$ зимой при $t = -10 \dots -50^\circ\text{C}$ (когда нет инсоляции!). Летом в Арктике и круглогодично в Южном океане и в Антарктиде потепление на порядок меньше. Обусловлено зимнее арктическое потепление метанотрофной «заменой» толстого «одеяла» многолетнего льда на однолетний. Отсутствие потепления в Южном океане обусловлено отсутствием значимого по площади дрейфующего многолетнего льда.

Пересчет потепления через Вт (Дж) к t в 20°C дает величину энергетического потепления вдвое меньше. Чтобы устранить ка-

лориметрическую счетную нелепость целесообразно использовать энерго-термометрические шкалы, в которых в качестве градуировки брать не коэффициенты расширения ртути (спирта), а Вт (Дж). Для привыкания к энерго-термометрической шкале – наклеить на градусники мерную полоску, связывающую шкалы °С и °Уt. Иначе и далее о климатических изменениях будем судить по энергетически «кривым» шкалам Цельсия, Фаренгейта, Реомюра и т. п., пользоваться терминологией количества теплоты, «забывая», что при оценках теплоемкости, теплопроводности и в химических формулах используются не °С, а Дж.

ОСОБЕННОСТИ СЕЙШЕВЫХ КОЛЕБАНИЙ В СМЕЖНЫХ БУХТАХ

Манилюк Ю.В.¹, Лазоренко Д.И.¹,
Фомин В.В.¹, Дивинский Б.В.²

¹МГИ, г. Севастополь, Россия,

²ИО РАН, г. Геленджик, Россия
uvmsev@yandex.ru

Ключевые слова: сейши, резонансные колебания, смежные бухты, численное моделирование, ADCIRC.

Собственные периоды являются важными резонансными параметрами бухт, определяющими их реакцию на внешние воздействия. При совпадении периодов возмущений с собственными периодами бухты в ней генерируются сейши значительной амплитуды, представляющие опасность для судов, находящихся в бухте и для береговой инфраструктуры. Особый интерес представляет взаимодействие сейшевых колебаний, возникающих в смежных бухтах. В частности, это относится к системе севастопольских бухт, включающей в себя достаточно большое количество бухт, расположенных по соседству друг с другом.

В работе с использованием численной модели ADCIRC исследуется резонансный отклик системы из двух смежных бухт пря-

моугольной формы на возмущение свободной поверхности, вызванное подвижкой дна моря. Большая бухта имела характерные размеры и глубину Севастопольской бухты, меньшая – характерные размеры и глубину Карантинной бухты. Область начального возмущения имела эллиптическую форму и располагалась параллельно берегу. Ее продольный размер составлял 30 км. Поперечный размер области варьировался в пределах от 10 до 16 км. Расчеты выполнены, как для каждой бухты в отдельности, так и для обеих бухт.

Анализ результатов расчетов показал, что рассмотренный тип начальных возмущений является причиной генерации первых старших мод сейш в обеих бухтах. Наличие смежной бухты приводит к интенсификации нулевой моды в каждой из них. При ширине области возмущения ~12 км в малой бухте возникает резонансные явления на периоде нулевой моды. Выявлена потенциальная возможность генерации короткопериодных сейш в Карантинной бухте инфрагравитационными волнами. Для этой цели были привлечены результаты ретроспективных расчетов периодов ветровых волн в Черном море по спектральной модели SWAN за 1979–2017 гг.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛУБОКОВОДНЫХ ТЕЧЕНИЙ ЧЕРНОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Маркова Н.В., Демьшев С.Г.

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

Ключевые слова: Черное море, численное моделирование, глубоководные течения.

В настоящее время представления о течениях в глубинных слоях Черного моря самые общие. Процесс получения новых знаний о динамике вод под постоянным пикноклином сильно осложняется отсутствием достаточного количества глубоководных

натурных наблюдений. Имеющаяся информация о глубоководных течениях представлена немногочисленными данными прямых измерений скорости, расчетами течений на основе данных наблюдений температуры и солёности морской воды, а также оценками лагранжевой скорости по данным буев Argo, дрейфующих в Черном море на различных глубинах. Фрагментарный характер имеющихся натурных данных не позволяет восстановить полную пространственно-временную структуру поля течений в глубинных слоях только на их основе.

Результаты численного моделирования динамики Черного моря с использованием современных численных моделей – при обязательном сопоставлении с данными наблюдений – предоставляют возможность детально рассмотреть поле течений в глубинных слоях Черного моря и установить их особенности. В представленном исследовании результаты нескольких численных экспериментов на основе z-координатной нелинейной модели динамики Черного моря МГИ сопоставляются с данными натурных наблюдений из разных источников.

В работе проводится анализ:

- модельных трехмерных ежесуточных полей скорости течений, полученных в результате ряда различных численных экспериментов по расчету бассейновой циркуляции Черного моря на основе модели МГИ;

- данных измерений скорости течений в Черном море на глубинах более 300 м (под постоянным пикноклином) из Банка океанографических данных МГИ (БОД МГИ);

- результатов расчетов скоростей течений на горизонтах 300–1500 м по данным буев Argo.

Показано, что в среднем по бассейну скорости глубоководных течений значительно слабее поверхностных (примерно на порядок, составляя 2–5 см/с), хотя мгновенные и среднесуточные значения могут превосходить 10 см/с. На горизонте 1000 м отмечается некоторое усиление течений по сравнению со значениями на глубине 750 м как по данным непосредственных измерений, так и согласно оценке скоростей движения буев Argo в глубоководной зоне Черного моря.

В различных районах Черного моря обнаружены квазипериодические течения антициклонической направленности шириной

до 10 км. Как правило, они расположены под основным пикноклином над материковым склоном, значение скорости составляет 5–10 см/с, протяженность – от 100 до 700 км. Наиболее часто встречаются такие течения в летний период в восточной части моря и имеют продолжительность от одной до нескольких недель. Возникновение течений антициклонической направленности в субпикноклине согласуется также с результатами ретроспективного анализа, глубоководными измерениями течений зондирующим комплексом «Аквалог» летом 2011 г. в районе Гелленджика, а также расчетами динамики Черного моря на основе других численных моделей.

Работа по обработке данных натурных наблюдений выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект № 18-05-00353 А), численные эксперименты по расчету динамики Черного моря проведены в рамках темы госзадания 0827-2019-0002.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЕРОВОДОРОДА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ И ВОДЕ В ПРЕДЕЛАХ КОРИДОРОВ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ ЧЕРНОГО МОРЯ

Миронюк С.Г.

*ЦАСД МГУ, г. Москва, Россия
mironyuksg@gmail.com*

Ключевые слова: Черное море, донные отложения, сероводород, коррозия, батиметрические зоны, Черное море, меромиктический водоем.

Гидрологические и геохимические параметры морской среды, наряду с грунтовыми условиями, значительно влияют на выбор трассы и конструкцию трубопроводов. Наличие сероводорода в морских бассейнах предъявляет особые требования к защитным покрытиям трубопроводов (присутствие сероводорода в воде способствует коррозии металла и может вызвать зарастание труб в результате интенсивного развития серобактерий) и иным мерам антикоррозионной профилактики.

Особенно опасно сероводородное растрескивание под напряжением, которое может быть результатом воздействия сероводородсодержащих сред. Коррозия является одной из частых причин аварий на трубопроводах. В этой связи прокладка трубопроводов в условиях зоны сероводородного заражения Черного моря (ЧМ) требует оценки влияния высоких концентраций сероводорода и сульфатредуцирующих бактерий (SRB) на состояние материалов трубопровода на весь период эксплуатации. Впервые такая задача решалась в ходе ПИР для строительства газопровода «Голубой поток» (Россия-Турция). Касательно распределения сероводорода и pH в придонном слое вдоль планируемой трассы (1998 г.) было установлено следующее: на глубинах свыше 200 м растворенный кислород отсутствует; содержание H_2S в придонной воде в пределах субабиссальной равнины достигает 11 мг/л; величина pH изменяется в пределах 6,4–8,7. Результаты анализа, свидетельствуют об очень высокой – 650–730 мг/кг (сухой массы) (максимальное значение – 1200 мг/кг) концентрации H_2S в донных отложениях на глубине свыше 2 м (по разрезу) в нижних частях континентального склона. Концентрации H_2S на глубине менее 2 м ниже (225–460 мг/кг) и возрастает по направлению к Турции.

Обширная информация о распространении сероводорода была получена в ходе изысканий для строительства газопровода «Южный поток». Исследования проводились вдоль основной субширотной трассы длиной около 900 км от берегов России до Болгарии, а также в коридорах отдельных ее вариантах. В российском секторе ЧМ (континентальный склон, подножие, субабиссальная равнина) изменение содержания сероводорода в поровых водах донных илов и придонном слое (глубина отбора образцов 0,0–0,3 м) изменяется в широком диапазоне: от 0,055 до 14,5 мг/л. При этом выявлены следующие закономерности: минимальные значения присущи гидротроиллитовым илам, приуроченным к локальной депрессии, расположенной в верхней части континентального склона (глубина моря 440 м). В пределах континентального склона выявлены максимальные концентрации сероводорода (2,0–14,5 мг/л). В субабиссальной части моря концентрации H_2S в поровых водах глубоководных илов колеблются от 0,4 до 2,25 мг/л. Величина pH донных отложений характеризуется значениями 7,25–7,90.

Содержание H_2S в толще воды в пределах вала Шатского изменяется от 0,0 на верхней границе анаэробной зоны до концентраций 13,1–13,5 мг/л на глубине 2000 м. Отмечается сезонные изменения содержания H_2S . Так, в слое на глубине 200 м зимой концентрация H_2S = 1,54 мг/л, а летом H_2S = 1,03 мг/л. В акватории глубоководной части ЧМ прилегающей к Крыму H_2S отмечен уже на глубинах около 100 м. Содержание его здесь изменяется от 0,0 до 0,7 мг/л. С глубиной его концентрация быстро возрастает и на глубине 1000 м достигает 6–7 мг/л. Далее рост замедляется и достигает 10–12 мг/л на глубине 2000 м. Имеются аномалии в распределении концентраций сероводорода над активными грязевыми вулканами. Величина pH в поверхностном слое вод района варьировалась в пределах от 8,10 до 8,72.

В турецком секторе ЧМ (центральная часть субабиссали) содержание H_2S в толще воды изменяется от 0,0 на верхней границе анаэробной зоны (около 150 м) до 17,0–20,6 мг/л в слоях с глубинами более 2000 м.

Концентрация H_2S в водах румынского сектора Черного моря увеличивается до глубины 1500 м и затем стабилизируется на уровне около 9,5 мг/л, достигая в водах отдельных глубоководных районов моря концентрации 11–12 мг/л. Содержание H_2S , особенно в верхних слоях зоны, варьирует по сезонам: оно понижается летом и возрастает зимой.

В болгарском секторе H_2S в значимых количествах появляется с глубины 150 м и, как и в других частях ЧМ, концентрация его быстро нарастает до глубины 1000 м (H_2S = 6,5 мг/л), достигая на глубинах более 2000 м величины 8,2 мг/л. В грунтах H_2S обнаружен на глубинах моря 97–110 м (внешняя часть шельфа). В интервале опробования 0,1–1,6 м его содержание составляет 18–1460 мг/кг (влажного грунта) и увеличивается с глубиной. В поровой воде в указанном интервале концентрация H_2S = 0,64–20,0 мг/л. На глубине более 2000 м (субабиссальная равнина) содержание H_2S = 43,0–3296,0 мг/кг (влажного грунта). При этом максимальные концентрации H_2S приурочены к интервалу 3,0–3,5 м. В поровой воде содержание H_2S варьируется в пределах 0,38–129 мл/л.

Выполненные исследования позволили разработать надежные технические решения по защите газопроводов от коррозии.

О ВЛИЯНИИ ЗЫБИ ТИХОГО ОКЕАНА НА ФОРМИРОВАНИЕ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ В ОХОТСКОМ МОРЕ

Мысленков С.А., Ткаченко И.Д.

*МГУ, г. Москва, Россия
stassas@yandex.ru*

Ключевые слова: ветровые волны, зыбь, моделирование волнения, охотское море, WavewatchIII.

При моделировании ветрового волнения исследователи часто сталкиваются с проблемой выбора границ расчетной области и заданием условий на открытых границах. Охотское море отделено от Тихого океана грядой Курильских остров, тем не менее, зыбь из Тихого океана проходит через проливы и оказывает влияние на развитие волнения в Охотском море. Данная работа посвящена количественной оценке этого процесса.

Для оценки влияния зыби, распространяющейся из Тихого океана в Охотское море, применялась волновая модель WAVEWATCHIII. В качестве входных данных о ветре использовались данные реанализа высокого разрешения NCEP CFSv2 за 2018 год. Пространственное разрешение реанализа составляет $\sim 0.2^\circ$, шаг по времени 1 час.

Вычисления проводились на неструктурной триангуляционной сетке, которая включает в себя акватории Японского, Охотского и Берингова морей, а также часть Тихого океана до экватора. Шаг сетки составляет около 15–20 км в открытой части Охотского моря и до 1–2 м в прибрежной зоне и в проливах Курильской гряды, общее количество узлов 42136.

В результате расчета по модели WAVEWATCH 3 был получен ряд данных о параметрах волнения за период с 1 по 31 января 2018 года с шагом по времени 3 часа. Из данных моделирования были выбраны случаи с наиболее сильным волнением. Например, 10 января 2018 года высота значительных волн, приходящих к Курильским островам с юго-востока, составляла порядка 6–7 м.

Высота зыби подходящих волн составляла около 3–3.5 м. К северо-западу от Курильской гряды наблюдалась высота зыби около 1.5–2 м. Если рассматривать поток волновой энергии, то на входе в проливы мы имеем значения около 250–300 кВт/м, а после проливов в Охотском море – около 150–160 кВт/м.

Если на входе в проливы высота значимых волн не превышает 3–4 м, то практически вся волновая энергия диссипирует.

Наибольшее количество волновой энергии из Тихого океана в Охотское море проходит через проливы Буссоль и Крузенштерна.

ОЦЕНКА БАРОКЛИННОГО РАДИУСА ДЕФОРМАЦИИ РОССБИ В РАЙОНЕ ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЫ

Новоселова Е.В., Белоненко Т.В.

*СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия
novoselovaa.elena@gmail.com*

Ключевые слова: бароклиновый радиус деформации Россби, Северная Атлантика, Лофотенская котловина.

Радиус деформации Россби – это масштаб длины, имеющий фундаментальное значение в динамике атмосферы и океана. По существу, он является горизонтальным масштабом, на котором эффекты вращения (грубого типа) становятся такими же важными, как и эффекты плавучести [Гилл, 1986].

Выяснено, что максимальные величины радиуса деформации Россби (до 8–9 км) наблюдаются в Лофотенской котловине и в северной части исследуемого района (~ 82° с. ш.) – в областях максимальных глубин. Сравнение оценок радиуса, полученных различными методами, выявило различия в пространственном распределении величин, которые связаны с особенностями методов. В частности, оценки радиуса деформации, вычисленного по формуле для двухслойной жидкости, существенно зависят от глубины h_1 , которая определяется эмпирическим способом. Межгодовая изменчивость не является ярко выраженной. Присутствует

сезонная изменчивость, наибольшие значения характеристики достигаются в тёплое время года (июль-сентябрь).

Заявленная тема является крайне актуальной, так как при всей простоте подходов, в литературе существует путаница в численных оценках радиуса деформации. Мы считаем, что некоторые оценки являются ошибочными [Köhl, 2007; Volkov et al., 2015] и возникли из-за того, что авторы, рассчитывая радиус по формуле ВКБ, не включили в знаменатель число π .

В то же время в работе [Fer et al. 2018], рассчитывая радиус деформации через задачу Штурма-Лиувилля (метод ВКБ-приближения) получают в области Лофотенского вихря значение 12 км, а рассчитывая радиус другим способом – по формуле для двухслойной жидкости, получает значение 8 км. Подобные оценки получены также в работах [Chelton et al. 1998, Nurser and Bacon, 2014]. Наши оценки радиуса согласуются с данными результатами. Мы рассчитываем, что наше исследование будет способствовать установлению истины в подходах к оценке бароклинного радиуса деформации Россби.

БАЛАНС НЕОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА ПРИБРЕЖНЫХ МОРСКИХ ЭКОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

Орехова Н.А.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
natalia.orekhova@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: бюджет углерода, компоненты карбонатной системы, Севастопольская бухта

В настоящее время неоспоримым является факт глобальных изменений биогеохимической структуры Мирового океана, но особенно это проявляется в отношении региональных изменений. В частности, отмечено снижение концентрации кислорода и появление зон его дефицита, увеличение содержания биогенных элементов, а также смещение pH в сторону более кислой среды в

открытом океане, на шельфе и в прибрежных акваториях, что преимущественно обусловлено процессами эвтрофикации.

В работе представлены результаты исследования компонентов карбонатной системы донных отложений, приведена оценка бюджета углерода для экосистемы Севастопольской бухты (Черное море) по данным 2007–2018 гг.

Севастопольская бухта является полузамкнутой акваторией с ограниченным водообменом. Единственным постоянным водооток, разгружающим свои воды в вершине бухты, является река Черная.

Взросшее поступление биогенных элементов и увеличение содержания органического вещества в Севастопольской бухте за последние 20 лет привело к снижению концентрации кислорода, увеличению концентрации ионов водорода и смещению pH в сторону более кислой среды. Обогащенные лабильным органическим веществом речной сток, коммунально-бытовые и промышленные стоки усиливают подкисление вод бухты.

Результаты анализа донных отложений показали, что донные отложения бухты служат дополнительным источником растворенного неорганического углерода для придонного слоя вод, при этом в поровых водах отмечается параллельный рост TCO_2 и TA с глубиной. По характеру их распределения можно предположить анаэробный характер трансформации органического вещества. В этом случае очевидно, что основными продуктами окисления органического углерода являются HCO_3^- и CO_2 .

Вертикальные профили компонентов карбонатной системы поровых вод донных отложений позволили рассчитать поток TCO_2 на границе раздела «вода – донные отложения». Средняя величина потока (JTCO_2) составила 0,51 моль/(м²·год), а сам поток направлен из донных отложений в придонный слой вод. С учетом величины потока TCO_2 и площади бухты вклад донных отложений в общий бюджет неорганического углерода составляет 48 т/год

По данным многолетних исследований установлено, что общее содержание неорганического углерода в водах бухты ~3400 т, при этом ежегодно из бухты в море выносится 1476 т неорганического углерода.

Сток реки Черной для вод Севастопольской бухты является дополнительным источником биогенных веществ и неорганического углерода. Вклад речного стока в общий бюджет неорганического углерода вод Севастопольской бухты равен 310 т/год. Из атмосферы в воды бухты поступает не менее 16 т/год неорганического углерода.

В результате, сумма известных нам источников составляет 374 т/год. С учетом того, что из бухты в открытое море ежегодно выносится до 1476 т неорганического углерода, разница в 1102 т/год представляет, вероятно, вклад антропогенных источников.

Таким образом, экосистема Севастопольской бухты формируется преимущественно под влиянием антропогенных факторов, роль которых многократно превышает естественные факторы.

Работа выполнена в рамках темы гос. задания 0827-2018-0004 (шифр «Прибрежные исследования») и проектов РФФИ 16-35-60006 мол_а_дк и РФФИ 18-05-80028 «Опасные явления».

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО И ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ БАЛАКЛАВСКОЙ БУХТЫ

Орехова Н.А.¹, Овсяный Е.И.¹, Гуров К.И.¹, Тихонова Е.А.²

*МГИ, г. Севастополь, Россия
ИнБЮМ, г. Севастополь, Россия
natalia.orekhova@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: донные отложения, органический углерод, кислород, Балаклавская бухта.

Вследствие активной урбанизации прибрежных зон возрос уровень антропогенной нагрузки на их морские экосистемы. В первую очередь это относится к акваториям Крымского побережья, которые в условиях бессистемного подхода к их эксплуатации в течение нескольких десятилетий претерпевают негативные

изменения. Балаклавская бухта является примером такой экосистемы. Балаклавская бухта относится к полужамкнутой акватории эстуарного типа с затрудненным водообменом. Основными источниками загрязняющих веществ, органического углерода и биогенных элементов являются промышленно-бытовые сточные воды и речной сток. Кроме того, бухта используется как яхтенная марина, что не может не отражаться на экосистеме бухты.

На основе данных, полученных в результате отбора проб донных отложений в сентябре 2018 г. в Балаклавской бухте, выполнен анализ основных биогеохимических процессов, определяющих деструкцию органического вещества и развитие окислительно-восстановительных условий в донных отложениях и придонном слое вод. Изучен видовой и количественный состав макрозообентоса в условиях антропогенного воздействия и дополнительного поступления органического вещества. Установлено, что слой воды над осадком насыщен кислородом (его концентрация достигала 220 мкМ), однако в поровых водах донных отложений преобладающими являются растворенные формы железа (Fe (II, III)), свидетельствующие о развитии субкислородных и анаэробных условий. Содержание Fe (II) сопоставимо с его концентрацией в наиболее антропогенно нагруженной акватории Севастопольской бухты и достигает 2 мкм. При этом отмечено значительно меньшее содержание органического вещества (до 2,5% сух. масс.) в донных отложениях и преобладание процесса накопления карбонатов над органической составляющей ($\gamma \sim 0,6$) в верхнем слое отложений.

Состав макрозообентоса определялся местом отбора проб и зависел, вероятно, от гидродинамических условий, т. к. содержание органического углерода в верхнем слое отложений исследуемых районов было практически одинаковым, химия поровых вод также определялась реакциями с участием реакционноспособных форм железа. При этом встречались виды полихет (*Capitella Capitata*), отмеченные ранее в наиболее загрязненных (в том числе, нефтяными углеводородами) районах севастопольского региона. Однако, в центральной части Балаклавской бухты их доля составляет менее 1% от численного разнообразия макрозообентоса станции на выходе из бухты (южного мористого бас-

сейна). Этот участок акватории характеризуется большим разнообразием бентоса и преобладающим классом являются моллюски (брюхоногие). Доля полихет составляет около 14% (их видовой состав также соответствует составу, отмеченному на загрязненных участках).

Таким образом, установлено, что в период максимальной антропогенной нагрузки избыточный поток органического вещества в придонный слой вод и донные отложения приводит к активному расходованию кислорода на процессы его окисления, определяющие развитие окислительно-восстановительных условий в донных отложениях, определяются реакциями с участием растворенных форм железа в верхнем слое и процессами сульфатредукции в нижних слоях отложений.

Работа выполнена в рамках темы гос. задания ФГБУН МГИ 0827-2018-0004, проекта РФФИ 18-45-920008, гос. задания ФГБУН ИМБИ «Молисмнологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ 0828-2019-0006).

ПРОБЛЕМЫ ГИДРОДИНАМИКИ И ИХ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

Павлов Д.Г.

*НИИ ГСГФ, г. Фрязино, Россия
geom2004@mail.ru*

Ключевые слова: гиперкомплексные числа, h -голоморфные функции, гиперкомплексный потенциал, линии тока, гиперповерхности уровня, уравнение Даламбера и его финслеровы обобщения.

Доклад посвящен обобщению идей, изложенных в фундаментальной работе [Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. Проблемы гидродинамики и их математические модели, 1973]. Показывается, что обобщение хорошо известного метода комплексного потенциала для двумерных стационарных течений на пространственно-вре-

менные и многомерные задачи с применением многокомпонентных гиперкомплексных чисел принципиально возможно. При этом, в случае сохранения двух измерений естественно решаемые задачи оказываются связанными с двумерной теорией относительности, а оператор Лапласа заменяется его естественным обобщением оператором Даламбера. В случае трех и более измерений, геометрия, естественным образом связанная с соответствующими многокомпонентными гиперкомплексными числами, всегда оказывается псевдофинслеровой, а оператор Даламбера должен быть заменен на свои псевдофинслеровы расширения. Обсуждаются идеи, каким образом открывающиеся на этом пути перспективы могут быть использованы для моделирования многомерных нестационарных процессов в твердых, жидких и газообразных средах.

ВЛИЯНИЕ УЧЕТА СКОРОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕЧЕНИЙ ПРИ РАСЧЕТЕ КАСАТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ВЕТРА НА ЭНЕРГЕТИКУ ДВУХСЛОЙНОЙ ВИХРЕРАЗРЕШАЮЩЕЙ МОДЕЛИ

Павлушин А.А., Шапиро Н.Б., Михайлова Э.Н.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
pavlushin@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: касательное напряжение ветра, вихреразрешающая модель, энергетика, Черное море.

Обсуждаются результаты численных экспериментов по моделированию крупномасштабной циркуляции в Черном море, выполненных с помощью двухслойной вихреразрешающей модели, основанной на примитивных уравнениях. Источником движения в модели является стационарный ветер $\mathbf{U}(x, y)$ с ненулевой завихренностью.

В моделях циркуляции океана касательное напряжение ветра, как правило, рассматривается как функция только скорости ветра

$\tau = \rho_a c_d |U_a| U_a$, где ρ_a – плотность воздуха, c_d – коэффициент сопротивления, U_a – скорость ветра на высоте 10 м.

В большинстве случаев такой подход кажется оправданным, поскольку скорости поверхностных течений, как правило, много меньше скорости ветра. Однако возможны ситуации, когда скорости течений становятся сравнимыми со скоростями ветра, например, при выходе поверхности раздела слоев на поверхность моря.

Для таких случаев предыдущая формула может быть обобщена следующим образом $\tau = \rho_a c_d [(U_a - u_0)|(U_a - u_0)]$, где u_0 – скорость поверхностного течения.

Проведенные численные эксперименты показали достаточно большую зависимость энергетических характеристик модели от способа параметризации напряжения ветра. В экспериментах с учетом в τ скорости поверхностных течений средние по пространству значения потенциальной и кинетической энергии в режиме статистического равновесия получились почти на 25% меньше, чем соответствующие значения энергии, полученные без их учета.

Кроме того, учет скорости поверхностных течений при вычислении τ повышает вычислительную устойчивость модели и способствует выходу решения на квазиравновесный режим.

ОСОБЕННОСТИ ЦИРКУЛЯЦИИ ЧЕРНОГО МОРЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ ВЕТРОМ С ЦИКЛОНИЧЕСКОЙ И АНТИЦИКЛОНИЧЕСКОЙ ЗАВИХРЕННОСТЬЮ

Павлушин А.А., Шапиро Н.Б., Михайлова Э.Н.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
pavlushin@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: циркуляция, Черное море, численная модель, антициклонический ветер.

Обсуждаются результаты численных экспериментов по моделированию крупномасштабной циркуляции в Черном море под

действием ветра с завихренностью различного знака. Использовалась двухслойная вихреразрешающая модель, для возбуждения движения задавались стационарные поля касательного напряжения ветра $\tau_a(x, y)$ или $\tau_c(x, y)$, где τ_c – поле с циклонической, $\tau_a = -\tau_c$ с антициклонической завихренностью. Эксперименты проводились на длительный срок, до выхода решения на статистически-равновесный режим, при котором средние энергетические характеристики модели оставались практически постоянными.

В экспериментах с учетом рельефа дна при воздействии циклонического ветра в верхнем и нижнем слое моря формировалась циркуляция циклонической направленности. В верхнем слое над материковым склоном образовывалось струйное меандрирующее течение (ОЧТ). В нижнем слое течения были направлены преимущественно вдоль изобат и имели скорости на порядок меньше, чем в верхнем слое.

При смене знака завихренности ветра в центральной части бассейна в верхнем слое моря формировались интенсивные антициклонические вихри диаметром 150–200 км, которые медленно дрейфовали в западном направлении. При этом в нижнем слое циркуляция в основном имела циклоническую направленность.

Примечательно, что в бассейне с горизонтальным дном направление крупномасштабной циркуляции в верхнем и нижнем слое совпадало со знаком завихренности ветра.

РАЗВИТИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ МОРЕЙ ЭСТУАРНОГО ТИПА НА ПРИМЕРЕ БАЛТИКИ

**Пака В.Т., Голенко М.Н., Кондрашов А.А., Корж А.О.,
Ландер М.Р., Набатов В.Н., Подуфалов А.П.**

*ИО РАН, г. Москва, Россия
vpaka@mail.ru*

Ключевые слова: Балтийское море, мезомасштабная и микро-масштабная структура, придонный слой.

Балтика является типичным эстуарным морем со средней глубиной 51 м. Ее верхний слой толщиной около 40–60 м распреснен, а в глубинных слоях постоянно присутствует соленая вода, проникающая туда через мелководные датские проливы в виде эпизодических затоков из Северного моря. Галоклин препятствует доставке кислорода, что ведет к стагнации вод во впадинах, угнетающей их биоту. Благоприятные условия возобновляются только после особенно больших затоков, приносящих аэрированную воду, более плотную по сравнению со «старой» водой, вытесняющих ее на меньшие глубины. Однако на трассе затоков имеется немало мест с глубинами около 60–80 м, где придонные воды вентилируются в достаточной степени умеренными затоками. Прохождение затоков осложняется сложным рельефом дна. В результате прогноз экологического состояния Балтики превращается в трудную задачу, для решения которой на первый план выходит исследование адвективных потоков в промежуточных и придонных слоях, представляющих собой в сущности нестационарные термохалинные квази-изопикнические интрузии. Сложность их структуры налагает высокие требования к пространственно-временному разрешению зондирующих приборов. Для уверенного воспроизведения мезомасштабной структуры необходимо пространственное разрешение около 1 км. Измерения с такими интервалами между зондированиями можно обеспечить лишь на ходу судна. Но не менее важным требованием является получение данных о придонном слое, поэтому каждое зондирование необходимо доводить до дна. Использование буксируемых сканирующих зондов в таком режиме сопряжено с риском их потери. Последним достижением в решении этой задачи является освоение техники зондирования по вертикальным траекториям квази-свободно-падающими зондами, используемой обычно на дрейфовых станциях при измерениях параметров тонкой структуры, но адаптированной для движущегося судна. Эта методика позволила также измерять придонный кислород, удерживая зонд на дне достаточно времени, чтобы избежать больших ошибок при использовании инерционных датчиков.

На дрейфовых станциях, оптимальное расположение которых позволяют определить высокоразрешенные разрезы, выполняются наиболее тонкие измерения турбулентной микроструктуры придонного слоя с помощью микроструктурного зонда по методике, отличающейся от общепринятой тем, что зонд погружается практически свободно даже при больших скоростях дрейфа судна, что позволяет изучать перемешивание в штормовых условиях.

Последним достижением явилось усовершенствование техники измерений тонкослойных придонных течений, в частности гравитационных затоковых течений в желобах и на склонах, с помощью недорогих инклинометрических приборов.

Работа выполнена в рамках темы госзадания №0149-2019-0013 и при поддержке грантов РФФИ 18-05-80031 и 19-05-00962.

СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ СГОННЫХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ МОРЯ С ДАННЫМИ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В РАЙОНЕ МГС ОПАСНОЕ

Полозок А.А., Лемешко Е.Е.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
polozok.umi@gmail.com*

Ключевые слова: сгоны, штормовые ситуации, уровень моря, измерения уровня, моделирование

В условиях сокращения финансирования на содержание морских гидрологических станций все более актуальной становится задача использования методов прогнозирования и моделирования для анализа и оценки экстремальных подъемов/спадов уровня моря. Чтобы полученные прогнозные оценки были наиболее приближены к реальным значениям, необходимо провести сопоставление модельных и натурных данных. Это даст возможность максимально точно настроить применяемую для расчетов модель.

Цель данной работы – сопоставить результаты численного моделирования сгонно-нагонных колебаний уровня моря с натурными данными, полученными в районе МГС Опасное. Указанная морская гидрологическая станция выбрана в связи с тем, что в этом регионе Азово-Черноморского бассейна чаще всего фиксируются экстремальные сгоны и нагоны. Кроме того, для указанной станции имеются в наличии наиболее полные ряды срочных и учащенных измерений уровня моря.

Для сопоставления с данными моделирования использованы ряды учащенных ежечасных наблюдений за уровнем моря на МГС Опасное, полученные во время трех длительных штормовых сгонов, зафиксированных в апреле, ноябре и декабре 1993 года.

Исследование штормовых ситуаций за период 1993–2005 гг. показало, что именно в 1993 году произошло наибольшее количество опасных повышений и спадов уровня моря вблизи морской гидрологической станции Опасное. Было принято решение взять для сопоставления натурные данные по одному году, так как в таком случае значительно упрощается настройка модели.

При выборе штормовых ситуаций брались в расчет опасные сгоны с длительностью больше 7 часов. Сопоставлять натурные данные с данными моделирования в данном случае имеет смысл только тогда, когда каждый сопоставляемый ряд значений уровня будет иметь не меньше 5 значений. В противном случае невозможно оценить тенденции изменчивости данных.

Значительные сгоны наблюдались преимущественно при южных направлениях ветра при средних скоростях ветра 6–8 м/с с порывами 10–11 м/с.

Для расчетов полей уровня моря в Керченском проливе применялась численная гидродинамическая модель Advanced Circulation Model for Shelves Coasts and Estuaries (ADCIRC). Численный алгоритм модели основан на методе конечных элементов, использующем треугольные элементы и линейные базисные функции. Моделирование выполнялось для всего Азово-Черноморского бассейна на неструктурированной расчетной сетке со сгущением в Керченском проливе. Размер конечных элементов изменялся в пределах от 60 м в Керченском проливе до 4900 м в глубоководной части Черного моря. В качестве атмосферного форсинга использовались данные атмосферного реанализа.

Предварительно полученные результаты моделирования показали приемлемую сопоставимость с натурными данными наблюдений в районе МГС Опасное. Положительным моментом является тот факт, что модельные и реальные значения имеют схожие тенденции изменчивости. Это дает возможность применять данные моделирования для дополнения имеющейся базы наблюдений.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЦИРКУЛЯЦИИ В САХАЛИНСКОМ ЗАЛИВЕ, АМУРСКОМ ЛИМАНЕ И ПРИЛЕГАЮЩИХ РАЙОНАХ ШЕЛЬФА ОХОТСКОГО И ЯПОНСКОГО МОРЕЙ

**Пономарев В.И., Файман П.А., Дубина В.А.,
Шкорба С.П., Карнаухов А.А.**

*ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, Россия
pvi711@yandex.ru*

Ключевые слова: моделирование, синоптическая, изменчивость, циркуляция, Сахалинский залив, Амурский лиман, Охотское море, шельф.

Численные эксперименты по моделированию синоптической и сезонной изменчивости циркуляции Охотского моря, северной части Японского моря и прилегающей части Тихого океана выполнены П.А. Файманом с моделью циркуляции океана RIAM OM, разработанной в институте Прикладной механики (RIAM) университета Кюсю в Японии. Расчеты проводились на суперкомпьютере Токийского университета. В нашей работе использовались результаты одного из численных экспериментов для многолетнего периода с 1991 по 2000 г. без учета приливов и суточного хода метеорологических характеристик. В модели использовалась параметризация влияния ледяного покрова переменной сплоченности на потоки импульса, тепла и соли на границе раздела лед-вода. Кроме того, численный эксперимент проводился с мягкой ассимиляцией данных наблюдений температуры воды за

конкретные годы с пятисуточным осреднением и климатической солености с месячным осреднением. Исходными являются спутниковые данные на широтно-долготной сетке средних суточных значений концентрации ледяного покрова и температуры воды на поверхности моря из (NOAA/National Climatic Data Center).

Показано, что система струйных течений и мезомасштабных вихрей в Сахалинском заливе и Амурском лимане Охотского моря, как и на северном шельфе Татарского пролива в Японском море, быстро изменяется со сменой южного – юго-восточного ветра на ветер северных румбов. Интегральный перенос в узком мелководном проливе Невельского и водообмен между Охотским и Японским морями через этот пролив обусловлен гидравлическим эффектом. Поступление распресненных вод Амурского лимана в Татарский пролив Японского моря, в основном, зависит от разности уровня моря на южной и северной границах пролива Невельского.

Направление интегрального переноса вод через этот пролив на сезонном масштабе обусловлено сменой летнего муссона на зимний. В теплый период года при ветре южных румбов преобладают ветровой нагон на северном шельфе Татарского пролива и сгон в Амурском лимане и Сахалинском заливе. В холодный сезон при ветре северных румбов ветровой сгон наблюдается на северном шельфе Татарского пролива, а нагон – в прибрежных районах Сахалинского залива и в Амурском лимане. Сток реки Амур значительно усиливает влияние ветрового нагона на изменение уровня моря, а также оказывает влияние на эволюцию системы струйных течений и мезомасштабных вихрей при изменении направления ветра.

Зависимость циркуляции от направления, скорости ветра и расхода реки Амур проявляется на сезонном, месячном и синоптическом масштабах. Измерения уровня моря на прибрежных станциях в Охотском и Японском морях, как и результаты моделирования показывают, что подъем уровня моря вследствие ветрового нагона достигает максимума именно в Амурском лимане и в прилегающих прибрежных районах Сахалинского залива. Штормовые нагоны в Сахалинском заливе и Амурском лимане приводят к интенсификации струйных течений, мезомасштабных

вихрей и поступлению вод реки Амур в Японское море через пролив Невельского в любой сезон года. Работа выполнена при поддержке программы РАН «Дальний Восток» 19/20-1-010).

СИСТЕМА ПРОГНОЗА ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ В СЕВАСТОПОЛЬСКОМ РАЙОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

Ратнер Ю.Б., Фомин В.В., Иванчик М.В., Холод А.Л.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
yubrat@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: моделирование, мониторинг, ветровое волнение, спектральные характеристики, прогноз, сопоставление.

В настоящей работе излагаются результаты разработки и тестирования оперативной системы диагноза и прогноза морского волнения с высоким пространственным разрешением в Севастопольском районе.

Система разработана с использованием модели SWAN на основе применения технологии нестинга (вложения) расчетов в локальных районах морских акваторий с высоким пространственным разрешением в выполнение глобальных прогнозов с более грубым пространственным разрешением. Выбор SWAN обусловлен тем, что эта модель специально разработана для прибрежных районов и адекватно описывает процессы генерации волн ветром, распространения, нелинейного взаимодействия и затухания волн. Под глобальным прогнозом имеется в виду прогноз волнения для всей акватории Черного моря, который регулярно выполняется в Черноморском центре морских прогнозов ФГБУН МГИ.

Созданная система функционирует в режиме оперативной опытной эксплуатации, начиная с октября 2018 года. В качестве входных данных системой используются прогностические поля скорости ветра, получаемые по сети Internet из Греческого центра атмосферных прогнозов SKIRON. Результаты прогнозов полей высот значительных волн, направлений, периодов, длин волн и

двумерных пространственно-частотных спектров ежедневно пополняют архив результатов расчетов.

Для оценки достоверности прогнозов были использованы данные о высотах значительных волн, получаемых с помощью методов, основанных на спутниковых альтиметрических измерениях. На основе сопоставления результатов прогностических расчетов с данными спутниковых наблюдений оценены статистические характеристики отклонений между прогностическими и наблюдаемыми высотами значительных волн. При этом был отработан новый способ совместного контроля качества данных прогностических расчетов и спутниковых измерений, используемых для их валидации. Он основан на методах робастной статистики. Использование робастных методов оценивания статистических характеристик отклонений между прогностическими и измеренными величинами высот значительных волн позволяют в автоматическом режиме более надежно выделить фрагменты данных в совместных выборках, которые могут служить индикаторами проблем модели, или входных данных о скорости ветра, необходимых для выполнения прогноза морского волнения.

Валидация прогностических расчетов показала хорошее согласие результатов прогнозов по критериям максимума коэффициента корреляции и минимума стандартного отклонения.

Работа выполнена за счет гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 18-45-920059.

ТРЕХМЕРНАЯ СТРУКТУРА БЛИЖНЕЙ ОБЛАСТИ ПОЛЯ ВНУТРЕННИХ ВОЛН, ГЕНЕРИРУЕМЫХ ДВИЖУЩИМИСЯ БАРИЧЕСКИМИ ОБРАЗОВАНИЯМИ ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ЖИДКОСТИ

Санников В.Ф.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
vf_sannikov@mail.ru*

Ключевые слова: математическая модель, генерация, внутренние волны, длинноволновое приближение, барические образования

Перемещающиеся барические образования являются одним из генераторов внутренних волн в морях и океанах. Волнообразующее действие атмосферы на морскую среду проявляется в создании областей возмущения поверхностного давления, полей касательных напряжений ветра, конвективного перемешивания, источник которого перемещается над поверхностью моря. Реакция океана на перемещающийся циклон интерпретируется, как кильватерный след движущегося шторма.

В настоящей работе представлено развитие математической модели генерации поля внутренних волн движущейся с переменной скоростью областью атмосферных давлений. Исследование выполнено в рамках линейной теории воли с использованием гидростатического приближения и приближения f – плоскости. Волновое поле представлено в виде разложения по модам внутренних волн. С целью получения эффективного алгоритма расчета пространственных характеристик вынужденных волн, рассмотрено модельное распределение поверхностных давлений.

Волновые процессы, связанные с движущимися барическими образованиями, рассматривались в большом числе работ. Обычно движение аномалий атмосферного давления предполагается прямолинейным и равномерным. Учет значительных изменений параметров генераторов волн затруднителен, поскольку связан с большими объемами вычислений. Сопутствующие эффекты изучены мало.

Групповые скорости распространения внутренних волн в океане относительно невелики. Поэтому установление волнового следа при неизменных внешних условиях происходит медленно. В этой связи представляет интерес анализ эффектов, связанных изменениями со временем внешних сил и эволюции процессов волнообразования.

В численных экспериментах начальные условия полагались нулевыми, интенсивность и скорость перемещения области давлений задавались сначала линейно растущими со временем и затем – постоянными. На начальной стадии эволюции в волновом поле доминируют локальные возмущения под областью приложения давлений, от которой распространяются кольцевые волны, потом за генератором формируется клинообразный волновой след. Выполненные расчеты позволили установить характер формирования поля вынужденных внутренних волн и зависимости пространственного распределения интенсивности волновых возмущений от основных параметров модели.

АНАЛИЗ ГЛУБИННОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАСЧЕТОВ МОДЕЛЕЙ МГИ И НЕМО

Сендеров М.В., Маркова Н.В., Дымова О.А.

МГИ, г. Севастополь, Россия
senderovmaxim@gmail.com

Ключевые слова: Черное море, численное моделирование, крупномасштабная циркуляция, глубинные течения, температура, соленость.

Большое количество работ, посвященных численному моделированию гидрофизических полей Черного моря, описывают процессы в верхних слоях. Поэтому, настоящая работа посвящена исследованию глубинной циркуляции.

Основные измерения in-situ происходят в слое от 0 до 300 м, данные спутникового мониторинга позволяют получить изменчивость только поверхности моря, океана. Также, для большинства потребностей жизнедеятельности человека в основном важна информация о поверхностном состоянии моря. Поэтому, результаты численных моделей хорошо валидированы и верифицированы в верхнем слое моря. При довольно редких глубоководных измерениях всю картину в толще моря позволяет реконструировать модельные данные.

В морском гидрофизическом институте (МГИ) численное моделирование развито на высоком уровне. Длительное время работает Центр морских прогнозов Черного моря (ЦМП ЧМ), в котором используется модель, разработанная в самом институте. Также активно начинает использоваться модельный комплекс NEMO. Он является основным инструментом большинства региональных систем Службы мониторинга за состоянием океана Copernicus, созданной на основе результатов проектов 7-й Европейской Рамочной Программы (EU FP 7) MyOcean и MyOcean2.

В представленной работе мы проводим сравнение результатов прогностического численного эксперимента по моделированию параметров Черного моря в 2011 г. с помощью модели МГИ и NEMO.

Для расчетов батиметрия бассейна взята из Базы океанографических данных МГИ. В расчетах использовались граничные условия на поверхности моря, полученные на основании модели SKIRON за 2011 г. Также учитывался сток рек и водообмен через проливы. Обе модели начинали старт с одной точки, полученной из реанализа МГИ, задавались уровень моря, температура, соленость и горизонтальные скорости течений. Дискретизация систем уравнений моделей выполнена на сетке «С» по терминологии Аракавы. Горизонтальное разрешение модели МГИ – 1,6 км и 27 неравномерных z-уровней предустановлены по вертикали. Модель NEMO имеет пространственное разрешение 5 км и 38 z-горизонтов.

Для параметризации горизонтального турбулентного обмена используется бигармонический оператор с коэффициентами ($-5 \cdot 10^8$ м⁴/с) для вязкости и ($-4 \cdot 10^8$ м⁴/с) для диффузии тепла и соли в модели NEMO. В модели МГИ эти параметры также описываются бигармоническими операторами с постоянными коэффициентами 10^{16} см⁴/с и $5 \cdot 10^{16}$ см⁴/с, соответственно. Расчеты проводились для периода с 1 января по 31 декабря 2011 г.

ГЕНЕРАЦИИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ ВНУТРЕННИМИ ВОЛНАМИ ПРИ НАЛИЧИИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

Слепышев А.А.^{1, 2}, Носова А.В.¹

¹МГИ, г. Севастополь, Россия

²Филиал МГУ в г. Севастополе, Россия
slep55@mail.ru

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

Генерация вертикальной тонкой структуры гидрофизических полей – актуальная проблема, далекая от полного решения к настоящему моменту времени. Следует выделить несколько подходов к решению этой проблемы. Внутренние волны – мощный

источник вертикальной тонкой структуры через генерацию мелкомасштабной турбулентности при их обрушении. Турбулентность при этом группируется в виде пятен, которые растекаясь и порождают переслоенность. Кинематический эффект внутренних волн высших мод дает обратимую вертикальную тонкую структуру, которая после прохождения волнового пакета исчезает. Для океана нередки ситуации, когда температура и соленость уменьшаются с глубиной при устойчивой стратификации. Тогда возможна вертикальная конвекция в виде «солевых пальцев» с образованием ступенчатых структур. В районах фронтов возможен механизм «интрузионного расслоения», когда происходит взаимное проникновение вод с различными T, S -характеристиками (T – температура, S – соленость). Тонкая структура «интрузионного типа» имеет ярко выраженные инверсии по температуре и солености при устойчивой стратификации. Иногда на фоне таких инверсий развиваются ступенчатые структуры вследствие механизма двойной диффузии. Наиболее типичной является ситуация, когда температура убывает с глубиной, а соленость растет. В этом случае «двойная диффузия» не работает и ключевым фактором генерации вертикальной тонкой структуры являются внутренние волны. Касаясь волнового механизма формирования тонкой структуры нельзя не отметить роль нелинейных взаимодействий при распространении внутренних волн. Нелинейные эффекты при распространении пакетов внутренних волн проявляются в генерации средних на временном масштабе волны течений и поправки к плотности, пропорциональных квадрату текущей амплитуды. Данная поправка к плотности зависит от вертикальной координаты и может рассматриваться как тонкая структура, генерируемая волновым пакетом. После прохождения волнового пакета невозмущенный профиль стратификации восстанавливается, и генерируемая вертикальная тонкая структура имеет обратимый характер. Однако при учете горизонтальной турбулентной вязкости и диффузии вертикальные волновые потоки массы отличны от нуля и приводят к генерации необратимой вертикальной тонкой структуры. Масштаб этой тонкой структуры соответствует реально наблюдаемому.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2019-0003 (шифр «Океанологические процессы»).

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРУПНОМАСШТАБНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ МИРОВОГО ОКЕАНА В ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ ПО МОДЕЛИ НЕМО С УСВОЕНИЕМ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Струков Б.С., Реснянский Ю.Д., Зеленко А.А.

*Гидрометцентр России, г. Москва, Россия
bsstr@mail.ru*

Ключевые слова: модель НЕМО, усвоение данных, частотный спектр, сезонный ход, температура воды.

Временной ход температуры поверхностных слоев океана определяется в основном сезонными изменениями тепловых потоков из атмосферы. В некоторых областях океана помимо годового цикла встречаются колебания с другими периодами. В работе изучается география, интенсивность колебаний с различными периодами и их происхождение по результатам обработки выходных полей модели NEMO4. Численные эксперименты с моделью проводились в конфигурации вычислительной сетки $362 \times 332 \times 75$ на интервале времени 01.01.1990–31.12.2015. С начала 2001 года методом 3D-Var усваивались данные профильных измерений температуры и солености буями ARGO, проводилась коррекция сплоченности морского льда и уточнение уходящего потока длинноволновой радиации по данным спутниковых наблюдений. В качестве внешних воздействий были применены файлы форсинга DFS5.2. Наибольшая амплитуда годовых колебаний температуры наблюдалась в Северном полушарии с интенсификацией в западных областях океанов. Очевидно, это связано с влиянием воздушных масс, переносящихся с материков в восточном направлении и характеризующихся большими внутригодовыми амплитудами колебаний температуры в условиях континентального климата. Превалирование площади суши над площадью океана в северном полушарии и обратная картина для южного полушария объясняют, таким образом, наибольшую амплитуду годовых колебаний для северных областей. Полугодовые

составляющие спектра имеют различную природу для разных регионов. Так, в области Индийского океана полугодовую гармонику в колебания температуры океана приносят колебания интенсивности воздушных масс, связанные с муссонами. Здесь, как и в некоторых частях приэкваториальной зоны, полугодовые колебания являются отражением соответствующих периодичностей. В других же районах, таких как Охотское море или Гудзонов залив, происхождение полугодовой гармоник объясняется особой формой годовых колебаний, характеризующейся сравнительно длительным периодом сохранения температуры воды вблизи точки замерзания. В этом случае эта гармоника является лишь показателем формы годового колебания температуры. Многолетние циклические колебания температуры отмечены в областях ENSO и в южной части Лабрадорского течения. Циклы колебаний температуры также прослеживаются на картах в изменениях коэффициентов разложения по эмпирическим ортогональным функциям.

ГЕНЕРАЦИЯ ВОЛНОВЫХ ДВИЖЕНИЙ ДИНАМИЧЕСКИМИ ВОЗМУЩЕНИЯМИ В ЖИДКОСТИ С НЕОДНОРОДНЫМ ЛЕДЯНЫМ ПОКРОВОМ

Стурова И.В., Ткачева Л.А.

*ИГиЛ СО РАН, г. Новосибирск, Россия
sturova@hydro.nsc.ru*

Ключевые слова: неоднородный ледяной покров, изгибно-гравитационные волны, движущаяся нагрузка, прогибы и деформации льда, краевые волны, волновые силы.

Интенсивное освоение Арктики вызывает интерес к решению новых задач, связанных с взаимодействием различных возмущений в жидкости с ледяным покровом. В настоящее время наиболее полно изучена задача о воздействии динамических возмущений и генерации изгибно-гравитационных волн для безграничного однородного ледяного покрова. Ледяной покров моделируется тонкой упругой пластиной, плавающей на поверхности

воды. Большой вклад в исследование этих задач внесли сотрудники Морского гидрофизического института, работавшие под руководством Черкесова Л.В. Основные результаты этих исследований изложены в монографии [Букатов А.Е. Волны в море с плавающим ледяным покровом. Севастополь: ФГБУН МГИ, 2017].

Однако в реальных условиях ледяной покров не является однородным, так как может покрывать не всю верхнюю границу жидкости, а только ее часть, а также в нем могут существовать трещины и разводья. Влияние таких сложных граничных условий на поведение волнового движения находится в начальной стадии изучения. В последние годы были получены решения двумерных и трехмерных задач для различных неоднородных условий на верхней границе жидкости. В двумерном случае изучены волновые движения, вызванные колебаниями горизонтального цилиндра при наличии ледяного покрова полубесконечной или конечной ширины, а также ледяного покрова с трещиной или разводом.

В трехмерном случае рассмотрено влияние локализованной области как для периодического по времени внешнего давления, так и для нагрузки, движущейся равномерно вдоль прямолинейного края ледяного покрова. Такая задача возникает, например, при движении судна на воздушной подушке. Рассмотрены три случая: 1) вне ледяного покрова поверхность жидкости является свободной; 2) ледяной покров разделен прямолинейной частично срезанной трещиной; 3) жидкость ограничена твердой вертикальной стенкой и край ледяного покрова, примыкающий к стенке, может быть как заземленным, так и свободным. Для периодического возмущения обнаружено, что в дальнем поле в случае контакта пластины с жидкостью или пластин различной толщины выделяются направления преимущественного распространения волн под углом к краю пластины. В случае контакта двух одинаковых пластин со свободными краями или свободным налеганием возбуждаются волноводные моды (краевые волны), которые распространяются вдоль кромок и экспоненциально затухают в перпендикулярном направлении.

В данной работе более подробно будет представлено решение двух задач о волнах в жидкости и ледяном покрове, возникающих при равномерном движении области давления по свободной поверхности вдоль кромки полубесконечного ледяного покрова

либо в разводе между двумя ледовыми пластинами (ледовый канал). В подвижной системе координат поведение жидкости и ледяного покрова предполагается установившимся. Получено аналитическое решение с помощью метода Винера – Хопфа. Исследованы волновые силы (волновое сопротивление и боковая сила), действующие на движущуюся нагрузку, возвышение свободной поверхности, прогиб и деформации ледяного покрова при различных скоростях движения и толщины льда. Показано, что при определенных условиях может происходить разрушение ледяного покрова на его краю.

ОБ ОДНОМ ИЗ ПОДХОДОВ К СОЗДАНИЮ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОГРАФИИ ДЛЯ ПРИБРЕЖНЫХ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ

**Телегин В.А.^{1,2}, Веремьев В.И.³, Горбацкий В.В.⁴,
Зацепин А.Г.¹, Иванов И.И.⁵, Коваленко В.В.¹, Куклев С.Б.¹,
Кутузов В.М.³, Мысленков С.А.⁶**

¹ИО РАН, г. Москва, Россия

²ИЗМИ РАН, г. Москва, Россия

³СПбГЭТУ «ЛЭТИ», г. Санкт-Петербург, Россия

⁴Крыловский Государственный Научный Центр, г. Санкт-Петербург, Россия

⁵ЮФУ, г. Ростов-на-Дону, Россия

⁶МГУ, г. Москва, Россия

telegin@izmiran.ru

Ключевые слова: прибрежная зона моря, радиолокационные и контактные измерения, гидродинамические модели, усвоение данных измерений, гидрофизические поля, краткосрочное прогнозирование.

Одним из актуальных направлений современной океанологии является оперативная океанография (ОО), позволяющая осуществлять комплексный онлайн мониторинг океанов и морей. Наряду с фундаментальным содержанием, ОО имеет важные

прикладные значения и активно используется для нужд торгового и военного флота, рыбаков, при проведении морской добычи нефти и газа и т. п.

Используемая во многих странах мира, в т. ч., и в России, технология оперативного мониторинга морских акваторий базируется на получении в реальном времени данных атмосферного воздействия, спутниковых измерений уровня моря (спутниковой альтиметрии) и температуры морской поверхности (спутниковой ТПМ) и их усвоении в численных гидродинамических моделях. С помощью моделей даются диагноз и прогноз трехмерных полей температуры, солёности и скорости течений на срок до десяти дней. Верификация результатов численных расчетов производится на основе сопоставления с разнообразными данными контактных наблюдений, в том числе, ныряющих поплавков типа Argo.

В прибрежной зоне, где энергонесущие процессы имеют значительно меньшие пространственные и временные масштабы, наблюдательная система, созданная для открытого океана, не может быть использована в качестве основы оперативных прогнозов. Вместе с тем, в прибрежных зонах морей, шириной до 200 км, вместо ассимиляции наблюдений уровня моря, возможно усвоение данных поверхностной скорости течения, получаемых путем использования доплеровских радиолокаторов КВ диапазона с погрешностью измерений 7–10 см/с. Данный метод, при использовании гидродинамических моделей высокого разрешения, позволяет в реальном времени производить текущую оценку и кратковременный прогноз компонент скорости течений, морского волнения и основных гидрофизических полей (ГФП) заданных акваторий: температуры, солёности, плотности, гидростатического давления и скорости звука с пространственным разрешением, характерным для субмезомасштабных неоднородностей.

В докладе представлена начальная проработка вопроса о создании системы ОО прибрежной зоны северо-восточной части Черного моря на основе данного подхода с использованием, в частности, инфраструктуры Южного отделения ИО РАН (г. Геленджик) и ЮФУ (Абрау-Дюрсо).

Работа выполнена в рамках темы госзадания 0149-2019-0004.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИХРЕВЫХ ПРОЦЕССОВ ОБМЕНА ОКРАИННЫХ МОРЕЙ РОССИИ С МИРОВЫМ ОКЕАНОМ В ГЛОБАЛЬНОМ ЧИСЛЕННОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Ушаков К.В., Ибраев Р.А., Кауркин М.Н.

*ИО РАН, г. Москва, Россия
ushakovkv@mail.ru*

Ключевые слова: мезомасштабные вихри, вихревой перенос тепла, вихредопускающие модели, окраинные моря.

Мировой океан играет важную роль в климатической системе, перераспределяя тепло между бассейнами и перенося его от тропиков в полярные районы. Крупномасштабное распределение океанского переноса тепла достаточно подробно изучено по данным наблюдений. Однако его составляющая и изменчивость, обусловленные мезомасштабными вихрями, практически недоступны контактному измерению в силу их низкого разрешения, а спутники не дают информации о распределении по глубине.

Вихри распространены повсеместно в океане, но их вклад в процессы переноса значителен, главным образом, в районах взаимодействия течений с рельефом и между собой. Из-за неустойчивости вдоль фронтов могут образовываться меандры и вихри, которые влияют на процессы вертикального и горизонтального обмена. В этих условиях вихревой перенос зачастую противоположен или перпендикулярен переносу среднего течения. Более того, он может быть направлен от холодных вод к тёплым, что ограничивает применимость его параметризаций с положительным коэффициентом диффузии.

Так, на акватории Баренцева моря происходит взаимодействие тёплых атлантических вод и холодных вод Северного Ледовитого океана, что определяет формирование вихрей в Полярной фронтальной зоне в центральной части моря, а также вблизи Северной Земли, где сливаются ветви атлантических вод, проходящие через пролив Фрама и Баренцево море. Образующиеся здесь вихри

переносится системой арктических течений на значительные расстояния и обнаруживаются в морях Карском и Лаптевых. Вихревая динамика Сибирского Прибрежного течения поддерживается ветровым воздействием и фронтальной неустойчивостью между солёными водами океана и пресным речным стоком в Восточно-Сибирском и Чукотском морях. Высокая изменчивость течений и взаимодействие с топографией Алеутских островов порождают вихревую активность в Беринговом море.

Задачей данной работы является изучение распределения вихревого переноса тепла в окраинных морях России с помощью численного моделирования. Для этого используются результаты расчётов глобальной модели Мирового океана ИВМИО с номинальным разрешением 0.1° , разработанной в ИВМ РАН и ИО РАН. Модель аппроксимирует систему уравнений трёхмерной динамики океана в приближениях Буссинеска и гидростатики на трёхполярной локально-ортогональной сетке в вертикальных z -координатах с нелинейным кинематическим условием на свободной поверхности. Расчёты проведены за 1978–1982 гг., в течение которых атмосферные условия задавались по данным протокола CORE-II.

Вихревой перенос тепла оценивается как разность явно описываемого адвективного переноса и его части, обусловленной течением, осреднённым за характерный временной период мезомасштабных вихрей. При этом вклад параметризованного (лапласовского) перемешивания поддерживается пренебрежимо малым для максимально явного описания морской турбулентности.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0149-2019-0002).

АНАЛИЗ АПВЕЛЛИНГОВ В СЕВАСТОПОЛЬСКОМ РАЙОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАСЧЕТОВ ПО ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РОМ

Холод А.Л., Ратнер Ю.Б., Кубряков А.И., Иванчик М.В.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
antonholod@mail.ru*

Ключевые слова: автоматизированная система, мониторинг, гидродинамическая модель, апвеллинг, скорости течений, валидация.

В настоящей работе излагаются результаты анализа условий возникновения апвеллингов и изучения сопровождающих их прибрежных поверхностных течений в Севастопольском районе на основе использования результатов расчетов, полученных с помощью системы диагноза и прогноза циркуляции вод в Севастопольском регионе.

Системы диагноза и прогноза циркуляции вод Севастопольского региона была разработана на основе адаптации гидрологической модели РОМ. В рамках реализации гранта РФФИ № 18-45-920055 было осуществлено поддержание непрерывного функционирования действующей системы, обеспечивающей ежедневное прогнозирование температуры воды, солености, скоростей течений и уровня моря с пространственным разрешением 1 км по горизонтали на 18 горизонтах по вертикали. Срок прогноза – трое суток. Периодичность выдачи результатов прогнозов – один раз в три часа. Отображение результатов расчетов по модели осуществляется ежедневно с помощью THREDDS-сервера – <http://mis.bsmfc.net:8080/thredds/sevrem-anafor-phys-010.html>. С его помощью возможно получение данных диагноза и прогноза как в цифровой, так и в графической формах представления информации.

Для оценки возможности использования имеющихся данных для изучения условий возникновения и процессов развития апвеллингов была выполнена валидация температуры морской воды. На основе результатов валидации был сделан вывод о возможности использования имеющихся информации для решения поставленных задач.

Выявление апвеллингов выполнялось на основе совместного анализа контраста поля температуры морской поверхности и временных рядов минимальных температур на горизонтах 0–10–20–50 метров для двух прибрежных участков – в районе побережья между пгт Николаевка и м. Херсонес и м. Херсонес – г. Ялта. Использование этих данных позволяет достаточно надежно обнаруживать апвеллинги, что подтверждается сопоставлением с двумя источниками спутниковых данных.

Дополнительно выполнен анализ временных рядов среднего и секторальных средних напряжения трения ветра по восьми секторам направлений в двух выбранных прибрежных участках морской акватории. Полученные результаты обнаружения апвеллингов хорошо согласуются с результатами их выделения по данным о температуре морской воды.

Совместный анализ карт полей температуры поверхности моря, векторов скоростей течений и векторов скоростей ветра подтвердил, что модель воспроизводит основные теоретические представления о возникновении и эволюции прибрежных апвеллингов, обусловленных воздействием ветра.

Работа выполнена за счет гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 18-45-920055.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФОСФОРА И КРЕМНИЯ В АЭРОБНОЙ И СУБКИСЛОРОДНОЙ ЗОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

Хоружий Д.С.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
khoruzhiy@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: силикаты, фосфаты, Черное море, распределение, вертикальный профиль.

В 2018 г. были проведены три экспедиции в акваторию Черного моря. На основании полученного массива эксперименталь-

ных данных выполнена оценка пространственного и вертикального распределений концентраций растворенных форм фосфора и кремния в разные сезоны.

Оба элемента не образуют летучих соединений, и их поступление в акваторию происходит благодаря терригенному стоку, золотому переносу, а также минерализации органического вещества взвеси и донных отложений.

Фосфор и кремний важны для функционирования водных экосистем, но роль их существенно различается: фосфор является биогенным макроэлементом, необходимым для существования как микро-, так и макроформ водорослей, а также цианобактерий. Главными потребителями кремния являются представители фитопланктона – диатомовые водоросли.

Для фосфора характерна высокая скорость круговорота: вследствие интенсивного потребления неорганических фосфатов гидробионтами, в фотическом слое вод их концентрация обычно близка к аналитическому нулю. Повышение концентрации фосфатов наблюдается с увеличением относительной плотности. Первый максимум расположен между изопикнами 14,8 и 15,5 кг/м³, после чего концентрация фосфатов вновь снижается. Быстрый рост концентрации фосфатов отмечается с изопикны 16,0 кг/м³. Такая закономерность наблюдается во все сезоны и, согласно литературным данным, типична для Черного моря. Результаты исследований в 2018 г. показали рост концентраций фосфатов в субкислородной зоне: их максимальное значение достигало 13,2 мкмоль/дм³.

Поступающие в морскую акваторию силикаты потребляются преимущественно диатомовыми водорослями. Наиболее интенсивно потребление кремния происходит на глубине 0–30 м, где численность диатомовых водорослей максимальна. В составе донных отложений нерастворимые соединения кремния входят в состав илов.

Для силикатов не характерен выраженный сезонный ход, ввиду чего их вертикальное распределение, как и абсолютные концентрации, в течение года изменялось незначительно. Результаты исследований выявили две особенности в вертикальном распределении кремния. В работах прошлых лет отмечалось по-

степенное увеличение концентрации соединений кремния с ростом условной плотности: форма профиля вертикального распределения в этом случае приближалась к линейной. В 2018 г. наблюдалось относительно однородное распределение растворимых форм кремния до изопикны $14,6 \text{ кг/м}^3$. Дальнейшее повышение условной плотности сопровождалось быстрым ростом концентрации силикатов. В результате форма профиля вертикального распределения приближалась к экспоненциальной. Максимальные концентрации силикатов зафиксированы на изопикне $16,0 \text{ кг/м}^3$ и глубже.

Низкая концентрация силикатов в верхнем слое вод наблюдались во все сезоны 2018 г. До изопикны $14,6 \text{ кг/м}^3$ лишь в единичных случаях она достигала $10,4 \text{ мкмоль/дм}^3$, а в большинстве случаев была существенно ниже. Максимальная концентрация силикатов, зафиксированная поверхностных водах Черного моря в 2018 г., соответствует нижней границе диапазона их концентраций согласно данным исследований 1981–1985 гг.

Таким образом, результаты исследований показали сохранение наметившейся во второй половине XX в. тенденции к уменьшению содержания растворенных форм кремния в поверхностном слое вод. В качестве основной причины этих изменений рассматривают зарегулирование речного стока, вследствие чего происходит осаждение силикатов до их попадания в морскую акваторию.

Работа выполнена в рамках темы гос. задания ФГБУН МГИ 0827-2019-0003.

ТЕОРИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И МЕТРОЛОГИЯ МОРСКИХ ПРОЦЕССОВ

Чашечкин Ю.Д.

*ИПМех РАН,
chakin@ipmnet.ru*

Ключевые слова: фундаментальная система, полное решение, моделирование, лигаменты, волны, вихри, разрешение, полнота описания.

Активное развитие вычислительных технологий позволяет проводить согласованные теоретические (аналитические и численные) и экспериментальные (лабораторные) исследования морских процессов на основе системы фундаментальных уравнений переноса импульса, компонентов вещества, полной энергии с учетом уравнений состояния для термодинамических потенциалов и их производных – традиционных физических параметров (плотности, температуры, давления) изучаемой среды, а также физически обоснованных граничных условий [Chashechkin Yu. D. Differential fluid mechanics – harmonization of analytical, numerical and laboratory models of flows // *Mathematical Modeling and Optimization of Complex Structures. Springer Series «Computational Methods in Applied Sciences»* V. 40. 2016. 328 p. P. 61–91. doi: 10.1007/978-3-319-23564-6-5]. Масштабно- и параметрически инвариантная классификация структурных компонентов, основанная на результатах анализа свойств полных решений линеаризованной системы с учетом условия совместности, определяющего ранг нелинейной системы, порядок линейной версии и степени характеристического (дисперсионного) уравнения включает тонкоструктурные лигаменты, внутренние волны и вихри [Chashechkin Yu. D. Singularly perturbed components of flows – linear precursors of shock waves // *Math. Model. Nat. Phenom.* 2018. Vol. 13. No. 2. P. 1–29. doi.org/10.1051/mmnp/2018020]. Требования к алгоритмам расчетов и методикам эксперимента, которые формулируются с учетом собственных пространственно-временных масштабов изучаемых процессов, реализованы в программах численного моделирования течений, индуцированных диффузией на неподвижном препятствии в непрерывно стратифицированной жидкости, а также образующихся при вынужденном медленном или быстром движении тел различной формы, как симметричных, так и несимметричных, установленных под углом к горизонту [Димитриева Н.Ф., Чашечкин Ю.Д. Тонкая структура стратифицированного течения около неподвижного и медленно движущегося клина // *Океанология.* 2018. Т. 58, № 3. С. 358–368, Chashechkin Yu. D., Zagumennyi Ia. V. Formation of waves, vortices and ligaments in 2D stratified flows around obstacles // *Physica Scripta.* 2019. V. 94. No. 5 P. 1–17].

Высокоразрешающий эксперимент позволяет визуализировать все компоненты течений – опережающие возмущения, лигаменты – тонкие прослойки и волокна, внутренние волны, вихри, след, проследить зависимости их параметров от условий задачи, сравнить с данными расчетов (приводятся иллюстрации).

Подход допускает расширения, позволяющие учесть влияние картины течений на распределения химических компонентов в морских и речных течениях [Чашечкин Ю.Д., Розенталь О.М. Физическая природа неоднородности состава речных вод // Доклады РАН. 2019. Т. 485 № 2. С. 194–197] и обратное влияние химических процессов на динамику и структуру среды, сформулировать требования адекватности и полноты методики расчетов. Одним из путей повышения точности морских измерений служит реализация принципа избыточности, основанного на использовании физически и инструментально независимых методов измерения базовых величин, в частности плотности среды, температуры, электропроводности, скорости звука.

ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ МОДЫ ГЕЛЬМГОЛЬЦА НА ПЕРИОДЫ И СОБСТВЕННЫЕ ФОРМЫ СЕЙШ В БУХТАХ КРЫМА

Чехов В.Н., Лушников В.А.

*КФУ, г. Симферополь, Россия
chekhov40@mail.ru*

Ключевые слова: сейши, мода Гельмгольца, бухты Крыма.

Методом конечных элементов вычислены периоды и собственные формы сейш в некоторых бухтах Крыма. Обмен водой между бухтой и морем учитывался приближенно посредством выполнения краевого условия на границе бухты с морем, соответствующего известной моде Гельмгольца. На остальной части границы выполнялись условия непротекания.

Исследованы сейши Севастопольской и Казачьей бухт. При этом наибольшие периоды соответствуют модам Гельмгольца. Последующие периоды и собственные формы сейш при возрастании их номеров стремятся к значениям, соответствующим сейшам с условиями непротекания по всей границе, включая прямолинейный отрезок границы с морем. Сопоставление периодов сейш с известными экспериментальными значениями периодов Севастопольской бухты обнаружило удовлетворительное совпадение значений периодов моды Гельмгольца с наибольшими значениями экспериментальных периодов.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОСТУПЛЕНИЯ ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА ИЗ ДОНА В ТАГАНРОГСКИЙ ЗАЛИВ

Чикин А.Л.¹, Клещенко А.В.¹, Сорокина В.В.¹, Чикина Л.Г.²

¹*ЮНЦ РАН, г. Ростов-на Дону, Россия*

²*ЮФУ, г. Ростов-на Дону, Россия
chikin1956@gmail.com*

Ключевые слова: дельта Дона, твердый сток, уравнение переноса, деформация дна.

Математическая модель процесса поступления твердого стока Дона в Таганрогский залив, распространение взвеси и ее осаждение состоит из двух составляющих: гидродинамической и транспортной. Гидродинамическая составляющая описывается двухслойной математической моделью, состоящей как из уравнений мелкой воды, так и трехмерных уравнений движения вязкой несжимаемой жидкости. Транспортная составляющая описывается уравнением конвекции-диффузии в предположении консервативности переносимого вещества.

Весь процесс переноса взвешенного вещества в водной среде состоит из размывания донного осадка, если скорость течения достаточно большая, оседания взвешенных частиц в случае малой

скорости течения, и, собственно, самого переноса взвеси водной средой. Приведенные граничные условия учитывают процессы взмучивания и оседания вещества, его поступление через границы.

Модельный эксперимент на 26–28 июля 2018 г. выполнен с использованием данных о ветровой ситуации ГМС Таганрог. Расчетные значения концентрации взвешенного вещества сравнивались с наблюдаемыми величинами взвеси в трех точках устьевого взморья Дона. Относительная погрешность расчетов на конец эксперимента (28.07.2018 г.) в выбранных точках изменялась от 1 до 12%. Лучшие результаты наблюдались в точке, где погрешности расчетов составляли 9,5% в начале и 3,5% в конце эксперимента.

Предложенный в подход позволил выполнить оценку пространственно-временных особенностей распределения взвешенных наносов на взморье Дона при разных гидродинамических ситуациях. Свойства используемой двухслойной математической модели дали возможность быстро адаптировать ее для Таганрогского залива, отличающегося большой неоднородностью глубин. Численная реализация модели на высокопроизводительных системах позволяет оперативно получать результаты для долгосрочных прогнозов.

Публикация подготовлена в части анализа седиментационных процессов в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН № гр. проекта АААА-А18-118122790121-5, в части разработки методов численного моделирования в рамках научного проекта РФФИ 18-05-80010 «Исследование и прогноз опасных гидрометеорологических и геолого-геоморфологических процессов в районах функционирования стратегических объектов на Азово-Черноморском побережье (исторические и современные аспекты)». Расчеты выполнены на кластере ЦКП «Высокопроизводительные вычисления».

КОРОТКОПЕРИОДНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ В СИСТЕМЕ НЕКОНСЕРВАТИВНЫХ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Шевцова О.В.

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, Россия
OV_shevtsova@mail.ru

Ключевые слова: неконсервативные гидрохимические параметры, сложная система, Амурский залив, Японское море, Охотское море, Балтийское море, Саргассово море.

Для биогеохимии морских вод характерен ряд устойчивых связей между химическими параметрами. Это соотношения компонентов основного солевого состава (ОСС), элементов карбонатной системы (КС), Редфилда и др. Рассматривается еще одна закономерность – степенная связь короткопериодной изменчивости неконсервативных параметров s (стандартное отклонение) и их средних концентраций $\langle P \rangle$:

$$\log(s) = \gamma \log(\langle P \rangle) + \log(\xi) \quad (1),$$

где γ – показатель степени, ξ – нормировочный коэффициент.

Впервые связь (1) была получена для Амурского залива (Японское море) в интервале концентраций 0,0001–100 мг/кг для сложной системы из 8 параметров. В систему входили элементы КС, неорганические растворенные кремний и фосфор (Si и P), O₂, нитритный, нитратный или аммонийный азот. Для 13 точек 1–2-х суточных наблюдений на разных глубинах были получены значения γ в интервале от $0,59 \pm 0,06$ до $0,77 \pm 0,08$ со средним $\langle \gamma \rangle = 0,67 \pm 0,02$ и ξ в интервале 0,06–0,23 для $k = 103$ (k – общее число средних концентраций для всех 8 параметров). Имевшиеся для отдельных точек концентрации хлорофилла Хл «a», Хл «b», Хл «c» и растворенных Cu, Mn, Zn, Fe соответствовали (1).

Соотношение (1) представляет как теоретический, так и практический интерес. Предпринята попытка построить его и для других районов Мирового океана.

Связь (1) получена:

– для Балтийского моря по данным 5-суточной станции на 10 стандартных горизонтах для системы из общего, нитритного, нитратного и аммонийного азота, общего фосфора, Р и O_2 ; $\gamma = (0,71 \pm 0,07) - (0,80 \pm 0,05)$, $\langle \gamma \rangle = 0,76 \pm 0,02$, $\xi = 0,14 - 0,21$, $k = 69$. Хл «а» фотической зоны также подчинялся (1).

– для Саргассова моря на суточной станции из 10 горизонтов (нитритный, нитратный азот, Р), $\gamma = (0,524 \pm 0,002) - (1,10 \pm 0,03)$, $\langle \gamma \rangle = 0,88 \pm 0,01$, $k = 30$, $\xi = 0,07 - 0,70$. Хл «а» соответствовал (1).

– в Охотском море для 2-х полусуточных станций: 1) для 7 горизонтов на северо-восточном шельфе о. Сахалин (элементы КС, нитриты, Si, Р, O_2), $\gamma = (0,61 \pm 0,09) - (0,83 \pm 0,05)$, $\xi = 0,04 - 0,20$, $\langle \gamma \rangle = 0,72 \pm 0,05$, $k = 41$; 2) для горизонта 2м на северном шельфе о. Сахалин (Si, O_2 , аммонийный, нитратный, нитритный, валовый и органический азот, органический фосфор), $\gamma = 0,86 \pm 0,04$, $k = 8$, $\xi = 0,05$.

Консервативные компоненты ОСС связи (1) не подчиняются.

Приведенные выше оценки показателя степени γ колеблются от 0,52 до 1,10, получены для разных наборов параметров и в разных условиях (температура, соленость, подверженность влиянию берегового стока и донных осадков, динамический режим, первичная продукция и др.). Однако, оценки $\langle \gamma \rangle$ для разных районов близки между собой. Этот факт позволяет полагать, что соотношение (1) статистически устойчиво и имеет универсальный характер. Т. е., независимо от района наблюдений и состава сложной системы неконсервативных химических параметров, их короткопериодная изменчивость s растет с увеличением средних концентраций $\langle P \rangle$, как правило, по степенному закону. Для приведенного фактического материала показатель степени в (1) в среднем близок к $\langle \gamma \rangle \approx 3/4$.

Найденное соотношение может быть использовано для изучения биогеохимического режима и прогноза изменчивости отдельных параметров. Для этого необходимы накопление и анализ данных о характерных значениях γ и ξ .

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРАНСФОРМАЦИИ ПЕРИОДА ВОЛН В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ МОРЯ

Шелушинин Ю.А.

СГУ, г. Сочи, Россия
9117875@mail.ru

Ключевые слова: период волн, физическое моделирование, емкостной волнограф, рефракция и трансформация волн.

В нормативных документах РФ при расчете параметров волнения рекомендуется принимать значение периода волн в мелководной зоне равным периоду на глубокой воде.

С целью изучения трансформации волн, в частности, их периода, в прибрежной зоне моря на базе НИЦ «Морские берега» была проведена серия опытов в глубоководном волновом бассейне на модели реального участка берега в масштабе 1:60.

Основной задачей исследования являлось получение значений периодов волн на разных глубинах по ходу продвижения волны к берегу. Параллельно для более полного изучения процесса регистрировались значения высоты, скорости и длины волны.

Для решения поставленной задачи использовались емкостные волнографы ДУЕ-1, которые были выставлены по пути прохождения волнения. С помощью измерительной системы, состоящей из портативного компьютера и аналого-цифрового преобразователя, выполнялась запись данных с волнографов.

Каждый волнограф записывал колебания уровня воды на определенной глубине в течение заданного промежутка времени. Запись волнографа представляла собой график колебаний уровня при прохождении волн за определенный промежуток времени. График колебаний уровня – в данном случае цифровая запись компьютера, по которой можно измерять величину колебаний уровня и промежутки времени.

Период волн измерялся как промежуток времени между отметками максимальных уровней. Обработка цифровых записей позволяет получать значения периодов волн с точностью до

0,001 с. Значение периода в каждой точке усреднялось по прохождению 25 волн.

Результатом опытов стали параметры волнения в 18 точках, лежащих по пути прохождения волн к берегу. В ходе опытов было зафиксировано уменьшение периода при прохождении волны до зоны обрушения. На модели при прохождении волны от глубины d_0 , равной трем высотам волн, до $0,257d_0$ зарегистрировано уменьшение периода от значения T_0 до $0,968T_0$, то есть на 3,2%. Изменения периода по ходу уменьшения глубины носили нелинейный характер. На этом же пути прохождения волн было зафиксировано увеличение скорости волны до $1,074V_0$ (+7,4%). Длина волны увеличилась до $1,039\lambda_0$. Высота волны уменьшилась до $0,656h_0$.

По результатам опытов были построены графики, отражающие изменение параметров волны с уменьшением глубины. Итоги опытов неоднозначны, требуют обсуждения и по ним ведутся более подробные исследования трансформации параметров волнения. Интерес представляет как участок до зоны обрушений, так и более мелководная зона.

Увеличение длины волны на опытном участке вызывает вопросы, как и значительное увеличение скорости движения гребня.

С одной стороны, волна, встречая препятствие, казалось бы, должна замедляться. С другой стороны, уменьшение глубины можно рассматривать не как препятствие, а как изменение направления движения, при котором еще и уменьшается сечение (уменьшение высоты волны и глубины), по которому проходит возмущение в виде волны. А для пропуска энергии возмущения в условиях уменьшения сечения потока как раз и требуется увеличить скорость потока.

НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭФФЕКТЫ ФОКУСИРОВКИ ВНУТРЕННИХ ВОЛН

Шмакова Н.Д.¹, Флёр Я.-Б.²

¹*ИГиЛ СО РАН, г. Новосибирск, Россия*

²*LEGI, Grenoble, France*

shmakova@hydro.nsc.ru

Ключевые слова: внутренние волны, триадный резонанс, волновая турбулентность.

Океан и атмосфера, в общем случае, являются жидкостями, стратифицированными по температуре и солености. В мировом океане в результате взаимодействия приливных течений с подводными горными хребтами, генерируются внутренние волны, которые вносят заметный вклад в энергетический баланс океана и глубинное перемешивание вод.

Генерацию приливных внутренних волн можно моделировать колебаниями объекта в стратифицированной жидкости с частотой плавучести N , т. е. перейдя в систему отсчета связанную с приливным течением. В двумерном случае в качестве колеблющегося объекта канонической формы рассматривается цилиндр, а в трехмерном случае – сфера. Трехмерный случай интересен тем, что, в отличие от двумерного, внутренние волны могут фокусироваться, что приводит к появлению локальных зон усиления амплитуды. Для внутренних волн, генерируемых горизонтальными колебаниями тора, было показано, что при небольших амплитудах колебания тора амплитуда волны в зоне фокусировки существенно увеличивается [Ermanuyk et. al., 2017]. Увеличение амплитуды колебаний тора ведет к локальному обрушению волн в таких зонах. В случае инерционных волн, генерируемых вертикальными колебаниями тора во вращающейся жидкости, в зоне фокусировки возникает турбулентность [Duran-Matute et. al., 2013].

В настоящей работе представлены экспериментальные данные, полученные с помощью PIV измерений для средних и боль-

ших амплитуд колебания тора и направленные на изучение нелинейных аспектов внутренних волн. Для описания поведения волн в зоне фокусировки представлен новый безразмерный параметр, Фокусное число, который основан на теоретических расчетах волновой энергии в зоне фокусировки. Получена линейная зависимость угла наклона волны от фокусного числа для торов с разными радиусами, что в дальнейшем позволяет предсказать обрушение волн при небольших числах Стокса $O(100)$. При умеренных фокусных числах наблюдается вертикальное среднее течение и возникновение исчезающих высших гармоник в зоне фокусировки. В случае обрушения, наблюдаемого при больших фокусных числах, в зоне фокусировки возникают субгармоники, которые вместе с фундаментальной волной порождают триадный резонанс. В данном исследовании впервые продемонстрирован механизм возникновения триадного резонанса в трехмерном случае [Shmakova & Flor, 2019].

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕТРОСПЕКТИВНОГО АНАЛИЗА ЗИМНЕГО ШТОРМОВОГО ВОЛНЕНИЯ В АЗОВСКОМ МОРЕ

Яицкая Н.А.^{1,2}

¹ ИОНЦ РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия

² СГУ, г. Сочи, Россия
yaitskayan@gmail.com

Ключевые слова: Азовское море, шторма, математическое моделирование, ретроспективный анализ.

Для акватории Азовского моря с помощью спектральной волновой модели SWAN выполнен ретроспективный анализ зимнего штормового волнения с 1950 по 2015 гг. Исходные данные для расчетов: (i) трехуровневая схема вложенных расчетных сеток в Азово-Черноморском бассейне с пространственным разрешением от 0,1 град до 0,001 град; (ii) ветровой форсинг из реанализа NCEP/NCAR на высоте 10 м с пространственным разрешением

~1,9° по широте и 1,875° по долготе. Дискретизация расчетов по времени составила 30 минут.

В период с 1950 по 2015 гг. наблюдалось 102 дня, когда значительная высота волн при ветрах западной составляющей в центральной части моря составляла 1,0–2,0 м; 11 дней с высотой волны от 2,0 м. Все они характерны для безледного периода. Максимальная значительная высота волн по данным исследования составила более 3,0 м и наблюдалась 13 января 1968 г. (длина волны 47 м, период волны 6,6 м). При этом волнение более 3,0 м держалось более 4 часов и сопровождалось ветрами юго-западной составляющей. В то же время в Таганрогском заливе в районе устьевого взморья р. Дон значительная высота волн составляла 1,0 м (длина волны 12,1 м, период волны 3,4 м).

В рамках суточного хода максимальные значения параметров штормового волнения как правило приходятся на время с 15:00 до 19:00; минимальные – на ночное время.

Максимальные высоты волн характерны для января. Так, наибольшие значения параметров волнения отмечаются зимой 1967/68 гг. (высоты волн более 3,0 м). Немного меньше значения в марте. Наименьшие из максимальных значений – в феврале, декабре и ноябре. Наиболее штормовыми, когда опасные ситуации наблюдались три-четыре месяца за сезон, являются зимы – 1967/68 гг., 1989/90 гг., 1999/00 гг. Также можно отметить 1972/73 гг. и 1982/83 гг. При штормовых условиях наблюдается активное развитие волн зыби. В центральной части Азовского моря высота зыби может достигать практически 0,4 м.

Можно отметить некоторую цикличность в междесятилетней сезонной динамике штормов: 1950-е гг. – пик волнения приходится на февраль; 1960-е гг. – январь и март; 1970-е гг. – январь, ноябрь и декабрь; 1980-е гг. – январь, февраль и декабрь; 1990-е гг. – февраль; 2000-е гг. – январь и март; 2010-е гг. – март и декабрь (неполное десятилетие).

На основе полученных результатов выделено два основных типа штормовых ситуаций:

- 1) шторм распространяется с северо-востока на юго-запад;
- 2) шторм распространяется с юго-запада на северо-восток.

Это связано с прохождением циклонов и антициклонов над акваторией, их направлением движения и траекторией. Наиболее

заметна эта особенность при сопоставлении времени наступления пикового значения в разных районах водоема для каждого конкретного случая опасного явления.

Наибольшей силы волнение достигает в центральной части Азовского моря и южной оконечности Керченского пролива. Наименьшей – в северной части Таганрогского залива и центре Керченского пролива. Как и для нагонных явлений, перед которыми зачастую возникает мощный по силе сгон, для сильного волнения характерно некоторое уменьшение высоты волны перед началом шторма и далее стремительное развитие.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-0580043.

СЕКЦИЯ 2

«ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗА СОСТОЯНИЯ МОРСКИХ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С АТМОСФЕРОЙ»

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРЯМЫХ И КОСВЕННЫХ ОЦЕНОК ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ МОРСКОГО ЛЬДА

Андреев О.М., Скутин А.А., Виноградов Р.А.

*ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
andoleg@aari.ru*

Ключевые слова: морской лед, предел прочности льда, температура, соленость, структура льда, термодинамика.

Развитие гидротехнического строительства, особенно в прибрежных и шельфовых зонах арктических морей, требует определения прочностных характеристик льда. При этом в современной практике широко используется лишь одна из множества характеристик прочности морского льда, а именно—предел прочности (временное сопротивление).

Поскольку предел прочности морского льда определяется при различных условиях испытаний, то существуют следующие его разновидности: предел прочности на изгиб, предел прочности на сжатие, предел прочности на срез, предел прочности на растяжение и предел прочности на стесненное сжатие (смятие). Таким образом, вопрос об определении прочности морского льда на современном этапе формулируется так: каков предел прочности льда для определенного типа деформации, если лед имеет определенную структуру, соленость, температуру, плотность, и если известны условия, в которых лед испытывается.

Рассмотрим технологии испытания льда на прочность для наиболее используемых в практике пределов прочности морского льда (т. е. методы прямых оценок).

Предел прочности льда на сжатие обычно определяется при одноосном нагружении образцов льда (кубической или цилиндрической формы) с помощью пресса.

Предел прочности льда на изгиб определяется тремя основными методами: по разрушению ледяных балок, свободно лежащих на опорах; по разрушению консолей (клавишей); по разрушению круглой, свободно лежащей на кольцевой опоре ледяной пластины, нагружаемой в центре.

Предел прочности льда на смятие определяется путем вдавливания индентора сферической или пирамидальной формы в пластину льда (или стенки скважины).

Так как каждая из приведенных выше технологий прямых испытаний прочности льда имеет разные варианты методов (способов) оценки, то это приводит к противоречиям, зачастую не позволяющим получить однозначный результат.

В качестве косвенных методов оценки прочностных свойств льда на современном этапе используются изложенные в руководящих документах (СП или ISO) достаточно простые методики. Причем в качестве исходной информации могут выступать как наблюдаемые характеристики льда (температура, соленость, структура и т. д.), так и их расчетные значения.

Наиболее простым и эффективным способом получения расчетных характеристик льда (по гидрометеорологическим условиям местности) является метод термодинамического моделирования.

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ОСАДКИ В ЯЛТЕ: РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Анисимов А.Е.¹, Ефимов В.В.¹, Львова М.В.², Попов В.Б.²

¹МГИ, г. Севастополь, Россия

²ГГО, г. Санкт-Петербург, Россия

anatolii.anisimov@mhi-ras.ru

Ключевые слова: WRF, экстремальные осадки, радиолокационные наблюдения.

В работе рассмотрен случай экстремальных осадков в Ялте в сентябре 2018 г. Выпадение экстремальной нормы осадков было связано с атмосферной депрессией и формированием циклона над Черным морем. На основе данных численного моделирования по модели (*WRF Weather Research and Forecasting*) версии 4.0.1 для 1–8 сентября 2018 г., а также данных наземных и спутниковых наблюдений выполнен анализ синоптической ситуации и физических механизмов, приведших к формированию экстремальных осадков.

Модельные расчеты выполнялись в двух вложенных доменах с пространственным разрешением 2,7 км (для всего Черноморского региона) и 0,9 км (для территории Крыма). В качестве входных использовались данные оперативного анализа Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды с разрешением ~10 км, что позволило выбрать конвективно-разрешающий шаг по пространству в *WRF* и не использовать схему параметризации атмосферной конвекции, воспроизводя ее явно. В подобной модельной конфигурации схема параметризации микрофизических процессов облачности и осадков становится ключевым элементом моделирования. Таким образом, с целью более детального анализа модельных механизмов и выбора оптимальной конфигурации было выполнено 5 расчетов с различными схемами параметризации микрофизических процессов.

Модельные расчеты верифицировались по данным наземных наблюдений на метеостанциях, дистанционного зондирования со спутников, а также по данным метеорологического радиолокатора в аэропорту г. Симферополя. Для восстановления полей осадков по радиолокационным данным использовалась оригинальная методика.

Анализ результатов показал, что в расчетах по схеме *WDM6* (*WRF Double Moment Scheme 6-class*) экстремальное явление воспроизводится наиболее реалистично: модель корректно воспроизводит пространственное распределение и количество атмосферных осадков, а также вертикальную структуру конвекции. Кроме того, количество осадков по *WRF* существенно превосходит таковое по данным входного оперативного анализа и спутникового зондирования, которые значительно недооценивают количество осадков, измеренное на метеостанциях (106 мм и 138 мм за 6–7 сентября в Ялте и на плато Ай-Петри, соответственно). В расчетном домене с разрешением 0,9 км количество осадков

больше, чем в материнском домене, хотя и по-прежнему несколько ниже, чем по данным наземных измерений. Таким образом, использование конвективно-разрешающего шага по пространству и схемы WDM6 демонстрирует преимущество и может быть рекомендовано к использованию в качестве основной конфигурации для задач оперативного численного прогноза погоды в Крымском регионе.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АТМОСФЕРЫ И МОРЯ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ В УСЛОВИЯХ УСТОЙЧИВОЙ СТРАТИФИКАЦИИ

**Артамонов А.Ю.³, Репина И.А.², Чухарев А.М.³,
Степаненко В.М.², Варенцов М.И.¹, Пашкин А.Д.^{1,2}**

¹ИФА РАН, г. Москва, Россия

²МГУ, г. Москва, Россия

*³МГИ, г. Севастополь, Россия
sailer@ifaran.ru*

Ключевые слова: взаимодействие атмосферы и моря, устойчивая стратификация, коэффициент сопротивления, мезомасштабные структуры.

Основная задача исследований – изучение структуры и динамики атмосферного пограничного слоя в прибрежной зоне. Экспериментальные исследования турбулентных процессов в сопряженных слоях моря и атмосферы проводились на океанографической платформе в пгт Кацивели. Измерялись метеорологические характеристики атмосферы на различных уровнях, потоки тепла и импульса, структура атмосферной турбулентности, профили температуры и влажности. Измерения проводились на океанографической платформе, на двух береговых постах, расположенных на разных высотах и на яйле Ай-Петри, с использованием передвижного измерительного комплекса. Основным результатом исследований является разработка моделей динамики атмосферного пограничного слоя в прибрежной зоне с целью прогноза

чрезвычайных погодных явлений. Анализ измерений, проведенных на морском побережье при переходе воздушного потока с берега на морскую поверхность и наоборот, показал, что коэффициент сопротивления и его суточная изменчивость зависят от направления ветра и характеристик подстилающей поверхности. При ветре со стороны моря структура внутреннего пограничного слоя в прибрежной зоне резко изменялась над береговой линией. Ветер с берега приносил теплый воздух на более холодную морскую поверхность и создавал устойчиво стратифицированный внутренний пограничный слой над морем. Неоднородности ландшафта в прибрежной зоне также нарушают условия применимости теории подобия Монина-Обухова (ТПМО), но при устойчивой стратификации отклонения расчетов от измерений минимально.

Важный аспект, который требует дополнительного изучения, – связь структуры турбулентности в пограничных слоях моря и атмосферы. Когерентные структуры (мезомасштабные образования в течениях) могут играть существенную роль в формировании потоков тепла, импульса и вещества и, соответственно, влиять на обменные процессы. Так как эти структуры могут переносить до 80% от всей энергии турбулентного течения, в настоящее время исследованию этого явления уделяется повышенное внимание. В результате анализа данных, полученных при сильно устойчивой стратификации, было обнаружено влияние атмосферных процессов на изменение энергии морской турбулентности и формирование мезомасштабных структур в атмосфере и океане.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 17-17-01210.

**ПЕРВЫЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
АВТОМАТИЧЕСКОЙ СТАЦИОНАРНОЙ СТАНЦИИ
ВЕРТИКАЛЬНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ НА ПОЛИГОНЕ
«ГЕЛЕНДЖИК» (ИО РАН) НА ЧЕРНОМ МОРЕ**

**Баранов В.И., Очередник В.В., Зацепин А.Г.,
Куклев С.Б., Машура В.В.**

*ИО РАН, г. Москва, Россия
baranovvlad@mail.ru*

Ключевые слова: Черное море, шельфовая зона, термическая стратификация, автоматическая стационарная станция, долговременные измерения, оперативная океанография.

Наблюдательный сегмент оперативной океанографии базируется на автоматических измерительных комплексах с онлайн передачей данных. Эти комплексы осуществляют регулярные и долговременные измерения основных параметров среды и оперативно передают полученные данные в центры обработки информации. Информация такого рода крайне важна для раннего выявления развития экстремальных явлений на море, прогнозирования и возможного предотвращения экологических катастроф.

В существующем положении автоматизированные станции Полигона «Геленджик» устанавливаются с использованием подповерхностных плавучестей (с заглублением от поверхности от 7 до 20 м), а на дне в антивандальных пирамидах или на якоре с размыкателем. Такая методика постановки приборов практически исключает возможность выполнения измерений в поверхностном и придонном слоях. Для устранения указанного недостатка в 2018 г. в ИО РАН разработана стационарная станция вертикального зондирования (ССВЗ), которая позволяет выполнять измерения от дна до непосредственно поверхности водоема. Станция включает в себя подводную лебедку, плавучий зонд с датчиками на кабеле, электронику, управляющую лебедкой и сбор данных измерений. Она подключена к береговому центру с помощью проложенного по дну моря оптоволоконного кабеля.

Эта станция может быть адаптирована к любым морским измерительным датчикам и, что немаловажно, она передает данные в береговой центр в реальном режиме времени. В июне 2019 г. ССВЗ вошла в состав многофункциональной системы онлайн мониторинга параметров водной среды. Одно из достоинств такой станции заключается в том, что она не ограничена энергоресурсами, питание на нее поступает по кабелю, по которому также передаются данные измерений в береговой центр. ССВЗ может работать в автоматическом, или в ручном режиме управления с берегового поста.

Таким образом, разработано и внедрено в систему автоматического оперативного мониторинга еще одно средство измерения параметров морской среды на Полигоне «Геленджик» (ИО РАН). В дальнейшем планируется дооснащение плавучего зонда дополнительными датчиками – гидрофизическими, гидрохимическими и оптическими. В результате появится возможность более полного мониторинга ключевых параметров морской среды.

Работы выполнены в рамках темы госбюджета 0149-2019-0014 и при поддержке грантов РФФИ 17-05-00381, РФФИ 19-45-230002.

РАЗРАБОТКА НОВОЙ ВЕРСИИ ЭЛЕКТРОННОГО АТЛАСА «ФИЗИЧЕСКАЯ ОКЕАНОГРАФИЯ ЧЕРНОГО МОРЯ»

Белокопытов В.Н., Годин Е.А., Жук Е.В., Ингеров А.В.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
belokopytov.vn@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: Черное море, электронные карты и атласы, банк данных, реанализ.

В ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН» в рамках международных и национальных проектов накоплен значительный опыт разработки и создания различных карт и атласов, отражающих состояние природной среды Черного моря. В

качестве примера можно привести отдельные карты и целые разделы таких атласов, как цифровой атлас «Физическая океанография Черного моря» (2003 г.), атлас «Автономная Республика Крым» (2003 г.), «Атлас охраны природы Черного и Азовского морей» (2006 г.), «Национальный атлас Украины» (2007 г.), «Океанографический атлас Черного и Азовского морей» (2009 г.) и др. Информационной основой при создании карт соответствующих разделов этих атласов послужили данные, хранящиеся в Банке океанографических данных Морского гидрофизического института (БОД МГИ).

В настоящее время на сайте БОД МГИ в режиме on-line доступен цифровой атлас «Физическая океанография Черного моря» (<http://bod-mhi.ru/climaticAtlas.php>), который в трех разделах содержит около 350 карт. Первая версия этого атласа была создана в 2003 г. в рамках международного проекта «Спасение черноморских гидрологических данных, создание цифрового атласа и исследование сезонной и межгодовой изменчивости океанологических характеристик Черного моря». Атлас получил высокую оценку у пользователей из различных мореведческих организаций России, Украины и других стран и продолжает активно использоваться.

Вместе с тем, за более чем пятнадцать лет, прошедших с момента появления этого атласа, массив океанологических данных, которые могут быть привлечены для построения карт, увеличился со 105 тысяч до более чем 165 тысяч станций, методика построения карт значительно усовершенствована, разработан новый интерфейс, обеспечивающий пользователям дополнительные возможности при работе с атласами. Все это стимулировало разработку (с учетом возможности размещения на сайте БОД МГИ) новой версии электронного атласа «Физическая океанография Черного моря».

В структурном отношении новая версия атласа будет состоять из пяти разделов (температура, соленость, плотность, вертикальная стратификация, геострофическая циркуляция вод) и будет включать более 500 карт и разрезов.

Основой для построения карт новой версии атласа послужит массив реанализа температуры и солености за все время наблюдений в Черном море, рассчитанный по данным, хранящимся в БОД МГИ. По сравнению с предыдущей, в новой версии атласа

будет улучшено пространственное разрешение карт. Кроме того, особое внимание в ней будет уделено современному периоду (1991–2020 гг.), который характеризуется хорошо выраженной тенденцией к потеплению и опреснению верхних слоев Черного моря. Для указанного 30-летнего периода будет выполнено климатологическое осреднение, определены сезонные эмпирические ортогональные функции (ЭОФ-функции), по которым будут рассчитаны среднемесячные термохалинные поля и производные океанографические величины. Отметим, что рассматриваемый временной диапазон соответствует очередному стандартному опорному периоду, установленному Всемирной метеорологической организацией для расчета климатических норм.

Новая версия атласа позволит уточнить представления об океанографических особенностях Черного моря и будет способствовать дальнейшему улучшению информационного обеспечения научных исследований и морехозяйственной деятельности в Черноморском бассейне.

Работы по созданию новой версии атласа «Физическая океанография Черного моря» и формированию баз данных БОД МГИ проводятся в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ № 0827-2018-0002 «Оперативная океанология».

УПРАВЛЕНИЕ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПОТРЕБЛЕНИЯ РЕКРЕАЦИОННОГО РЕСУРСА ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ МОРЯ

**Бескорвайный А.С., Тимченко И.Е.,
Игумнова Е.М., Свищев С.В.**

*МГИ, г. Севастополь, Россия
timchenko.syst.analysis@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: рекреационный ресурс и рекреационная привлекательность, метод адаптивного баланса влияний, агенты управления.

Управление объемами потребления и воспроизводства рекреационных ресурсов является одной из задач экологической экономики природно-хозяйственных систем «берег – море». Для устойчивого развития подобных систем необходим обоснованный компромисс между получением экономической выгоды от потребления природных ресурсов и сохранением нормального экологического состояния природной среды. Для этого предполагается актуальным создание численных моделей и цифровых информационных технологий управления сценариями экономических и экологических процессов рекреации, позволяющих находить подобные компромиссные решения.

Для прогнозирования сценариев потребления и воспроизводства рекреационных ресурсов предложена система причинно-следственных связей эколого-экономических процессов, позволяющая контролировать экологическое состояние объекта рекреации и следить за уровнем рентабельности рекреационных услуг. Оценка рекреационного ресурса определена как совокупность факторов: природно-климатического, инфраструктуры и сервиса, экологической безопасности.

Управление системой осуществляется за счет функций, контролирующих интегральный баланс объемов потребления и воспроизводства качественных рекреационных услуг.

В разработанной системе предусмотрен анализ реакций эколого-экономических процессов на различные внешние условия. К ним относятся сезонные изменения рекреационной привлекательности и спроса в зависимости от климатических условий, а также стоимость очистки от загрязнений территории и морской акватории объекта рекреации, обусловленная уровнем спроса и финансовыми возможностями объекта.

Основным критерием управления рекреационным объектом служит снижение уровня загрязнения территории и прибрежной морской акватории до допустимых контролируемых пределов. Предложенная модель эколого-экономической системы дает возможность количественно исследовать методы управления этим объектом.

Разработка моделей, подобных предложенной в данной работе, имеет целью создать научную и информационно-технологическую базу для построения систем управления рациональным

природопользованием. Полученные результаты говорят о возможности использовать адаптивные модели эколого-экономических систем, построенные методом адаптивного баланса влияний, для получения пространственно-временной динамики ресурсного потенциала прибрежной зоны моря.

Используемые в предложенной модели дифференциальные уравнения логистического типа позволяют прогнозировать согласованные между собой сценарии экономической рентабельности производства рекреационных услуг и экологических характеристик окружающей среды. Рассмотренная численная модель представляет собой пример подобного инструмента для планирования условий рационального потребления рекреационного ресурса прибрежной зоны моря.

ГЕОМАГНИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА АКВАТОРИИ БУХТЫ ЗОЛОТОЙ РОГ (Г. ВЛАДИВОСТОК) ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ, ПОГРЕБЕННЫХ В СОВРЕМЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ

**Бессонова Е.А.¹, Петухов В.И.², Зверев С.А.¹,
Теличко А.С.¹, Коптев А.А.¹**

¹ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, Россия

*²ДВФУ, г. Владивосток, Россия
bessonova@poi.dvo.ru*

Ключевые слова: геомагнитные исследования, накопленный экологический ущерб, акватория морского порта.

Геомагнитные исследования на акватории морского порта г. Владивосток в бухте Золотой Рог проведены в рамках мероприятия «Разработка программы ликвидации накопленного экологического ущерба в бухте Золотой Рог, г. Владивосток (Приморский край)». Цель исследований – выявление ферромагнитных объектов (затопленные суда и их обломки, погребенный железный лом, магнитоактивные кабельные линии и троса), расположенных на поверхности и в придонном слое осадков.

Геомагнитные измерения на акватории М 1:2000 выполнены на НИС ТОИ ДВО РАН «Малахит». Общая длина профилей составила 657,48 км. Измерения выполнены по параллельным профилям скользящим окном, так чтобы расстояние между ближайшими галсами составляло 20 м. Ограничения по площади съемки определялись особенностями маневрирования вдоль береговой черты, осложненной наличием надводных (пришвартованные суда) и подводных препятствий (якорные цепи). Динамично меняющаяся оперативная обстановка на акватории морского порта не всегда позволяла выдерживать запланированную сеть наблюдений, сопровождалась высоким риском обрыва забортного оборудования. Количество опасных приближений движущихся маломерных судов в процессе измерений ежедневно составляло более 10. Высокая активность навигации и смены позиций судов в бухте Золотой Рог являлась существенным мешающим фактором при проведении магнитной съемки. Для уменьшения погрешности измерений, контроля качества работ и исключения ложных аномалий по всей площади выполнены повторные измерения.

Составлены карты аномального магнитного поля вида $\Delta Ta = Ta - Tr$, где Ta – аномальное магнитное поле, Tr – компонента, определяемая источниками природного происхождения.

Магнитное поле акватории бухты Золотой Рог вида ΔTa можно разделить на два типа: вдоль причальных стенок оно характеризуется высокоинтенсивными знакопеременными, а в центральной части бухты – низкоамплитудными положительными значениями. Отрицательные аномалии вблизи причальных стенок сопряжены с высокоамплитудными положительными магнитными аномалиями, расположенными ближе к фарватеру.

Выделены локальные высокоградиентные магнитные аномалии в форме диполей. Источниками таких магнитных аномалий, с большой долей вероятности, являются достаточно крупные объекты, характеризующиеся ферромагнитными свойствами. Для выделения локальных аномалий, источниками которых являются объекты поиска, были исключены «ложные» магнитные аномалии, источниками которых являлись движущиеся по акватории суда, электромагнитные помехи, возникавшие вследствие работы портового оборудования и т. п. Всего на акватории бухты Золотой Рог в аномальном магнитном поле вида ΔTa выделены 7 локальных

магнитных аномалий. Эти магнитные аномалии характеризуются локальностью, высокой интенсивностью, формой диполя (положительный и отрицательный полюсы) и существенным расстоянием между полюсами. На основании количественной интерпретации восстановлена форма источников аномалий, их размеры и положение в пространстве. Впоследствии, существование всех выявленных объектов и особенности их залегания в грунте, предположенные по результатам интерпретации геомагнитных данных, были подтверждены водолажными работами.

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕНОСА ДОННЫХ НАНОСОВ И ФОРМИРОВАНИЯ ПЛЯЖЕЙ У ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

**Богуславский А.С., Казаков С.И.,
Лемешко Е.Е., Берзова И.Г.**

*МГИ, г.мт Кацивели, Крым, Россия
science@bshpg-ras.ru*

Ключевые слова: донные наносы, перенос, пляжи, галька, Южный берег Крыма.

Рассмотрена роль сгонных и нагонных штормов как фактора формирования и деградации галечных пляжей Южного берега Крыма на примере участка детальных исследований в районе мыса Кикинеиз и Лименской бухты.

Физическое состояние галечных пляжей определяется балансом поступления в прибойную зону и выноса из нее пляжеформирующих материалов под действием динамических процессов переноса, характер которых влияет на комплекс морфометрических параметров пляжа: ширину, мощность, распределение гранулометрического состава гальки вдоль и поперек береговой линии. Состав и свойства пород (твердость, абразивность), размер, форма и окатанность гальки, свидетельствуют об истории пляжа – его происхождении, длительности кругооборота гальки, устойчивости пляжа во времени.

Состояние галечных пляжей, определяемое комплексом перечисленных выше показателей, может служить своеобразным барометром экологического состояния пляжей и должно рассматриваться как важный целевой элемент системы комплексного геоэкологического мониторинга берегов.

Анализ данных наблюдений изменения массы и гранулометрического состава гальки пляжей на единицу длины береговой линии на примере Кацивельского участка приводит к выводу, что наибольший вынос гальки в море происходит при штормовых нагонных (восточных румбов) ветрах. У берегов Южного берега Крыма продолжительные ветры этих направлений, достигающие скоростей 20 м/с, обычно дуют в весенний период, что обусловлено значительным контрастом прогрева воздушных масс над морем и сушей. Во время таких ветров суммарное ветровое и волновое повышение уровня моря у берега может составлять от нескольких десятков сантиметров до 2 м и более, что приводит к развитию мощной компенсационной компоненты придонного течения, направленной в море и перемещающей гальку на более глубокие горизонты.

Противоположное развитие событий имеет место при штормовых сгонных (западных румбов) ветрах. Для Южного берега Крыма характерны летние сгоны в середине июня. В осенне-зимний период наблюдаются юго-западные циклонические штормы, при которых вынос галечного материала и сорванных водорослей цистозиры на берег максимален.

Работа выполнена в рамках научной темы государственного задания № 075-00803-19-01.

Работа подготовлена при поддержке Программы Президиума РАН № 19 «Фундаментальные проблемы геолого-геофизического изучения литосферных процессов».

ПРИМЕНЕНИЕ ПАССИВНОГО АКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ОБЪЕМОВ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЙ В БУХТЕ ЛАСПИ

Будников А.А.¹, Малахова Т.В.²,
Иванова И.Н.¹, Линченко Е.В.³

¹МГУ, г. Москва, Россия

²ИнБЮМ, г. Севастополь, Россия

³Филиал МГУ, г. Севастополь, Россия
t.malakhova@imbr-ras.ru

Ключевые слова: бухта Ласпи, сипы, пассивный акустический метод, поток газа, резонансная частота.

Количественные показатели объемов газа, поступающих в водную толщу и атмосферу из струйных метановых газовыделений (сипов), имеют важное значение для оценки вклада в пул парниковых газов. Использование пассивной акустики для длительного мониторинга действующих природных сипов представляется достаточно перспективным методом, дающим возможность производить измерения локальных потоков в течение длительного времени в силу небольшого энергопотребления используемого оборудования.

В ходе исследования были проведены лабораторный и натуральный эксперименты. Аудиозапись пузырьковой разгрузки производилась микрофоном камеры GoPro3, установленной на дне резервуара в непосредственной близости от точки выхода пузырьков. Для формирования пузырей использовались различные насадки на газопроводящий канал: иглы диаметром 0,6 и 0,8 мм, а также силиконовые трубки диаметром 0,3; 1 и 1,4 см. Частота выхода пузырей в каждой серии экспериментов варьировалась при помощи регулятора потока. Каждая серия экспериментов была проведена при температуре воды 14°C и различной солености: 0; 17,4; 25,7 и 33,6‰.

Полевые измерения проводились в бухте Ласпи, где ранее неоднократно регистрировались пузырьковые газовыделения. По-

казатели среды как в лабораторном эксперименте, так и в естественных условиях получали мультипараметрическим зондом RCM 9 LW (Aanderaa). Анализ аудиограмм (подавление общего фонового шума, спектральный анализ) производился в программе Audacity (2.3.0).

Пассивный акустический метод основан на связи размера пузырька с частотой аудиосигнала, производимого им при отрыве от выходного подводного канала. В проведенных нами лабораторных экспериментах при генерации в толще жидкости пузырьков размером от 2 до 15 мм были зафиксированы частоты аудиосигналов, лежащие в диапазоне от 2,7 до 0,4 кГц. При анализе акустических записей, выполненных вблизи действующих мелководных сипов в бухте Ласпи, идентифицирована серия коротких аудиосигналов, производимых выделяющимися пузырьками метана, длительностью 0,5–2 с, сгруппированных в пакеты, содержащие порядка десяти импульсов. Для двух исследованных сипов в частотном спектре проведенных записей зафиксированы частотные пики с максимумами, приходящимися на 1 и 1,4 кГц. Согласно теоретической оценке диаметры пузырьков, генерирующих подобный сигнал, составляют 7 и 5 мм соответственно, что с учетом интенсивности пузырьковой разгрузки формирует поток газа 40 и 6 л/сут.

В работе подтверждена принципиальная возможность регистрации пузырьковой разгрузки мелководных сипов и оценки газового потока методом пассивной гидроакустики.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ И ОСВЕЩЕННОСТИ НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОРСКОГО ФИТОПЛАНКТОНА

Васечкина Е.Ф., Филиппова Т.А.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
vasechkina.elena@gmail.com*

Ключевые слова: скорость роста, скорости изъятия нутриентов, константы полунасыщения, содержание азота и фосфора в клетке, объем клетки.

Динамику фитопланктонного сообщества можно математически описать с помощью системы дифференциальных уравнений, содержащих определенное число эмпирических параметров. В случае учета в модели двух основных нутриентов – азота (в виде нитратов и аммония) и фосфора – система уравнений будет содержать 11 параметров. Это – максимальные скорости поглощения нутриентов из морской воды, константы полунасыщения, максимальное и минимальное содержание нутриентов в клетке, максимально возможная удельная скорость роста водорослей. Перечисленные параметры зависят от объема клетки, видовой принадлежности и внешних условий существования фитопланктона: температуры воды и интенсивности светового потока. Знание этих зависимостей позволит более адекватно рассчитывать динамику численности массовых видов фитопланктона в различных естественных условиях.

Целью настоящей работы был поиск перечисленных выше эмпирических зависимостей на основе обработки архива данных лабораторных экспериментов по определению кинетических параметров роста отдельных видов фитопланктона, опубликованного K.F.Edwards с соавторами в 2015 г. (Ecological Archives E096-202). Архив содержит 1319 записей, скомпилированных из 148 научных исследований. Для 129 видов фитопланктона, включая пресноводный и морской фитопланктон, определены некоторые из нужных нам параметров. Архив содержит множество пропусков, поэтому объем выборки для каждого из параметров оказывается невелик (от 20 до 45 записей).

В работе использовались архивные данные для 6 таксономических групп морского фитопланктона: Cyanobacteria, Diatomeae, Dinophyta, Chlorophyta, Haptophyta, Raphidophyta. Используя разработанный ранее алгоритм поиска нелинейных зависимостей между переменными с помощью нейронной сети, удалось подобрать эмпирические зависимости для 10 параметров модели. Для максимально возможного содержания азота в клетках фитопланктона подобрать модель не удалось, поэтому эта величина рассчитывалась пропорциональной максимальному содержанию фосфора. Модели подбирались в форме квадратичного полинома от следующих независимых переменных: объем клетки, температура воды, освещенность, таксономическая принадлежность вида. Последняя кодировалась целым числом от 1 до 6.

Благодаря использованию генетического алгоритма поиска, применяемый метод позволяет находить приемлемые по точности нелинейные зависимости при небольшом объеме выборки. Адекватность полученных моделей оценивалась по критерию Фишера и отношению среднеквадратической ошибки аппроксимации к среднеквадратическому отклонению исходного ряда данных. Относительная ошибка для разных параметров варьировалась от 0,14 до 0,53. Ограничения моделей определяются диапазоном изменчивости независимых переменных в исходных данных.

Найденные модели позволяют оценить сезонные изменения кинетических параметров в модели функционирования фитопланктона. Получены графики данной изменчивости, объясняющие известный годовой ход развития массовых видов фитопланктона в море.

Работа выполнена частично в рамках государственного задания по теме № 0827-2018-0004 («Прибрежные исследования») и при поддержке гранта РФФИ № 18-05-80028 («Опасные явления»).

ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРИБРЕЖНОГО МАКРОФИТОБЕНТОСА В УСЛОВИЯХ ГИПОКСИИ

Васечкина Е.Ф., Филиппова Т.А.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
vasechkina.elena@gmail.com*

Ключевые слова: морская экосистема, макроводоросли, фотосинтез, растворенный кислород, сероводород, нутриенты, продукция, экскреция.

Целью работы является изучение влияния макрофитобентоса на состояние придонного слоя воды в условиях безветрия и развития застойных явлений в морской экосистеме методами численного моделирования. Для адекватного описания в модели

наблюдаемой существенной неравномерности пространственного распределения используется объектно-ориентированный подход. Донная растительность представлена в модели множеством объектов, имитирующих ближайшее жизненное пространство группы идентичных макроводорослей, в котором происходят все процессы их обмена веществом с окружающей средой – изъятия из морской воды неорганических соединений углерода, азота и фосфора, необходимых для фотосинтеза, выделения растворенного кислорода и органического вещества. Свойствами модельного объекта являются размеры и координаты его расположения в пределах расчетной области, биомасса водорослей, содержание углерода, азота и фосфора в тканях, фотосинтетические и кинетические параметры, определяющие скорости протекания основных метаболических процессов. Методами объекта являются процедуры динамической модели роста водорослей, основанной на использовании уравнений энергетического баланса. Продукция органического вещества лимитируется освещенностью, температурой воды, содержанием основных нутриентов в тканях водорослей. Применение закона Либиха позволяет учитывать влияние на рост нескольких лимитирующих факторов.

Скорости изъятия нутриентов зависят от концентрации их в воде и содержания в тканях. При низком содержании нутриента в тканях процесс изъятия данного элемента из окружающей среды и насыщения тканей идет очень быстро. Затем скорость изъятия стабилизируется до следующего значительного изменения его концентрации во внешней среде.

Модель содержит ряд видоспецифичных эмпирических параметров, которые были подобраны из литературных источников для водорослей, характерных для фитоценозов прибрежной зоны Крыма. В настоящем варианте модели присутствуют объекты цистозир и сопутствующих видов: ульвы, кладофоры, полисифонии, церрамиума. В качестве гидродинамической модели использована одномерная интегральная модель, описывающая водообмен между верхним и нижним слоями жидкости вследствие процессов вовлечения и антивовлечения, зависящих от ветровой обстановки. Дополняют эту модель уравнения горизонтальной диффузии примеси. В химико-биологической части модели для каж-

дого слоя рассчитываются двумерные поля фитопланктона, концентраций аммония, нитратов, нитритов, фосфатов, взвешенного и растворенного органического вещества, растворенного кислорода, соединений серы.

Проведены численные эксперименты по имитации развития гипоксии и сероводородного заражения в условиях стагнации в летний период на мелководье. Анализ результатов показал, что районы с плотным расположением макроводорослей препятствуют распространению сероводорода и способствуют полному восстановлению окислительных условий в нижнем слое водоема. При равномерном пространственном распределении объектов фитобентоса очищение водоема от сероводородного загрязнения происходит быстрее.

Работа выполнена частично в рамках государственного задания по теме № 0827-2018-0004 («Прибрежные исследования») и при поддержке гранта РФФИ № 18-05-80028 («Опасные явления»).

АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПРИПАЯ В ОБЬ-ЕНИСЕЙСКОМ РЕГИОНЕ НА ФОНЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

Виноградов Р.А., Андреев О.М., Орлова Е.Ю.

*АНИИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
vinra@aari.ru*

Ключевые слова: распространение припая, судоходство, ледовые условия плавания, температура, потепление.

На основе анализа ледовых карт и космических снимков рассмотрена межгодовая изменчивость пространственного распространения припая на акватории Обь-Енисейского региона. В ходе предыдущих исследований подтвердилось согласование межгодовых изменений положения кромки неподвижного льда с температурным фоном атмосферы в регионе, в котором отражается влияние процессов глобального потепления климата. Тогда же

было выявлено влияние антропогенного воздействия на распространение припая.

Развитие хозяйственной деятельности в регионе связано с интенсификацией судоходства. В Енисейском заливе из порта Дудинка (для нужд комбинатов Норильска) регулярная зимняя морская навигация осуществляется с 2008 г. В Обской губе – из порта Сабетта (с 2013 г.) и от нефтеналивного терминала «Ворота Арктики» у м. Каменный (с 2015 г.). За это время трафик, например, в Сабетте вырос с единичных заходов до нескольких сотен судов в сезон. Зимняя навигация сопровождается обязательными прокладками ледовых каналов в припае и их частым обновлением, что не может не отражаться на устойчивости неподвижного ледяного покрова.

Для анализа воздействия антропогенного фактора были проанализированы температурные и ледовые условия в регионе с учетом доступной информации о судовом трафике. Использовались данные за последние несколько десятков лет по температуре воздуха (по наблюдениям на ГМС), а также ледовые карты и снимки ИСЗ из архива ААНИИ. Имеющийся ряд наблюдений был проранжирован по одному из основных показателей тяжести зимних условий – сумме градусо-дней мороза (СГДМ). Тезис о том, что в сезоны с близкими значениями СГДМ в естественных условиях следует ожидать на акватории схожих ледовых условий (с учетом влияния других гидрометеорологических факторов), ранее неоднократно подтверждался. Однако по северной части Обской губы для последнего десятилетия было выявлено отклонение от этого тезиса. Например, сезон 2018–2019 гг. с рекордным трафиком (367 судозаходов в Сабетте) по распределению припая больше соответствует сезону 2015–2016 гг., который по температурным условиям значительно легче (разница около 400 ГДМ). С другой стороны, сравнение аналогичных по температурному фону сезонов 2018–2019 и 2010–2011 гг. показало более южное расположение средней границы кромки припая (разница около 0,5 град. широты) при интенсивной навигации зимой 2018–2019 гг.

Использование не максимальной, а средней за сезон границы припая оправдано для получения более объективных оценок. Это

позволяет исключить случаи кратковременного увеличения площади припая, связанные с резким похолоданием или иными причинами. Так, в 2018–2019 гг. крайнее северное положение кромки припая незначительно превосходило аналогичный показатель 2010–2011 гг. Но подобное наблюдалось единожды (из-за морозов в начале марта 2019 г.), а в остальное время граница припая в тот сезон фиксировалась существенно южнее, чем в 2010–2011 гг.

Выявление аналогичного влияния на припай в Енисейском заливе осложнено квазипостоянным уровнем зимнего трафика (50–70 судозаходов в Дудинке). Здесь для анализа требуется иной подход, учитывающий особенности ороеграфии акватории.

Таким образом, для северной части Обской губы на качественном уровне доказано влияние интенсивности судоходства на ледовые условия акватории (распространение неподвижного льда). Следовательно, интенсификация судового трафика при хозяйственном освоении региона вызывает изменение ледовых условий плавания, что требуется учитывать при планировании морских перевозок.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭХОИНТЕГРАЦИОННОГО МЕТОДА ДИСТАНЦИОННОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЗООПЛАНКТОНА НА ПРИНЦИПАХ НЕЛИНЕЙНОЙ АКУСТИКИ

Вишневецкий В.Ю.¹, Колесник Д.А.¹, Старченко И.Б.²

¹*ИНЭП ЮФУ, г. Таганрог, Россия*

²*ООО «Параметрика», г. Таганрог, Россия
denkolesnik@sfedu.ru*

Ключевые слова: зоопланктон, параметрическая антенна, обратное рассеяние, сила цели, дистанционное зондирование.

В последние годы сфера применения гидроакустики в рыбном хозяйстве и возможности гидроакустической техники существенно расширились, что обусловлено значительным скачком в

развитии микропроцессорной техники и технологиях генерации и обработки сигналов в приемопередающих системах. Известны гидроакустические устройства, принцип действия которых основан на эхолокации – излучении в водную среду акустических волн, их отражении от объекта и приеме отраженного сигнала, а сам метод – на измерении силы обратного поверхностного рассеяния и экспериментально определенной зависимости силы цели гидробионтов в скоплении от его размера. Преимуществом гидроакустического метода по сравнению с другими способами оценки запаса в данном случае являются непрерывность регистрации и оперативность дистанционного съема данных с борта судна. Это позволяет исследовать тонкую структуру агрегаций и повысить точность оценки пространственного распределения, границ распространения и плотности гидробионтов на акватории съемки. В данной работе предлагается усовершенствовать известный метод путем применения в качестве активного гидроакустического средства параметрической антенны, основанной на принципе нелинейного взаимодействия акустических волн. Данные антенны имеют широкий диапазон рабочих частот и узкую диаграмму направленности при практическом отсутствии бокового поля. Это позволит повысить эффективность поиска и оценки скоплений зоопланктона и мелкой рыбы, что является важной народнохозяйственной задачей.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОСТРОЙКИ КЕРЧЕНСКОГО МОСТА НА СОСТОЯНИЕ МОРСКОЙ СРЕДЫ

Вишневецкий В.Ю.¹, Попружный В.М.², Старченко И.Б.³

¹*ИНЭП ЮФУ, г. Таганрог, Россия*

²*ФГУ «Азовморинформцентр», г. Таганрог, Россия*

³*ООО «Параметрика», г. Таганрог, Россия*

vuvishnevetsky@sfedu.ru

Ключевые слова: индекс загрязнения вод, тяжелые металлы, донные отложения, течения.

Оценка воздействия строительных работ на качество морской воды в Керченском проливе осуществлена по данным, полученным в результате мониторинга Азовского моря, проводимого ФГУ «Азовморинформцентр». Работы по наблюдению за состоянием воды в пункте наблюдения «Коса Тузла», расположенном непосредственно на оконечности косы на Таманском полуострове, там, где сейчас находится начало строящегося моста, начаты в 2004 г., задолго до начала строительных работ, ежегодно проводится четырехкратный отбор проб по показателям, установленным в Российской Федерации для морских водоемов.

Комплексная оценка качества воды проведена по методу расчета удельного комбинаторного качества вод (УКИЗВ), который основывается на статистическом анализе гидрохимических исследований природной воды более чем по 20 показателям; на первом этапе проводится детальный покомпонентный анализ химического состава воды, на втором этапе проводится оценка качества воды с использованием полученных расчетов.

Анализ показал, что в период с 2015 по 2018 гг., т. е. во время наиболее активного проведения работ по строительству моста, класс качества воды не изменился относительно предшествующих лет и относится ко 2-му классу, категория «слабо загрязненные». Более того, в 2015 г. зафиксирован наиболее низкий показатель загрязненности вод в данном районе за многолетний период. Однако, надо отметить, что с 2016 г. показатель загрязненности воды существенно вырос и имеет значение значительно выше среднего за период с 2008 г.; кроме того, в 2018 г. (по данным апрель – август 2018 г.) индекс качества составляет 2,12, что является наиболее высоким значением с 2007 г. и класс качества воды ухудшился до категории «загрязненная». По всем исследованным показателям существует рост концентраций до уровней, превышающих предельно допустимые, в период активного строительства Керченского моста. Это говорит об активном переходе данных тяжелых металлов из донных отложений в морскую воду при взмучивании воды при производстве строительных работ. Однако следует отметить, что в предыдущие периоды исследований фиксировались и значительно более высокие концентрации.

Перепады разности уровней морей регулярно формируются за счет приливно-отливных явлений в Черном море, сезонных колебаний притока вод в Азовское море и сгонно-нагонных явлений, под воздействием того же ветра в Азовском море. Благодаря этому, в Керченском проливе зачастую возникают двухсторонние течения, которые бывают резко выраженными и имеют значительную скорость. Также течения способствуют переносу с последующим разбавлением плавающих и взвешенных веществ, поднятых со дна при производстве строительных работ, прочего строительного мусора, непосредственно от места строительства моста в Черное и Азовское моря, существенно снижая антропогенную нагрузку на Керченский пролив.

Таким образом, на основании проведенного анализа можно сделать вывод о наличии последствий, негативно влияющих на химический состав морской воды, в результате строительства Керченского моста, обусловленных взмучиванием донных отложений, но эти последствия на фоне многолетних наблюдений не выглядят существенными.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ВОД В КАМЧАТСКОМ ПРОЛИВЕ В ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД

Власова Г.А., Марченко С.С., Рудых Н.И.

*ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, Россия
gavlasova@mail.ru*

Ключевые слова: Командоро-Алеутский архипелаг, Камчатский пролив, циркуляция вод, циклонические и антициклонические круговороты, численное моделирование.

Камчатский пролив представляет собой уникальный природный полигон как самый глубоководный пролив Командоро-Алеутского архипелага (4420 м), из которого Камчатским течением сбрасываются холодные низкосолёные берингоморские воды в

Тихий океан. Суровый климат, постоянные центры действия атмосферы, крупномасштабные барические образования, нестабильная гидродинамика, прохождение большого количества циклонов, уникальный рельеф дна усложняют исследование циркуляции вод в Камчатском проливе.

Целью работы является изучение пространственно-временной изменчивости циркуляции поверхностных вод в Камчатском проливе в весенний сезон за период 1950–2017 гг. на базе гидродинамической модели с использованием программного обеспечения «Ocean Data View» (ПО ODV). Для расчетов использовалась равномерная сетка $5' \times 5'$ (9 км). Район исследования ограничен координатами 54° – 57° с. ш.; $162^{\circ}30'$ – $166^{\circ}30'$. Для расчетов использовался переходный весенний гидрологический период (май, июнь), как пример перехода от зимнего субарктического режима вод к летнему умеренному.

Результаты исследования показали, что на фоне общего циклонического движения Камчатское течение, по крайней мере, в переходный весенний период не представляет собой единого неразрывного потока водных масс. Вместо этого, в данном районе существует несколько гидродинамических круговоротов. Так, в западной части пролива вдоль побережья п-ова Камчатка наблюдается мощный антициклонический круговорот, вытянутый в меридиональном направлении, и в восточной части пролива около о-ва Беринг – небольшой антициклонический вихрь. Это объясняется постоянным наличием вблизи островных дуг в море и океане потоков, распространяющихся в противоположных направлениях (Аляскинское и Алеутское течения) и их конвергенция, а также влиянием поперечной неравномерности (завихренности) ветра.

Имеются отличия в майской и июньской схемах циркуляции вод в связи с усилением солнечной активности и ускорением ледоразрушения: в мае мощный антициклонический круговорот в западной части пролива вдоль п-ова Камчатка занимает обширную площадь, а в июне он разбивается на отдельные менее мощные субмезомасштабные круговороты.

**ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ФОНА
ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ПРИМОРСКОГО КРАЯ
ПО МНОГОЛЕТНИМ ДАННЫМ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ
(СЕВЕРО-ЗАПАДНАЯ ЧАСТЬ ЯПОНСКОГО МОРЯ)**

Гайко Л.А.

*ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, Россия
gayko@yandex.ru*

Ключевые слова: залив Петра Великого, гидрометеорологические станции, изменение климата, межгодовая изменчивость, Приморье, температура воды, температура воздуха, температурный тренд, Японское море.

Район исследования – морское побережье Приморья, омываемое водами залива Петра Великого с юга и водами Японского моря и Татарского пролива с востока. Особое положение Приморского края на стыке самого большого материка и самого большого океана формируют особые климатические условия.

Работа основана на материалах наблюдений на пяти ГМС (гидрометеорологических станций), три из которых расположены в заливе Петра Великого (ГМС Посыет, Владивосток, Находка) и две – на восточном побережье Приморского края (ГМС Рудная Пристань и Сосуново).

Исследование гидрометеорологического режима вдоль побережья Приморского края, проводимое автором в течение двадцати лет, позволяет отслеживать климатические изменения в рассматриваемом районе. По результатам мировых исследований последнее десятилетие прошлого века было самым теплым десятилетием столетия. Для прибрежных районов Приморья данное утверждение подтверждается работами автора. Кроме того, автором отмечено, что начало нового века также подхватило эстафету повышенных температур, хотя здесь имеются свои нюансы, вызванные особенностями рельефа Приморского края и местной циркуляцией вод.

Климат Приморского края относится к муссонному типу климата умеренных широт с хорошо выраженными сезонами года. Годовой ход температуры воды и воздуха вдоль побережья имеет один минимум и один максимум. Экстремумы отрицательной температуры воды приходятся на январь – февраль, воздуха – на январь. Положительные экстремальные температуры и воды, и воздуха приходятся на август.

При исследовании межгодовой изменчивости температуры вдоль побережья Приморья во временном ходе среднегодовых значений и температуры воды, и температуры воздуха за период инструментальных наблюдений с 1930 по 2017 гг. выявлен значимый на 5%-ом уровне тренд. Исключение составила ГМС Находка, где в ходе температуры воды тренд не выявлен, что связано, по всей видимости, с усилением влияния на юго-восточную часть залива Петра Великого холодного Приморского течения, которое играет важную роль в формировании водных масс залива, а также с активизацией работы апвеллинга у юго-восточного побережья Приморья.

По уравнению регрессии был рассчитан прирост температуры на станциях за последние 80 лет. На всех станциях Приморского края за рассматриваемый период отмечен рост температуры в среднегодовых значениях. В центральной части побережья зал. Петра Великого температура воды увеличилась на $1,0^{\circ}\text{C}/80$ лет, на севере восточного побережья – на $0,9^{\circ}\text{C}/80$ лет.

В среднегодовом плане температура воздуха в юго-восточной части залива Петра Великого увеличилась на $2,0^{\circ}\text{C}/80$ лет, а на восточном побережье – на $1,4^{\circ}\text{C}$.

Наблюдаемый рост среднегодовой температуры воды и воздуха свидетельствует об общем увеличении температурного фона на изучаемой территории.

Таким образом, проведенные исследования межгодовой изменчивости температуры воды и воздуха за период с 1930 по 2017 гг. вдоль побережья Приморья подтверждают мировую тенденцию потепления климата.

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ

Гармашов А.В.

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

Ключевые слова: Севастопольская бухта, гидрология, измерения, экспедиция.

Исследование прибрежных акваторий является одним из приоритетных направлений при решении проблем рационального природопользования и остается актуальной задачей на протяжении многих лет. Севастопольская бухта расположена на юго-западной оконечности Крымского п-ова и представляет собой полузамкнутую акваторию эстуарного типа с затрудненным водообменом. Длина от входа до вершины бухты составляет ~ 7 км при максимальной ширине ~ 1 км и средней глубине 12 м. Площадь поверхности бухты 7,96 км². После постройки в 1977–1978 гг. защитного мола ширина входа в бухту сузилась с 940 до 550 м, что повлекло за собой существенное изменение характеристик водообмена.

Начиная с 1998 г., МГИ выполняет мониторинг гидролого-гидрохимических характеристик вод Севастопольской бухты. Результаты этой работы представлены в ряде научных публикаций.

Цель данной работы – изучение гидрологических характеристик вод Севастопольской бухты по данным экспедиционных исследований МГИ в 2006–2018 гг.

В настоящей работе используются данные 34 съемок, выполненных в 2006–2018 гг. Исследования во время большинства съемок проводились на сетке из 36 станций, причем 3 станции выполнялись непосредственно перед ходом в бухту, остальные – в самой Севастопольской бухте. В зимние месяцы было выполнено 11 экспедиций, весенние – 8, в летние – 2, в осенние – 13.

Измерения проводились с помощью зондирующего СТД-комплекса «ШИК-01» с каналом кислорода и автоматической кассетой батометров, а также автономных комплексов «ГАП-12» и «ГАП-16».

За период наблюдения (с 2006 по 2018 гг.) были отмечены значительные колебания (до 10 °С) придонной температуры, связанной с затоком холодных вод. В районе Графской бухты за счет речного стока р. Черной соленость менялась в пределах 14–17,5‰. В целом, в холодные месяцы температура поверхности моря опускалась до 6 °С, в летние месяцы прогревалась до 26 °С, соленость поверхностных вод составляла 17,5–17,75‰.

Исследование выполнено при финансовой поддержке темы государственного задания № 0827-2019-0001 и гранта РФФИ 18-05-8002.

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ НА СТАЦИОНАРНОЙ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЕ В ГОЛУБОМ ЗАЛИВЕ В 2011–2019 ГГ.

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

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

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

С 2011 г. на стационарной океанографической платформе (СОП), расположенной в прибрежной зоне (600 м от берега) Южного берега Крыма (пгт Кацивели), проводился гидрометеорологический мониторинг (высота волн, скорость и направление ветра, температура воздуха и моря, атмосферное давление, относительная влажность) с помощью разработанного в МГИ комплекса сбора гидрометеорологических данных (КСГД). Для измерения высот волн использовался витой резистивный волнограф с дискретностью опроса 4 Гц и возможностью регистрации высот волн до 10 м. Датчик для измерения скорости и направления ветра (М63МР) располагался на высоте 21 м над уровнем моря. В данной работе скорость ветра приводилась к стандартной высоте 10 м по формуле, предполагающей наличие логарифмического подслоя и нейтральной стратификации. За период наблюдений 2011–2019 гг. было получено более 290 тыс. осредненных измерений гидрометеорологических параметров.

Цель настоящей работы состояла в анализе измеренных на СОП ветроволновых характеристиках.

В результате анализа ветровых измерений на СОП, который с перерывами охватывает 9 лет, было получено, что наименьшие среднемесячные скорости ветра были в августе (4,6 м/с), наибольшие – в декабре (7 м/с). В то же время значимых различий в амплитудах максимальных скоростей ветра, зарегистрированных на СОП, между летними (26,6 м/с) и зимними (29,3 м/с) месяцами не наблюдается, при этом порывы ветра достигали значений 41,6 м/с.

Штилевые условия (до 0,1 м/с) наблюдались всего в 1,1% всех случаев. Доминирующими были слабые ветра (0,1–5 м/с), на них выпадает 48% всех ветров. Умеренные ветра (5–10 м/с) регистрировались в 32% ситуаций. На сильные ветра (10–15 м/с) приходилось 14,9%. Крепкий ветер (15–20 м/с) был в 3,3%. Штормовой ветер (20–25 м/с) был измерен в 0,3% всех ветров. Сильный шторм (25–30 м/с) наблюдался в 0,04%.

В течении года наибольшую (24%) повторяемость имели ветра восточного направления, реже регистрировались ветра северо-восточного (19%), западного (16%), северного (12%). Ветра юго-западных и северо-западных румбов наблюдались в 11% и 6% случаев соответственно. Реже всего встречались ветра юго-восточного (3%) и южного (2%) направлений. В группе слабых ветров наиболее часто (повторяемость примерно по 19%) имели место ветра северных, северо-восточных, восточных направлений. В умеренных и сильных ветрах доминируют восточные (30–35%), западные (19–22%) и северо-восточные (19–20%) направления, южные и юго-восточные румбы практически не были зарегистрированы (менее 1%). Крепкий и штормовой ветер в районе СОП 38% всех случаев был восточного направления, несколько реже (21%) – северо-восточного. Крепкий ветер южного и юго-восточного направлений почти не наблюдался (менее 0,1%). Ветра более 25 м/с были только восточного (60%), северо-восточного (25%), северо-западного (13%) и северного (2%) направлений.

Получено, что слабое волнение ($H_s = 0,1–0,5$ м) чаще всего наблюдалось в летние месяцы (77%), легкое волнение ($H_s = 0,5–1,25$ м) доминирует в зимние месяцы, повторяемость данного

типа волнения составляет более 51–63%, повторяемость умеренного волнения ($H_s = 1,25\text{--}2,5$ м) составляет примерно 6%, бурное волнение ($H_s = 2,5\text{--}4$ м) было зарегистрировано только в январе и феврале (0,1 и 0,4%). Максимальная высота волны, измеренная на СОП в 2012–2019 гг., составляла 6,4 м (декабрь).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-80028 и темы государственного задания № 0827-2019-0001

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА НА КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ МОРЯ В СУХУМСКОЙ АКВАТОРИИ

Гицба Я.В., Строчан Т.П.

*ИЭАНА, г. Сухум, Республика Абхазия
yana_akyu@mail.ru, strochan.timur@rambler.ru*

Ключевые слова: акватория, температура воды, штормовая активность, уровень моря, сгонно-нагонные явления.

Проведено исследование особенностей гидрофизического режима поверхностных вод сухумской акватории и выявление корреляционной связи температуры с гидрологическим параметром, в частности, температуры воды с уровнем воды в море.

Для объективной оценки гидрофизического режима сухумской акватории Черного моря обработан массив данных за 1994–2018 гг. Из среднемесячного распределения температуры воды за 1994–2018 гг. следует, что температура понижается с августа по февраль включительно.

Среднее значение температуры воды в летне-осенний период колеблется в пределах от 18,8 до 26,03 °С, в весенне-зимний период времени – от 9,1 до 15,0 °С. Максимальная температура (26,0 °С) в летний период наблюдалась в 2018 г., наибольшая весенняя температура также наблюдалась в 2018 г. и составила 15,03 °С, осенняя в 2010 г. – 22,2 °С и зимняя в 2010 г. – 12,8 °С. Минимальное значение температуры воды в летний период за последние 25 лет наблюдалось в 1994 г. – 23,0 °С, в весенний период

в 1997 г. – 11,4 °С, в осенний период в 2011 г. – 11,8 °С, в зимний период в 2008 г. – 9,1 °С.

Температура поверхностного слоя морской воды повышается по мере удаления от берега в среднем на 0,12 °С. Наибольшее значение температуры наблюдается в 25 км от береговой зоны (17,55 °С), наименьшее – в прибрежных водах Абхазии (17,44 °С). В результате обработки спутниковых данных на восьми разрезах в акватории Абхазии получено, что температура воды имеет тенденцию к повышению с северо-запада на юго-восток в среднем на 0,48 °С ($y = 0,006x + 17,48$). Также из диаграммы можно заметить зону изменчивости между 10 и 20 километровой зоной, что объясняется влиянием Основного черноморского течения.

На побережье Черного моря в отношении колебаний уровня моря выделяются два района: северо-западный с максимумом уровня в июле и кавказский с максимумом в июне. Средний многолетний уровень лежит ниже нуля Кронштадтского футштока на 33 см и изменяется в отдельных пунктах побережья от 27 до 43 см.

Большое значение для годового хода уровня имеют сгонно-нагонные явления. Сильный устойчивый ветер с берега создает сгонное течение: море уходит от берега, его уровень в данном месте понижается, иногда – до 30 см за день. На смену поверхностной воде поднимается вода из глубины.

Мониторинг колебания уровня моря в сухумской акватории проводился дистанционным методом в период с 2005 по 2014 гг. Максимальный среднемесячный уровень в Сухуме наблюдается в июне (6,83 см). Он объясняется увеличением стока рек, впадающих в акваторию в этот период времени, за счет таяния ледников в горах. Наименьший уровень наблюдается в сентябре (–2,29 см). Исходя из сезонного хода, следует, что наибольшее сезонное значение уровня воды в море наблюдается в зимний период (6,13 см), наименьшее – в осенний период (–0,01 см). В период с 2005 по 2014 гг. наблюдается тенденция повышения уровня воды на 2,2 см ($y = 0,22x + 3,8$). Коэффициент корреляции между среднегодовыми значениями температуры и уровня воды составляет $r = 0,6$, что говорит о влиянии температуры воды на колебания уровня воды. Среднегодовой уровень воды составляет 5,5 см.

Таким образом, полученные результаты выявляют региональные особенности распределения гидрофизических параметров и служат критерием оценки экологического качества морской акватории при использовании в рекреационных и иных целях.

МЕТОДИКА ВЫБОРА КЛИМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ CMIP5 ДЛЯ ОЦЕНКИ БУДУЩИХ ИЗМЕНЕНИЙ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ДИНАМИКУ ГЛУБОКОВОДНОЙ КОНВЕКЦИИ В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ

**Гнатюк Н.В.^{1,2}, Радченко Ю.В.¹,
Башмачников И.Л.^{1,2}, Бобылев Л.П.¹**

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

²СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия
natalia.gnatiuk@niersc.spb.ru

Ключевые слова: климатическая модель, верификация климатических моделей, методика выбора моделей CMIP5, глубоководная конвекция, арктические моря.

Предложена методика верификации моделей общей циркуляции атмосферы и океана CMIP5 и выбора моделей, которые наиболее реалистично воспроизводят региональные особенности распределения факторов, определяющих динамику глубоководной конвекции в арктических морях: распределения температуры и солености на разных глубинах, изменения скорости ветра и течений, потоков тепла и пресной воды и глубины перемешанного слоя в морях Лабрадорском, Ирмингера и Гренландском.

Верификация 34-х моделей CMIP5 выполнялась по данным климатического реанализа GLORYS2V4 и включала анализ межгодовой изменчивости, сезонного цикла, распределения пространственных ошибок и временных трендов для всех рассмотренных факторов. Ранжирование выполнялось методом процентилей с присвоением балла для каждого статистического показа-

теля (всего 12 характеристик). В результате, для каждой комбинации «фактор – море» был выбран оптимальный набор климатических моделей и определена одна лучшая модель.

Согласно полученным результатам можно сделать вывод, что не существует единой оптимальной комбинации моделей и не существует одной лучшей модели, которые хорошо воспроизводят региональные особенности всех факторов во всех рассмотренных морях. В то же время, сравнение выбранного ансамбля с полным ансамблем из 34 моделей CMIP5 и лучшей моделью для каждой комбинации «фактор – море» показали, что выбранный оптимальный набор моделей для каждой конкретной комбинации более чем в 70% случаев показывает меньше пространственных ошибок и более чем в 80% случаев лучше отображает пространственные тренды. Таким образом, анализ показал целесообразность использования именно выбранных оптимальных наборов моделей для каждого отдельного фактора и моря, а не один общий набор моделей.

В дальнейшем по данным выбранных оптимальных моделей будет выполнен анализ трендов и характера изменений факторов, определяющих глубоководную конвекцию в арктических морях в 21 веке.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-17-01151).

МАКЕТ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ВОЗДУШНОГО МОНИТОРИНГА ЗОНЫ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ И РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНОЙ ОТРАБОТКИ

Григорьев А.Н., Попович В.В., Смирнова О.В.

*АО «СПИИРАН-НТБВТ», г. Санкт-Петербург, Россия
sov@oogis.ru*

Ключевые слова: информационное обеспечение, береговая линия, дистанционное зондирование, воздушное судно, оптико-электронный комплекс, цифровая модель местности.

Информационное обеспечение, требующееся для решения широкого перечня прикладных задач в отраслях судоходства, морской навигации, гидрографии и других направлений социально-экономической и научной деятельности, основывается на актуальных пространственных данных, достоверно отражающих обстановку в зоне береговой линии. Базовый компонент таких данных представляет собой модель местности, включающей модель рельефа суши/дна и описание объектовой обстановки.

Технологии получения интересующих данных основываются на методах дистанционного зондирования с подвижного носителя, в качестве которого с учетом пространственных свойств объекта мониторинга – зоны береговой линии и требований к детальности информации следует рассматривать воздушное судно. В общем случае зона береговой линии представляет собой протяженный криволинейный объект. Эффективный сбор данных о таком объекте со сверхвысоким пространственным разрешением (на уровне единиц сантиметров) в настоящее время возможен только с воздушного судна. В свою очередь, в качестве средств сбора пространственных данных целесообразно рассматривать оптико-электронные средства, основанные на пассивных и активных методах измерения параметров подстилающей поверхности в определенной полосе захвата.

В докладе рассматривается концепт оптико-электронного комплекса, обеспечивающего получение цифровой модели местности, включающей карту высот и ортофотоплан местности в пределах интересующей зоны. Основные компоненты комплекса представлены следующими блоками: блок цифровых фотокамер, блок лазерного батиметрического дальномера, блок навигации, блок управления комплексом и контроля его функционирования. Излагаются основные принципы выбора оптико-электронных компонентов или обоснования их технического облика для конкретных условий применения.

Блок цифровых фотокамер реализует пассивную регистрацию изображений подстилающей поверхности в условиях естественного освещения. Цифровые фотокамеры основаны на крупноформатных матричных приемниках с соответствующими оптическими системами и обеспечивают ведение маршрутной кадровой съемки с заданным продольным перекрытием. Обработка данных

от блока цифровых фотокамер обеспечивает получение карты высот и ортофотоплана местности на участок суши и мелководья зоны береговой линии.

Блок лазерного батиметрического дальномера предназначен для реализации активного метода дистанционного зондирования – технологии LIDAR (Light Identification Detection and Ranging), обеспечивающей получение данных о рельефе местности, в том числе рельефа дна водоема в ограниченном диапазоне глубины. В настоящее время такой подход является наиболее устойчивым к оптическому качеству водной толщи по сравнению с альтернативными пассивными методами оценивания глубины водоема, например, по данным гиперспектральной съемки.

Блок навигации основан на использовании приемника ГНСС и предназначен для получения и регистрации пространственных координат воздушного судна в процессе функционирования блоков с оптико-электронной аппаратурой. В свою очередь, блок управления комплексом и контроля его функционирования обеспечивает выбор режимов работы других блоков, а также контроль их показателей и выполнение плана съемочных работ.

В докладе демонстрируются результаты натурной отработки блоков рассматриваемого макета оптико-электронного комплекса и приводятся оценки качества полученных данных.

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОРОСОВ В РОССИЙСКОЙ АРКТИКЕ

Гузенко Р.Б., Харитонов В.В., Хотченков С.В.

*ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
guzenko@aari.ru*

Ключевые слова: торос, морфометрия, внутренняя структура, физико-механические свойства, комплексное исследование.

Торосы являются характерными для арктических морей элементами ледяного покрова. Их исследование необходимо для

лучшего понимания роли природных механизмов в формировании крупных ледяных образований (ЛО) и адекватного учета их основных параметров в моделировании процессов в ледяном покрове. Кроме того, определение морфометрических и прочностных характеристик торосов необходимо для оценки возможных нагрузок на объекты морской инженерной инфраструктуры, что, при всевозрастающей хозяйственной деятельности на шельфе российских морей, в последние годы особенно актуально.

В настоящее время основным инструментом для исследования морфометрии и внутренней структуры крупных ЛО (торосов и стамух) является разработанная в 21 веке в ААНИИ под руководством В.А. Морева технология термобурения с записью скорости бурения на электронный носитель, осуществляемая с помощью установки водяного бурения льда УВБЛ-2. Эта технология позволяет получить основные морфометрические параметры ЛО с высокой точностью и продуктивностью. Начиная с 2001 г., данная технология успешно применялась в экспедиционной деятельности ААНИИ в Каспийском, Охотском, Карском, Лаптевых и Восточно-Сибирском морях. Анализ записей скорости бурения, получаемых с помощью этой технологии, позволяет разбивать внутреннюю структуру льда в каждой скважине на 3 типа слоев (твердый лед, рыхлый лед, пустота) с точностью по глубине 1 см и в результате определять основные параметры внутреннего строения тороса – границы и толщину консолидированного слоя (КС), пористость. КС является ключевой характеристикой ЛО для определения возможной нагрузки на морское сооружение.

Помимо получения морфометрических характеристик, определяются физико-механические свойства льда, слагающего торос. Производится взятие кернов льда, анализ которых позволяет определять текстуру и получать распределение температуры, солености и плотности льда в толще тороса. Определяется локальная прочность льда посредством изготовленного в ААНИИ зондиндентора. Кроме того, с помощью полевой испытательной машины ПИМ–200М проводится измерение прочности круглых пластин льда, выпиленных из керна, на изгиб.

Метод водяного термобурения с записью скорости бурения на электронный носитель незаменим в изучении внутренней струк-

туры торосов. Однако в определении некоторых внешних морфометрических характеристик тороса он не является достаточным. Поэтому одновременно с термобурением проводятся тахеометрическая и гидролокационная съемки соответственно верхней и нижней поверхностей тороса. Кроме того, производится видеосъемка кия тороса с помощью телеуправляемого подводного аппарата. Результаты этих съемок позволяют определить максимальную осадку кия наиболее достоверно, а также построить 3D-модели ледяного образования и определить объемы надводной и подводной частей тороса. С учетом пористости, определенной по данным термобурения, можно оценить массу тороса.

Обширный объем данных по морфометрии и физико-механическим свойствам льда (только в 2013–2017 гг. в морях российской Арктики нами было подробно изучено около 150 торосов), полученных комплексом методов, позволяет делать выводы в данных областях достаточно обоснованно.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 18-05-60109.

ИЗМЕНЕНИЯ, ПРОИСХОДЯЩИЕ В ГИДРОЛОГИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ ВОД БАРЕНЦЕВА И КАРСКОГО МОРЕЙ ПРИ СОКРАЩЕНИИ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА

Даньшина А.В.

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

Ключевые слова: гидрофизический режим, море, Баренцево море, Карское море, реконструированные термохалинные поля, плотностная устойчивость.

Данное исследование построено на использовании реконструированных полей гидрофизических параметров изучаемых морей Северного Ледовитого океана. Эти данные были получены в ходе проведения численных экспериментов на региональной конфигурации модели NEMO (The Nucleus for European Modelling of the

Ocean) с высокой пространственной дискретизацией после ее адаптации под условия Арктического региона.

Оценка изменений, происходящих в структуре водных масс Баренцева и Карского морей при сокращении ледяного покрова, производилась путем сравнения термохалинных полей разных по ледовому режиму лет («холодные» – 2003 и 2004 гг. и «теплые» – 2007, 2012, 2016 гг.). Так, проведенный анализ изменений, происходящих в структуре термохалинных полей, показал увеличение притока в акваторию Баренцева моря вод атлантического происхождения и подтвердил теорию «атлантификации» вод.

По реконструированным термохалинным полям произведены расчеты частоты Брента – Вейселя и критериев вертикальной устойчивости вод. Приведены количественные и качественные оценки изменений величины квадрата частоты Брента – Вейселя в верхнем слое морей. На выбранных разрезах, направленных от открытой части моря к береговой линии, в исследуемых морях показаны основные тенденции, наметившиеся в распределении вертикальной устойчивости вод в мягкие по ледовому режиму годы.

СЕМЬДЕСЯТ ЛЕТ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ У КАВКАЗСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ЧЕРНОГО МОРЯ

Дбар Р.С.², Марколия А.И.¹, Сизов И.И.¹

¹ГНПО «СФТИ», г. Сухум, Республика Абхазия

²ИЭАНА, г. Сухум, Республика Абхазия
siziv@yandex.ru

Ключевые слова: гидрофизика, гидролокация, подводный звуковой канал, звуковое поле, морская реверберация, рыболокация, параметрическая антенна, подводные дома.

День высадки на территории Сухумского мыса отряда Восточно-Черноморской экспедиции Акустической лаборатории ФИАН, возглавляемого д.т.н., профессором Ю.М. Сухаревским, 1 октября 1948 г. считается датой образования Гидрофизического

института Академии наук Абхазии (ГИАНА) – ныне Института экологии АН Абхазии (ИЭАНА). На безлюдном мысу, отличающемся уникально крутым углом наклона дна (до 26°), была создана стационарная гидроакустическая экспериментальной база, основной задачей которой было исследование законов формирования звуковых полей в океане.

Выполнялись исследования отражательной способности надводных кораблей и подводных лодок, их кильватерных струй. Впервые были поставлены эксперименты по изучению в условиях Черного моря подводного звукового канала (ПЗК) и эффекта дальних зон акустической освещенности, что обеспечило возможность дальней гидролокации. Расширялся и круг научных задач – начались исследования по морской реверберации, по рассеянию звука морским грунтом, исследования шумовых полей кораблей и лодок.

В 60-х гг. у нас появились новые научные направления: акустическая классификация морских целей, пассивная локация, исследования по рыбопромысловой гидроакустике. За рубежом, в частности, во Франции и США, в это время начали активно создаваться технические средства для освоения морских глубин. В СССР практически одновременно создавались сразу три подводных дома-лаборатории: в Сухуме – серия подводных домов «Садко» (1966 г.), «Садко-1» (1967 г.) и «Садко-2» (1968–1970 гг.); в Крыму – «Ихтиандр» (1966–1967 гг.); в Геленджике, Голубая бухта – «Черномор» (1968–1969 гг.).

В 1979–1980 гг. нам были переданы два научно-исследовательских судна – «Вектор» и «Модуль». Были проведены исследования в 13 научных экспедициях в различных районах Северного Ледовитого, Тихого и Атлантического океанов.

В 2015–2016 гг. в акватории ГИАНА проходили натурные испытания разработанного в Акустическом институте экспериментального образца мощной параметрической антенны (ПА).

Одной из задач, решаемых с помощью параметрической антенны, является акустический мониторинг холодного промежуточного слоя (ХПС) в Черном море. Характеристики ХПС представляют большой интерес для океанологов и экологов, поскольку он определяет положение глубинных сероводородных

вод, т. е. толщину верхнего деятельного слоя, в котором создаются благоприятные условия для растительного и животного мира.

Предполагается в дальнейшем демонстрация применения развитых принципов дистанционного акустического мониторинга акватории Черного моря на трассах Сухум – Кодор, а в перспективе – Сухум – Крым.

В 2018 г. было принято решение Правительства Республики Абхазия об объединении ГИАНА и ИЭАНА. Главной задачей Института экологии, как правопреемника Гидрофизического института, стало проведение фундаментальных и прикладных исследований в области экологии, биологии, геоэкологии, геофизики, гидрофизики.

ОТКЛИК РЕЧНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ВОДНОГО БАЛАНСА ВОДОСБОРА ВИСЛИНСКОГО ЗАЛИВА (БАЛТИЙСКОГО МОРЯ) НА МНОГОЛЕТНИЕ И ВНУТРИГОДОВЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ

Домнин Д.А., Чубаренко Б.В.

*ИО РАН, г. Москва, Россия
dimanisha@gmail.com*

Ключевые слова: Вислинский залив, климатические изменения, водосбор реки, водный баланс, численное моделирование.

В течение XXI века в пределах бассейна Балтийского моря ожидается увеличение температуры в среднем на 3–5 °С, причем в зимний период это увеличение может достигать до 4–6 °С. Для всего водосбора Балтийского моря предполагается увеличение количества осадков на 20–70% в зависимости от местоположения и сезона года. В связи с этим, климатические изменения не могут не отразиться на пресноводной составляющей водного баланса как всего Балтийского моря, так и отдельных его частей. В работе сделана оценка возможных изменений речного стока с территории водосбора Вислинского залива в результате изменений температуры и осадков с использованием инструментов математического моделирования.

Вислинский залив является трансграничным внутренним морским водоемом, расположенным в юго-восточной части Балтийского моря. Площадь его водосбора составляет 23 тыс. км². Поскольку величина испарения фактически равна выпадающим осадкам, можно считать, что основным источником пресных вод залива являются впадающие в него реки.

Расчет стока воды, поступающей с водосборной поверхности, проведен с помощью модели HYPE (HYdrological Predictions for the Environment), разработанной Шведским гидрометеорологическим институтом (SMHI). Модель рассчитывает временной ход величины стока в замыкающих створах системы суббассейнов с учетом метеорологических параметров и физических свойств водосбора. Модель откалибрована на фактических данных 1981–2015 гг.

Для оценки отклика речного стока на возможные климатические изменения использованы данные прогнозных метеорологических параметров температуры и осадков для периода 1981–2098 гг. (SMHI). Для моделирования использовано 4 набора данных (температура и осадки): RCAO + HadCM3 в сценарии A1B; RCAO + ECHAM5-r1 в сценарии A1B; RCAO + ECHAM5-r3 в сценарии A1B; RCAO + ECHAM5-r1 в сценарии A2.

В современных условиях диапазон значений среднегодового слоя стока с водосбора Вислинского залива изменяется от 140 до 340 мм, при этом минимальные значения характерны для верховьев бассейна, а максимальные – для близустьевых зон. Притом, что из 760 мм осадков 530 мм возвращается в атмосферу путем испарения, 230 мм стекает в виде поверхностного стока.

Расчеты перспективных изменений речного стока с анализируемого водосбора показывают, что при условии постоянного роста температуры и количества осадков средний декадный расход имеет существенные колебания, но во всех модельных проекциях в среднем за исследованный период наблюдаются чередующиеся периоды роста и снижения расхода воды. Среднегодовой расход стока за период 1981–2098 гг. колеблется от 2,4 км³/год (HadCM3-A1B) до 2,8 км³/год (ECHAM5-r1-A1B). В разных сценариях кумулятивный расход с территории водосборного бассейна р. Преголи за период 1981–2098 гг. составил от 290 до 330 км³.

Таким образом, даже если температура воздуха и осадки значительно увеличатся в связи с климатическими изменениями, можно сказать, что увеличение речного стока с водосбора будет практически отсутствовать. Такая неожиданная реакция поверхностного стока воды может быть обусловлена увеличением испарения с водосбора.

ЭЛЕМЕНТЫ МОРСКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ В КУРШСКОМ И ВИСЛИНСКОМ ЗАЛИВАХ

Домнина А.Ю.^{1, 2}, Домнин Д.А.¹

¹ИО РАН, г. Москва, Россия

²БФУ, г. Калининград, Россия,

annasta_sea@mail.ru, dimanisha@gmail.ru

Ключевые слова: морское пространственное планирование, Калининградская область, Куршский залив, Вислинский залив.

Куршский и Вислинский заливы являются трансграничными акваториями между Россией (в пределах Калининградской области) и Литвой и Польшей соответственно. Они играют важную роль в использовании как самого водного пространства, так и прилежащих к ним прибрежных территорий (туризм и рекреация, рыболовство, судоходство и пр.). В последнее десятилетие совместное использование акваторий и территорий становится интенсивнее, и рост интереса к этим водным объектам будет расти, что приведет к возникновению конфликтов между пользователями. Инструментом предотвращения конфликтов и урегулирования природопользования в морской среде, получения выгод от совмещения различных видов использования и природных условий акваторий является морское пространственное планирование, активно применяемое в ряде развитых стран. В России оно пока не используется и развивается лишь на уровне научных исследований. В акваториях российской части Юго-восточной Балтики исследования в области морского пространственного планирования проводились в рамках ряда проектов.

Исторически управление деятельностью в пределах акватории и прилегающей территории осуществлялись органами исполнительной власти, ответственными за различные отрасли хозяйства, существовало административное управление. В современных условиях использование Вислинского и Куршского заливов должно быть комплексным, с учетом не только государственных и региональных границ, но и целостности и взаимного влияния экосистем, акваториальных и территориальных видов использования между собой. Кроме того, в управлении необходимо учитывать связь Вислинского и Куршского заливов посредством внутренних водных путей, важных для развития туристско-рекреационной отрасли Калининградской области.

Одними из элементов морского пространственного планирования являются построение планов существующего и планируемого использования акватории и оценка совместимости видов использования между собой и природными условиями.

Для оценки использовались три уровня конфликтности, которые отличаются степенью совместимости видов природопользования между собой и природными условиями: бесконфликтная, слабо конфликтная и потенциально конфликтная совместимость.

В целом, акватории заливов Калининградской области и прибрежная территория интенсивно используется, что неизбежно приводит к конфликтам интересов природопользователей. При этом каждый муниципалитет развивается в рамках ведомственных, целевых или локальных программ, зачастую отдельно друг от друга. В результате растет антропогенная нагрузка на акватории и прибрежные территории. Кроме того, в последние годы стали видны последствия климатических изменений – увеличение количества экстремальных погодных явлений (шторма, ливни и засухи).

В результате внедрение морского (акваториального) пространственного планирования является одной из необходимых мер по улучшению использования акваторий и прибрежной зоны в экономической, социальной и экологической сферах.

Настоящая работа подготовлена при поддержке проекта Interreg BSR Capacity4MSP.

ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ МОРСКОЙ СРЕДЫ

Дыкман В.З., Воликов М.С., Безгин А.А.,
Литвиненко С.Р., Юркевич Н.Ю.

МГИ, г. Севастополь, Россия
zaharovich_41@mail.ru

Ключевые слова: автономные информационно-измерительные системы, дрейферные технологии, оперативный контроль, системы энергоснабжения.

Автономные информационно-измерительные системы (ИИС), к которым относятся и буйковые системы оперативного контроля морской среды, получили в последнее время широкое распространение в различных областях производственной и научной деятельности человека. Автономные ИИС представляют собой совокупность средств измерений, вспомогательных устройств, источников электрической энергии и каналов связи. В настоящем докладе рассматриваются особенности энергоснабжения автономных систем оперативного контроля морской среды.

Энергоснабжение таких систем имеет свои особенности, связанные с удаленностью от обслуживающего персонала или полной недоступности системы при ее свободном дрейфе в море или на льду. Особенно это относится к устройствам дрейферной технологии, разрабатываемых в Морском гидрофизическом институте РАН и производимых ООО «Марлин Юг» (<https://marlin-yug.com/ru/home/>). Время функционирования таких устройств может составлять от года до нескольких лет с полным сохранением своих эксплуатационных характеристик.

Возможно размещение в корпусе дрейфера такого количества батарей, чтобы со значительным запасом обеспечить необходимое энергоснабжение. Такой подход увеличивает стоимость такого необслуживаемого теряемого прибора и риск загрязнения морской среды при его затоплении. Выход заключается в использовании устройств извлечения энергии из окружающей среды,

что обеспечит функционирование намного дольше, чем при питании от различных электрохимических источников тока: батарей, аккумуляторов и др. Следовательно, без применения систем извлечения энергии из окружающей среды невозможно создать оптимальную, по соотношению стоимость – качество, конструкцию разрабатываемого устройства, обеспечивающего длительное функционирование без обслуживания.

Такая система энергоснабжения использована в спутниковом фоторегистраторе «Гонец», разработанном в рамках гранта УМНИК НТИ MariNet (договор № 11591ГУ/2017). Для обеспечения начала функционирования фоторегистратора и добавку электроэнергии, когда система усвоения энергии окружающей среды не может полностью обеспечить устойчивую работу фоторегистратора, служит резервная батарея щелочных элементов (Duracell D (LR20) MN1300), имеющая большой срок хранения, малые токи саморазряда и рабочую температуру до -40°C . Два устройства усвоения энергии окружающей среды – солнечная панель и электромагнитный преобразователь передают электроэнергию на инвертор, обеспечивающий ее преобразование до уровня достаточного для заряда буферного устройства, а также защиту его от перезаряда. В качестве буфера могут быть использованы суперконденсаторы и аккумуляторы. Солнечная панель и электромагнитный преобразователь выбраны: первая как наиболее доступная и достаточно энергоэффективная, а вторая как наиболее энергопроизводительная, когда речь идет не о микроминиатюрном исполнении.

Щелочные элементы Duracell резервной батареи, как и большинство электрохимических источников тока, при низких температурах имеют значительно сниженную энергоотдачу, особенно при больших токах нагрузки за счет увеличения внутреннего сопротивления. Для минимизации этого эффекта применена система энергоснабжения всех блоков устройства, потребляющих значительные токи, от буфера, заряжаемого в паузах работы малыми токами от батарей или систем извлечения энергии из окружающей среды. Результаты сравнительных испытаний систем энергоснабжения без буфера и с буфером подтвердили высокую эффективность такого метода – длительность непрерывной работы увеличилась почти в три раза.

ОЦЕНКИ СТОКОВ АЗОВО-СИВАШСКИХ ВОД В ПРОЛИВЕ ТОНКОМ

Ерёмина Е.С.¹, Евстигнеев В.П.^{2,3}

¹МГИ, г. Севастополь, Россия

²Севастопольский ЦГМС, г. Севастополь, Россия

³СевГУ, г. Севастополь, Россия

shchurova88@gmail.com

Ключевые слова: водный баланс, водообмен, пролив Тонкий, Сиваш, Азовское море, расходы.

В данной работе был проведен анализ расходов воды в проливе Тонком в период с 1966 по 2010 гг., рассчитанных по данным уровня, направления и скорости ветра на метеостанции в Геническе (координаты станции 46°10' с. ш. 34°49' в. д.).

Расчет расходов Азово-Сивашских вод через Тонкий пролив осуществлялся по методике Ю.Г. Слатинского. Были рассчитаны среднемесячные и среднегодовые величины стока азовских и сивашских вод в проливе Тонком.

За весь исследуемый промежуток времени сохраняется преобладание азовских вод над сивашскими. Водообмен в проливе Тонком имеет сезонные особенности, максимум стока азовских вод в Сиваш приходится на апрель – май и совпадает по времени с периодом наивысшего подъема уровня в Азовском море, минимальный приток в Сиваш отмечается в сентябре. Наибольший сивашский сток наблюдается в осенние месяцы, максимум приходится на октябрь.

Среднегодовой приток азовских вод в Сиваш в период 1966–2010 гг. составил 1,75 км³, а отток сивашских вод – 0,08 км³. Численные оценки близки к значениям, полученным Ю.Г. Слатинским для притока вод в Сиваш (1,7 км³ азовских вод), однако не совпадают с величиной оттока Сивашских вод (0,26 км³).

В работе была адаптирована, алгоритмизирована и внедрена методика расчета расходов в проливе Тонком по архивным дан-

ным гидрометеорологических наблюдений. Полученные значения стоков могут использоваться в воднобалансовых расчетах для залива Сиваш.

Работа выполнена в рамках темы 0827-2019-004 «Прибрежные исследования».

МОРФОДИНАМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ БЕРЕГОВ ЧЕРНОГО И АЗОВСКОГО МОРЕЙ

Ермолов А.А.¹, Игнатов Е.И.¹, Кизяков А.И.¹, Илюшин Д.Г.²

¹МГУ, г. Москва, Россия

*²ЦМИ МГУ, г. Москва, Россия
alexandr.ermolov@gmail.com*

Ключевые слова: морские берега, геоморфология, динамика, типизация, районирование, прогноз развития.

В XXI веке исследования береговой зоны Азово-Черноморского региона приобрели особое значение в связи с решением транспортных проблем в Керченском проливе, строительством объектов инфраструктуры зимней олимпиады 2014 г. в Сочи, модернизацией и строительством портов и судоходных каналов, берегозащитных сооружений, развитием рекреационного комплекса крымского и кавказского побережья.

Настоящая работа направлена на обобщение и уточнение сведений о геоморфологическом строении и современном развитии рассматриваемых берегов. С этой целью была выполнена морфодинамическая типизация и районирование береговой зоны с использованием большого объема картографических, спутниковых и литературных данных, материалов экспедиционных исследований и пр.

В основу морфодинамической типизации были положены известные классификации берегов внутренних и окраинных морей, учитывающие региональные природные особенности, технические и функциональные отличия берегозащитных сооружений.

Наряду с морфологическими и динамическими характеристиками конкретного отрезка берега учитывалось влияние техногенных, геологических, флювиальных и гидрометеорологических факторов, которые определяют условия развития берега не в меньшей степени, чем волнение, а в отдельных случаях превосходят его. Это имеет особенное значение на рассматриваемых берегах, значительная часть которых претерпела кардинальные изменения под влиянием хозяйственной и рекреационной деятельности человека.

Масштаб исследования 1:100000 – 1:500000 позволил весьма подробно охарактеризовать берега рассматриваемой части Черного и Азовского морей, хотя и не исключил некоторых обобщений вследствие сложности самого объекта и необходимости генерализации данных при картографировании.

Было выделено три основные группы берегов – выработанные в коренных породах, сложенные осадочными отложениями и техногенные, образованные проницаемыми и непроницаемыми искусственными сооружениями, а также искусственными (пополняемыми) песчаными и галечными пляжами. Всего выделено 16 типов берегов, распространение и протяженность которых весьма неравномерны. Это обусловлено различиями геолого-геоморфологического и структурно-тектонического строения побережий и связанными с ними условиями развития береговых процессов в голоцене, формированием бюджета наносов береговой зоны и локальными неотектоническими движениями, во многом предопределившими современные очертания контура береговой линии.

Несмотря на широкое развитие абразионных процессов в российской части побережья преобладают берега аккумулятивного типа, протяженность которых составляет около 1600 км (включая береговую линию Сивашской лагуны). Абразионные и абразионно-денудационные берега в коренных породах имеют протяженность порядка 430 км, в рыхлых отложениях – 820 км. Большую протяженность имеют антропогенные берега, на долю которых приходится около 460 км. Из них почти 260 км занимают искусственные галечные и песчаные пляжи с наносоудерживающими сооружениями. Берегоукрепительные конструкции и вол-

ногающаяся полоса нередко находятся в неудовлетворительном состоянии, многие из них не выполняют свою функцию, сильно деформированы или полностью разрушены.

Работы выполнены в рамках договора между Фондом «НИР» и ДНТРИИ № 1000018/08065Д от 29.12.2018, тема ГЗ АААА-А16-116032810055-0, АААА-А16-116032810095-6.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ БЕРЕГОВ ЧЕРНОГО И АЗОВСКОГО МОРЕЙ К РАЗЛИВАМ НЕФТИ

**Ермолов А.А.¹, Илюшин Д.Г.²,
Кизяков А.И.¹, Михайлюкова П.Г.^{1,2}**

¹МГУ, г. Москва, Россия

²ЦМИ МГУ, г. Москва, Россия

alexandr.ermolov@gmail.com

Ключевые слова: береговая зона, разливы нефти, экологическая чувствительность, геоморфологический анализ, районирование.

Загрязнение морских берегов нефтью и нефтепродуктами представляет большую опасность с эколого-геологической точки зрения из-за изменения всего комплекса свойств грунтов, определяющих экологические функции литосферы в пределах пораженного участка. Период естественного самоочищения на берегах может быть заметно увеличен в результате захоронения нефти в крупнообломочных отложениях с высокой проницабельной способностью или в случае перекрытия загрязнения осадками в областях интенсивного разрушения берегов, а также их аккумуляции на участках с низкой гидродинамической активностью среды.

На густонаселенных побережьях Черного и Азовского морей с большой протяженностью рекреационных зон и территорий с особым природоохранным статусом ущерб, нанесенный окружающей среде за время нахождения нефти на берегу, может быть особенно значительным. Поэтому быстрое и максимально полное

устранение загрязнения является необходимым условием безопасности природных экосистем, особенно в береговой зоне. Крайне неоднородное строение последней и разнообразные гидродинамические условия функционирования берегов определяют необходимость оценки их экологической чувствительности к разливам нефти и нефтепродуктов.

С учетом опыта аналогичных работ на берегах арктических морей применялся эколого-геоморфологический подход, основанный на международной системе индексов чувствительности окружающей среды ESI (Environmental Sensitivity Index) и комплексном анализе геолого-геоморфологических и гидродинамических условий функционирования береговых систем. Источниками информации о берегах послужили литературные, картографические и дистанционные данные, материалы полевых исследований и пр.

В качестве основы экологической типизации использовалось морфодинамическое районирование береговой зоны. Учитывались открытость побережья волнению и литология пород, слагающих береговую зону, особенности взаимодействия нефти с различным субстратом, возможность естественного захоронения нефти и перемещения грунта, предполагаемые способы устранения загрязнения. Детальный анализ проводился в рамках отдельных литодинамических систем или отрезков берега, обладающих схожей морфологией и литологией.

Всего на побережьях российского сектора Черного и Азовского морей выделено 16 типов берегов с различным уровнем экологической чувствительности. Наименее чувствительные (индексы ESI 1 и 2) к нефтяному загрязнению абразионные и абразионно-денудационные берега, выработанные в коренных породах, занимают около 430 км или порядка 13% протяженности береговой линии. Наиболее чувствительные (индексы ESI 9 и 10) аккумулятивные приустьевые и дельтовые берега с обширными отмелями и мелководьями (165 км) в совокупности с лагунно-бухтовыми берегами заливов с широким распространением защищенных мелководий (260 км) и ветровых осушек (590 км) составляют около 30% береговой линии. Результаты оценки представлены в виде карт (1:800000) экологической чувствительно-

сти, которые отражают экспертную оценку и определяют приоритеты защиты прибрежных районов при планировании и проведении мероприятий по ликвидации разливов нефти в случае их возникновения.

Работы выполнены в рамках договора между Фондом «НИР» и ДНТРИИ №1000018/08065Д от 29.12.2018, тема ГЗ АААА-А16-116032810055-0, АААА-А16-116032810095-6.

СЖАТИЕ СИГНАЛА ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ В ПОДВОДНОМ ЗВУКОВОМ КАНАЛЕ В МЕЛКОМ МОРЕ

Есипов И.Б.^{1,2}, Попов О.Е.³, Солдатов Г.В.⁴

¹РГУ нефти и газа (НИУ), г. Москва, Россия

²АКИН, г. Москва, Россия

³ИФА РАН, г. Москва, Россия

⁴ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия

igor.esipov@mail.ru

Ключевые слова: параметрическая антенна, подводный звуковой канал, мелкое море.

Обсуждаются результаты экспериментального исследования применения параметрической антенны для возбуждения частотно-модулированным акустическим сигналом подводного звукового канала в мелком море. Акустический сигнал длительностью 1 мсек генерировался параметрической антенной в частотном диапазоне 7–15 кГц. Высокая направленность излучения параметрической антенны обеспечивала одномодовое возбуждение подводного звукового канала в мелком море во всем частотном диапазоне. Показано, что частотно модулированный сигнал меняет свою форму при распространении в волноводе из-за волноводной дисперсии. Экспериментально наблюдалось сжатие частотно модулированного сигнала при распространении в мелком море. Сигнал имел направленность 2° при дальности распространения до 500 толщин волновода. Сжатие широкополосного сиг-

нала в волноводе повышает соотношение между сигналом и шумом, тем самым повышает эффективность акустического зондирования мелкого моря. Обсуждается эффективность применения параметрических антенн для создания виртуальных акустических рубежей в мелком море.

МЕЗОМАСШТАБНЫЕ ПРОЦЕССЫ В АТМОСФЕРЕ ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА

Ефимов В.В.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
vefim38@mail.ru*

Ключевые слова: атмосферный пограничный слой, мезомасштабные процессы, численное моделирование, Черноморский регион.

Известно, что в атмосферном пограничном слое (АПС) Черноморского региона с его сложной орографией, неоднородностями подстилающей поверхности, тепловыми контрастами суша – море развивается широкий спектр мезомасштабных процессов. К ним относятся бризовая циркуляция, различного рода горные ветры в прибрежных районах моря, такие как бора, мезомасштабные вихри и некоторые другие. В то же время их пространственно-временная структура на пространственных масштабах 0,3–10 км и временных масштабах часы – сутки до настоящего времени изучена недостаточно. Синоптические карты имеют для этого недостаточное разрешение, и почти единственным источником информации могли служить данные дистанционных измерений приводного ветра, таких как QuikSCAT. Однако хотя их пространственное разрешение (~10 км) достаточно высокое для исследования мезомасштабных неоднородностей поля скорости ветра, но непосредственно вблизи берега данные о приводном ветре искажены, а их временное разрешение, зависящее от повторяемости зондирований в данном регионе моря, не позволяет изучать временную изменчивость мезомасштабных структур.

Численное моделирование с использованием современных моделей региональной атмосферной циркуляции позволяет рассчитывать основные атмосферные характеристики с высоким пространственным (до 100 м) и временным разрешением. Нами использована модель WRF (ARF-WRF версии 3.1), адаптированная к региону Южного берега Крыма с учетом особенностей орографии с высоким пространственным разрешением (до 100 м) и мелкомасштабными особенностями очертаний береговой черты и свойств почвы. Модель достаточно хорошо известна, поэтому не будем останавливаться на схемах параметризации физических процессов, которые выбирались в зависимости от вида воспроизводимых атмосферных процессов. Как правило, использовалась конфигурация модели WRF с четырьмя вложенными доменами с шагом сетки по горизонтали 9; 3; 1; 0,333 км и 49 неравномерно расположенными уровнями по вертикали. Для некоторых задач, например, моделирования конвекции в АПС при вторжении холодного воздуха в атмосферу Черноморского региона, разрешение во внутреннем домене составляло 100–200 м и выбиралась схема LES (Large Scale Simulation) моделирования. Входными являлись данные оперативного анализа FNL (Global Final Analyses) с разрешением $0,5^\circ \times 0,5^\circ$. Использовалась база данных рельефа SRTM с дискретностью около 90 м, в которой для некоторых точек на крутых склонах Крымских гор возникали значительные перепады высот. Поэтому для устойчивости численной схемы применялась процедура сглаживания в окрестности таких точек.

Особенностью региона являются Крымские горы, вызывающие орографические возмущения в нижней части атмосферы, а для летнего периода характерна бризовая циркуляция, связанная с суточным циклом тепловых контрастов между морем и сушей. Причем, в отличие от обычных, достаточно хорошо изученных морских (дневных) и сухопутных (ночных) бризов, бризы над Крымом развиваются в сухопутной области, со всех сторон окруженной морем. При этом наличие Крымских гор существенно меняет структуру бризовой циркуляции в области южного берега Крыма.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ЗОНДИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕРЯЕМЫХ МЕЛКОМАСШТАБНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ

Ефремов О.И., Чухарев А.М.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
efremov39@list.ru*

Ключевые слова: конструкция зонда, методика зондирования, присоединенная масса, характерные выбросы.

Специальная обработка данных гидрологического зонда SBE 32C и тонкоструктурного зонда «Сигма» позволяет выявить детали поведения присоединенной массы, которые сказываются на результатах зондирования.

Зонд SBE 32C имеет силовую кабель-тросовую связь с судном и конструктивные размеры порядка 1,3 м по вертикали и 1 м в диаметре. Частота съема данных составляет 24 Гц. Контролируемое снижение скорости опускания зонда с 0,7 м/с до 0,35 м/с приводит к появлению на профилях температуры и электропроводности характерных выбросов, которые могут быть интерпретированы как результат перестройки, сопровождающей зонд присоединенной массы жидкости, движущейся некоторое время с прежней скоростью и воздействующей на датчики, расположенные в нижней части конструкции.

Аналогичным образом могут быть объяснены похожие выбросы, появляющиеся после полной остановки прибора. Для расположенного горизонтально аппаратурного контейнера этого зонда расчеты дают значение присоединенной массы в объемном выражении порядка сорока литров. Это означает, что большие количества воды сопутствуют колебаниям погружного устройства, вызываемым качкой судна, и в результате могут появляться специфические помехи для измерений на метровых масштабах.

В качестве некоторого предварительного результата можно сделать вывод, что временная продолжительность выбросов со-

ставляет примерно одну секунду, а их пространственное «запаздывание» по отношению к неискаженной части профиля сравнимо с вертикальным размером зонда.

Зонд «Сигма» является более тонким и длинным, и в силу этого его присоединенная масса по направлению движения очень мала, в объемном выражении менее одного литра. Кроме того, по методике зондирования скорость опускания прибора практически постоянна, и в результате помехи на профилях измеряемых параметров отсутствуют. Вместе с тем, анализ данных, полученных при остановке зонда и начале его подъема, может оказаться полезным для оценки возможных динамических искажений на профилях солености и плотности.

Показательным является фрагмент записи канала температуры при нештатном использовании прибора. На глубине 27,5 м процесс зондирования заканчивается, и примерно в течение 3,5 с прибор задерживается на этом горизонте. Наблюдаемое повышение температуры в первые полторы секунды после остановки может быть интерпретировано как результат инерционного движения присоединенной массы, в дальнейшем этот процесс прекращается. Возможной причиной может служить то обстоятельство, что слой присоединенной жидкости здесь является слишком тонким и легко разрушается.

Дополнительный всплеск температуры в начале подъема соответствует массе воды, связанной в момент остановки с тормозящим хвостовым оперением зонда. Скорость перемещения этой части присоединенной массы согласуется со скоростью зондирования.

Обнаруженные особенности поведения присоединенной массы разнотипных зондов требуют некоторого уточнения имеющихся концепций движения погруженных тел в жидкости.

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ ИНСТИТУТА – ЛОКАЛИЗАЦИЯ И ЗАЩИТА

Жемков Е.И., Мартынов М.В., Инюшина Н.В.

МГИ, г. Севастополь, Россия
acs_group@mail.ru

Ключевые слова: компьютерная сеть, ресурсы сети, сервера.

Компьютерная сеть, созданная в институте, гарантирует поступательное развитие и поддержание единой информационной среды, обеспечивающей научную деятельность, что предполагает надежный доступ на высокой скорости к общим ресурсам сети, защиту от Интернет-угроз.

Основные направления развития локальных компьютерных сетей – увеличение объемов хранения, скоростей передачи и обработки данных, защиты от несанкционированного доступа. Анализируются методы решения этих задач в МГИ и их перспектива.

I. Общие ресурсы сети института.

- 1 Общий ресурс – доступ к сети Интернет.
- 2 Вычислительные сервера для параллельных вычислений.
- 3 Сервера доступа из Интернет к информации, предоставляемой институтом внешним пользователям.
- 4 Сервера для обмена и хранения данных локальными пользователями, предоставления им справочной информации.

II. Скорость и надежность доступа к ресурсам по сети выросла в 10 и более раз, все сотрудники переведены на Gigabit Ethernet, на наиболее загруженных магистралях внедрен 10 Gb.

III. Защита ресурсов в локальной сети. Организована защита на уровне рабочих групп и рабочих мест, требующих полной изоляции. Доступ к серверам получают только те пользователи, которым эти сервера необходимы. Выросла защита сетей института на уровне периметра – прежде всего от Интернет-угроз.

ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В КРЫМУ

Жук В.О.

КФУ, г. Симферополь, Россия
zhuk_vladimir2015@mail.ru

Ключевые слова: изменения климата, опасные гидрометеорологические явления, Крымский полуостров.

Интенсивное глобальное потепление климата, начавшееся во второй половине XX века, достаточно неоднозначно проявляется на территории Крымского полуострова. За последние 20 лет наблюдается устойчивая тенденция повышения отклонений температуры воздуха от нормы практически на всей территории Крыма. Диапазон колебаний составляет $2,9^{\circ}\text{C}$. Минимальные значения аномалий температур наблюдаются на метеостанциях, расположенных в субсредиземноморской области Крыма. Анализ тенденций изменения средних температур воздуха в январе и июле показывает, что увеличение среднегодовых значений происходит за счет зимних температур. Повышение среднемесячных температур в январе за последние полвека в общем тренде достигло около $0,6^{\circ}\text{C}$. Средняя январская температура за последние 30 лет достигла значения $+0,5^{\circ}\text{C}$, тогда как в июле за аналогичные периоды она осталась неизменной $22,0^{\circ}\text{C}$. В последние годы наблюдается уменьшение амплитуд температур между минимальными и максимальными значениями температур января, за последние 30 лет амплитуда составила минус $6,7^{\circ}\text{C}$ и июля $12,0^{\circ}\text{C}$.

Анализ динамики суровых и аномально теплых зим за последние 87 лет показал, что за последние 30 лет количество переходов от суровых зим к аномально теплым зимам увеличилось почти в 2 раза.

Для годовых сумм осадков характерна полициклическая тенденция: после периода незначительной стабилизации наблюдается увеличение аномалий на всех метеостанциях в современный период. Отклонения от нормы могут достигать более 400 мм в

равнинных и предгорных районах и более 600 мм на Южном берегу Крыма. Таким образом, анализ интегральных кривых аномалий температур воздуха и осадков доказывает, что со второй половины XX в. климат в Крыму начал меняться в сторону потепления и большего увлажнения.

Отрицательные последствия изменения климата для Крымского полуострова сказываются также в наблюдаемой тенденции повышения повторяемости опасных гидрометеорологических явлений (ураганные ветры, сильные ливни, градовые явления и др.) и увеличения неблагоприятных резких изменений погоды.

Проведенные исследования в области геоэкологической и гидрометеорологической опасности территории Крымского полуострова выявили тот факт, что особую опасность для экономики Крыма представляют эрозионные процессы и опустынивания агроландшафтов, которые, в свою очередь, активизируют засухи, суховеи и пыльные бури. На основании архивных статистических данных по проявлению опасных гидрометеорологических явлений, таких как засухи, суховеи, пыльные бури, с учетом индекса ГТК и урожайности с пашни ц/га, а также аномалий выпадения осадков, нами рассчитана степень потенциальной опасности опустынивания земель в Крыму. Полученные данные о потенциальной опасности опустынивания территории Крымского полуострова свидетельствуют о том, что более всего подвержены земли к опустыниванию в Северо-Восточном Крыму – Нижнегорский район, в центральной части – Красногвардейский, на западе – Сакский район, на северо-западе полуострова – Черноморский район, на севере Крыма – Красноперекопский район.

Таким образом, увеличение выпадения количества осадков в Крыму происходит за счет проявления сильных ливневых дождей, но в то же время равнинная часть полуострова все чаще подвергается сильным засухам и суховеям, что может привести к опустыниванию земель в современных условиях изменения климата в Крыму.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИДОННОГО СЛОЯ В ШЕЛЬФОВО-СКЛОНОВОЙ ЗОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

**Зацепин А.Г., Баранов В.И., Кременецкий В.В.,
Куклев С.Б., Островский А.Г.**

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

Ключевые слова: Черное море, сероводородный слой, придонный слой, опускание аэробных вод, автономные измерительные станции, лабораторное моделирование.

Черное море является водоемом с весьма тонким деятельным слоем. Лишь в верхнем 100–150 м слое есть кислород и имеются благоприятные условия для функционирования экосистемы. Основная толща вод – от 150 м и до дна – представляет собой безжизненную сероводородную среду. Такие специфические условия определяются наличием перманентного пикно-халоклина, ослабляющего вертикальное перемешивание и транспорт кислорода вглубь Черного моря. Тем не менее, воды черноморского пикно-халоклина некоторым образом перемешиваются и снабжаются кислородом, благодаря чему верхняя граница сероводородных вод удалена от поверхностных, сезонно стратифицированных слоев моря.

Очевидно, что значительную роль в вертикальном перемешивании вод в черноморском пикно-халоклине играет турбулентность, порождаемая вертикальным сдвигом скорости течения и обрушением внутренних волн. В тоже время, в области шельфа и континентального склона перенос кислородосодержащих вод вглубь может происходить в придонном экмановском слое. Этот механизм, надежно установленный и исследованный в лабораторных экспериментах с даунвеллинговыми вдольбереговыми течениями в двуслойно стратифицированной жидкости, в бассейне с наклонным дном, размещенном на вращающейся платформе, может действовать на всем периметре Черного моря. Однако он практически не изучен в натурных условиях.

С целью проверки возможности поступления растворенного кислорода в придонном экмановском слое в черноморскую суб-оксильную зону и верхнюю часть анаэробной зоны, осуществлены три долговременные (1,5–2 месяца) постановки на дно комплексных измерительных станций в диапазоне глубин от 80 до 230 м на поперечном берегу разрезе в северо-восточной части Черного моря на траверзе Толстого мыса Геленджикской бухты. Станции регистрировали гидрофизические (температура, соленость, плотность, скорость течения) и гидрохимические (концентрация растворенного кислорода) параметры на расстоянии 0,5–2,5 м от дна. Благодаря этим измерениям получены данные, пригодные для оценки пространственно-временных масштабов перемещения воды в придонном слое вверх и вниз по склону в зависимости от направления и интенсивности вдольберегового течения.

Предварительный анализ данных измерений всех трех постановок подтвердил наличие перемещений придонных вод по склону в перпендикулярном берегу направлении. При этом в случае интенсивного вдольберегового течения северо-западного направления в придонном слое наблюдалось опускание вод, а в противоположном случае – их подъем. Такой характер движения вод в придонном слое вполне соответствует динамике придонного экмановского погранслоя. Однако скорость этого движения и, соответственно, амплитуда перемещения вод вверх и вниз по склону быстро убывают с глубиной. Для наиболее глубокой станции (230 м), располагавшейся в верхней части анаэробной зоны, концентрация растворенного кислорода в придонном слое ни разу не поднялась выше предела обнаружения. Это означает, что механизм поступления кислорода, обусловленный экмановской динамикой придонного погранслоя, вряд ли может поддерживать жизнедеятельность мейобентоса, обнаруживаемого в Черном море в анаэробной зоне в верхнем слое осадков на глубинах 220–250 м.

Работа выполнена в рамках темы госзадания 0149-2019-0004 и при поддержке гранта РФФИ №17-05-00381.

ИЗМЕНЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ВОД В ПРИАТЛАНТИЧЕСКОЙ АРКТИКЕ В 2010-Е ГОДЫ

Иванов В.В.^{1,2}

¹МГУ, г. Москва, Россия

²ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия

vladimir.ivanov@aari.ru

Ключевые слова: Арктика, водные массы, морские течения, взаимодействия океана и атмосферы, морской лед.

Сокращающийся ледяной покров в Северном Ледовитом океане (СЛО) является одним из наиболее заметных индикаторов продолжающихся изменений климата. После рекордного сезонного отступления границы ледяного покрова к северу в сентябре 2012 г. площадь льда на пике сезонного минимума сохраняется значительно меньше средней площади в период относительно стабильного ледового режима между 1979 и 2000 гг. Наибольшее отступление границы сплоченного льда летом происходит в тихоокеанском секторе (90° в. д. – 90° з. д.) СЛО, где сдвиг на север достигает 1000 миль. В восточно-атлантическом секторе (0–90° в. д.) смещение кромки льда значительно меньше, около 200 миль. Никаких видимых изменений ледяного покрова не наблюдается в западно-атлантическом секторе (90° в. д. – 0°), а также в сегменте тихоокеанского сектора, примыкающего к Канадскому Арктическому архипелагу. Пространственный характер изменений ледяного покрова в середине зимы существенно неоднороден. Единственный регион, где произошли видимые изменения по сравнению со средним зимним периодом 1979–2000 гг., – это восточно-атлантический сектор, включающий Баренцево море и западную часть бассейна Нансена, который принято называть приатлантической Арктикой, чтобы подчеркнуть высокую степень влияния Атлантического океана на его гидрометеорологический режим.

В докладе представлены результаты анализа данных наблюдений и моделирования, показывающие, что наблюдаемое в

2010-е гг. аномальное уменьшение площади льда в приатлантической Арктике в зимний сезон было обусловлено сокращением доли многолетнего льда в Арктическом бассейне и ослаблением его выноса в приатлантическую Арктику в 1990–2000-х гг. Последующее изменение вертикальной структуры вод в приатлантической Арктике, основным следствием которого стало ослабление плотностной стратификации, привело к возрастанию глубины вертикального конвективного перемешивания вплоть до промежуточного атлантического слоя. Избыточное (по сравнению с климатической нормой) поступление тепла из глубин к верхнему перемешанному слою привело к дальнейшему сокращению морского льда, тем самым замыкая цикл положительной обратной связи.

В более широком контексте можно предположить, что при условии, что прогнозируемые в глобальных климатических моделях темпы глобального потепления сохранятся, обширные районы приатлантической Арктики будут оставаться свободными ото льда в течение всего года с пока неясными последствиями для погоды и климата в регионе и за его пределами. Если это произойдет, вертикальная структура водных масс сместится к субполярному типу, который характеризуется глубоким зимним конвективным перемешиванием. Соответствующие изменения также можно ожидать в морских экосистемах с преобладанием импортируемых южных видов. Следует признать, что к настоящему времени прогноз такой радикальной «атлантификации» является достаточно спекулятивным и должен рассматриваться с осторожностью. Однако чрезвычайно быстрый (в климатическом масштабе времени) переход структуры воды в западной части приатлантической Арктики к субполярному типу наряду с аномальным сокращением льда в середине зимы в 2010-е гг. указывает на то, что при благоприятных фоновых условиях положительные обратные связи могут существенно ускорить переход к новому среднему состоянию.

Данное исследование выполнено при поддержке грантов РФФИ 17-05-00558 и 18-05-60083.

ПРОЯВЛЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ И РЕЗУЛЬТАТЫ СИНОПТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ОСНОВНЫХ ТЕРМИЧЕСКИХ ФРОНТОВ ЮЖНОГО ОКЕАНА

Ионов В.В.

*СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия
v.ionov@spbu.ru*

Ключевые слова: температура поверхностного слоя моря, непрерывная регистрация, меридиональные смещения климатических фронтов.

Наблюдения с различных океанических платформ показывают, что теплосодержание верхнего слоя вод Мирового океана с 70-х гг. постоянно растет. Одни области океана нагреваются быстрее других, а некоторые регионы даже охлаждаются. Потепление, главным образом, возрастает на поверхности океана, тем не менее, подповерхностные слои вод вносят существенный вклад в увеличение океанического содержания тепла [Volkov, 2018].

Начиная с 2006 г., приблизительно 60–90% изменения теплосодержания Мирового океана, связанного с глобальным потеплением, поглощается Южным океаном. Однако нагревание его водных масс неоднородно. В то время как верхние 1000 м Южного океана в Антарктическом циркумполярном течении (АЦТ) и к северу от него быстро нагреваются примерно на 0,1–0,2 °С за десятилетие, поверхностные воды субполярных морей к югу от этого региона не нагреваются или немного охлаждаются.

В последнее десятилетие, для которого имеется больше всего измерений автономно плавающих буев Арго, доля Южного океана в содержании тепла в глобальном слое вод 0–2000 м поднялась на 67 до 98% за период 2006–2014 гг. с явственным пиком в полосе широт АЦТ и севернее его (30°–50° ю. ш.) [Sallée, 2018].

АЦТ – главная особенность непрерывного широтного водного кольца, охватывающего Антарктиду. Характерной чертой гидро-

логии поверхностных вод Южного океана является множественность фронтальных разделов водных масс различного происхождения. Главные фронты: Субтропический (СТФ), Субантарктический (САФ) и Полярный (ПФ). Последние формируются в пределах АЦТ [Holliday, Read, 1998].

Названные фронты регулярно пересекаются научно-экспедиционными судами (НЭС) снабжения Российской антарктической экспедиции в индо-океанском секторе ($15\text{--}20^\circ$ в. д., $40\text{--}50^\circ$ ю. ш.) между Африкой и Антарктидой. Многолетние тенденции в межгодовых меридиональных смещениях главных фронтов могут быть проявлением глобального потепления поверхностного слоя вод Южного океана [Ионов, Лукин, 2017].

Экспериментальной основой исследований кафедры океанологии СПбГУ в Южном океане в 2007–2017 гг. на НЭС «Академик Федоров» служат попутные контактные измерения температуры поверхностного слоя моря (ТПСМ) по ходу судна и синхронные данные дистанционных (спутниковых) зондирований температуры поверхности моря (ТПМ) радиометрами метеорологических спутников серии NOAA [Ионов, 2015].

В указанном секторе Южного океана в 2007–2017 гг. в межгодовых сезонных (в период астрального лета, декабрь) положениях климатических фронтов СТФ и САФ на поверхности моря нами выявлена тенденция к их смещению на юг, как свидетельство потепления поверхностного слоя вод. 11-летний ряд наблюдений демонстрирует явный тренд к сдвигу СТФ и САФ (а, следовательно, более теплых субтропических поверхностных вод) к Антарктиде.

Указанное выше возрастание теплосодержания за период 2006–2014 гг. в полосе широт АЦТ, с одной стороны, и отчетливое проявление этого климатического сигнала в межгодовой изменчивости меридиональных местоположений двух главных фронтов Южного океана, с другой, вместе подтверждают содержательную климатологическую значимость результатов наших наблюдений, выполненных в индийском секторе Южного океана, и важность их продолжения.

ЛАБОРАТОРНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ВЗМУЧИВАНИЮ ЧАСТИЦ МИКРОПЛАСТИКА: ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЙ НА ДНЕ С РАЗЛИЧНОЙ ШЕРОХОВАТОСТЬЮ

Исаченко И.А., Чубаренко И.П., Лобчук О.И.

*ИО РАН, г. Москва, Россия
isatchenko@gmail.com*

Ключевые слова: микропластик, лабораторный эксперимент, взмучивание, седиментация.

Критическое придонное напряжение трения, будучи одной из важнейших физических характеристик частиц, переносимых в придонном слое жидкости, является предметом изучения во множестве работ [van Rijn L.C. Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas. Amsterdam: Aqua publications. 1993]. Однако исследования поведения частиц микропластика в придонном слое до настоящего времени были ограничены единичными лабораторными экспериментами [Ballent A. et al. Physical transport properties of marine microplastic pollution // Biogeosciences Discussions. 2012. v.9. №.12]. Описываемый в настоящем докладе этап исследований направлен на качественное описание разнообразия вариантов поведения частиц микропластика в условиях лабораторного эксперимента.

Экспериментальная установка выполнена на основе гидродинамического лотка длиной 10 м и поперечным сечением $0,33 \times 0,33$ м. Лоток оборудован с входного торца выпрямителем (ламинаризатором) потока, а с выходного – регулируемой по высоте заслонкой. Уровень воды перед ламинаризатором поддерживается за счет насосов с переменной частотой вращения, тем самым в канале формируется постоянный однонаправленный поток жидкости. В ходе эксперимента происходит пошаговое увеличение скорости потока.

Наборы используемых в экспериментах частиц микропластика формируют ряд сильно различающихся характерных форм: трехмерные гранулы (3d), плоские хлопья (2d), жесткие лески и

гибкие нити (1d). Размеры частиц различны и лежат в диапазоне от 0,5 до 5 мм. Материалы частиц: нейлон, полиэстер, поликапролактон, полистирол, полиэтилентерефталат, янтарь – отличаются по плотности и легче материала дна. Для покрытия дна использовался предварительно калиброванный материал естественного происхождения (песок, галька) с размером частиц 1–1,5 и 3–4 мм; 1–2 см, а также гладкое органическое стекло.

Ключевое отличие данных экспериментов от экспериментов по исследованию критической скорости взмучивания частиц донных осадков – частицы микропластика отличаются по размерам, плотности и форме от частиц материала дна. Выбор материала дна и размеров микропластика позволил охватить различные режимы: частицы микропластика существенно больше размера шероховатости, того же порядка и существенно меньше его.

В ходе экспериментов наблюдались разнообразные формы движения частиц микропластика: поворот, качение, скольжение, сальтирование, заглубление в щели, выброс из щелей в поток с дальнейшим перемещением в нем.

При размерах шероховатости дна, значительно превышающих размер микропластика, вместо взмучивания очевидна тенденция заглубления частиц в субстрат. Это предполагает накопление загрязнений в областях, где шероховатость дна значительна.

Исследования проводятся при поддержке РНФ, грант № 19-17-00041.

АНАЛИЗ И ОБОСНОВАНИЕ ВИДОВ ЗОНДИРУЮЩИХ СИГНАЛОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОФИЛОГРАФА

Кириченко И.А.¹, Старченко И.Б.²

¹*ИНЭП ЮФУ, г. Таганрог, Россия,*

²*ООО «Параметрика», г. Таганрог, Россия
ikirichenko@sfedu.ru*

Ключевые слова: профилограф, зондирующий сигнал, автокорреляционная функция.

Анализ гидроакустической информации может осуществляться как субъективно, самим человеком-оператором, так и объективно, с использованием специализированных технических средств обработки. В современных гидроакустических системах при решении задачи анализа информации используется диалоговый режим. В этом случае структура системы предусматривает комплексное применение технических и программных средств анализа исходной информации и субъективного анализатора человека-оператора.

Применение в параметрическом профилографе двухканальной схемы формирования первичных волн накачки требует того, чтобы каждый из сигналов излучался отдельной системой преобразователей или отдельным преобразователем накачки. При использовании узконаправленных излучающих акустических систем, к которым относится излучающий блок профилографа, для повышения эффективности энергетических характеристик зондирующего сигнала в настоящее время применяют сложные линейно-частотно-модулированные (ЛЧМ) и фазоманипулированные (ФМК) сигналы.

Таким образом, работу профилографа можно рассматривать в пределах одного цикла зондирования, по окончании которого порядок действий повторяется. Цикл зондирования можно разделить на несколько действий:

- подготовка значений параметров;
- формирование сигналов зондирования в заданном направлении;
- прием эхосигналов, аналоговая и цифровая обработка;
- формирование пакета данных и передача данных по каналу связи.

Основными критериями отбора вида зондирующих сигналов для целей обнаружения и различения заиленных объектов и поддонных структур являлись:

- степень сжатия исходного сигнала при корреляционной обработке (малое время корреляции);
- отношение сигнал/шум на выходе коррелятора (увеличение пика отклика по отношению к амплитуде исходного сигнала);
- уровень боковых лепестков автокорреляционной функции.

Для решения поставленной задачи, помимо коротких радиоимпульсов, рассматривалось применение таких классов сигналов, как сигналы с угловой модуляцией и фазоманипулированные кодовые последовательности.

Был проведен расчет по обоснованию возможности согласованной фильтрации и корреляционной обработки основных видов зондирующих сигналов, применяемых в локационных системах, получены нормированные комплексные огибающие автокорреляционной функции (АКФ) для анализируемых сигналов.

Оптимальными сигналами ФМК с точки зрения сформулированного критерия являются коды Баркера с наибольшей длиной – 13. Важно отметить, что в отличие от ЛЧМ сигналов подавление боковых лепестков АКФ в ФМК не сопровождается расширением основного максимума, а приводит к небольшому расширению области боковых лепестков выходного сигнала, что обычно допустимо.

ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЭОЛОВЫХ ФОРМ БЛАГОВЕЩЕНСКОГО ОСТАНЦА

Крыленко В.В., Крыленко М.В.

*ИО РАН, г. Геленджик, Россия
krylenko.slava@gmail.com*

Ключевые слова: дюна, Благовещенский останец, эоловый процесс, фанаторийская регрессия.

Анапская пересыпь – крупная морская береговая аккумулятивная форма на северо-западе Кавказского побережья Черного моря. В центральной части пересыпи находится Благовещенский останец. На его северо-западном краю, на поверхности коренных неогеновых суглинков расположен массив дюн площадью 20 га. Для анализа происхождения эоловых аккумулятивных форм Благовещенского останца необходимо ответить на вопросы – откуда поступил этот материал, когда и каким образом он был поднят на высоту 17–20 м.

Механический состав золых отложений на поверхности останца идентичен составу дюнных отложений прилегающих участков пересыпи. Минеральный состав древних и современных отложений не имеет принципиальных отличий.

К северу от исследуемого дюнного массива расположено древнее поселение «Благовещенское-4», существовавшее в период с VI в. до н.э. по II–III в. н.э. Под развееваемыми дюнами, на поверхности коренных суглинков, нами также обнаружены фрагменты керамики. Оценочные датировки, произведенные А.М. Новичихиным и Н.И. Сударевым, указывают период появления керамики в IV–II вв. до н.э., наиболее «поздних» фрагментов – II–III вв. н.э. Соответственно, золых аккумулятивных образований на поверхности Благовещенского останца не существовало, как минимум до начала III в. н.э. Вероятно, образование дюн на поверхности останца произошло не ранее начала ранне-нимфейской трансгрессии около 1,7 тыс. л.н.

Развитие Анапской пересыпи контролировалось уровнем моря и бюджетом наносов. Наиболее дискуссионны величина и последствия падения уровня моря в ходе фанагорийской регрессии. Исследователи оценивают величину понижения уровня моря в 5,0–5,5 м. Геологические данные позволяют предположить, что понижение базиса эрозии и последующее повышение происходили быстро. Можно утверждать, что заливов или лагун на месте Кизилташского лимана в период фанагорийской регрессии не было, сток реки Кубань в море осуществлялся по эрозионным врезам, выработанным в предшествующих отложениях. Возможны несколько вариантов накопления большого запаса песка, образовавшего дюны на Благовещенском останце.

Вариант 1. Фанагорийская регрессия привела к возобновлению поступления твердого стока реки Кубань на берег Черного моря. Ранне-нимфейская трансгрессия (около 1,7 тыс. л.н.) вызвала перераспределение вдоль уреза моря накопившихся за период регрессии наносов. Минеральный и механический состав наносов (хорошо отсортированные аллювиальные пески) способствовал росту дюн.

Вариант 2. Перед островом на месте современной банки Марии Магдалины (глубины 1–5 м) в период фанагорийской регрессии происходило накопление поступающих с севера наносов

(песка, гальки и ракуши) в виде томболо или салиента. После подъема уровня возобновилось движение наносов на юго-восток. Когда этот материал достиг Благовещенского останца, сложились условия для поступления песка на клиф. Вариант 2 комбинируется с Вариантом 1, но не объясняет появление хорошо отсортированных песков.

Вариант 3. Ширина аккумулятивной террасы у Благовещенского останца была значительно больше, чем в настоящее время. Между пляжем и клифом существовала дюнная гряда. В ходе разворота пересыпи или в ходе нимфейской трансгрессии дюны были смещены к клифу и постепенно перенесены на поверхность останца.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (18-05-00333, 19-45-230004).

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ АДАПТАЦИИ РАСТЕНИЙ К ОБИТАНИЮ В УСЛОВИЯХ АБРАЗИОННЫХ БЕРЕГОВ

Крыленко С.В., Лукиных А.И.

*МГУ, г. Москва, Россия
krylenkoser@mail.ru*

Ключевые слова: абразионные берега, клиф, растительные сообщества, морфологические адаптации.

Растительность северо-восточного побережья Черного моря, где проходит граница Европейской и Средиземноморской областей Палеарктического биогеографического царства, изучается много лет. Однако, несмотря на то, что исследования растительных сообществ каменистых обнажений на данной территории уже проводились, растительность непосредственно берегового обрыва (клифа) остается недостаточно изученной. Представленная работа посвящена описанию морфологических адаптаций растений к обитанию в условиях абразионных берегов. Исследования были сосредоточены на участке берега массива Туапхат (Геленджикский район) протяженностью 400 м, представленным

скальным обрывом высотой 80–100 м, сложенным флишем. В пределах участка было обнаружено 132 вида сосудистых растений в 44 семействах. Из них 14 видов – эндемики, а 6 занесены в Красную книгу РФ.

Жизненные формы обнаруженных нами видов весьма разнообразны. Два вида имеют жизненную форму дерево. Однако, *Quercus pubescens* (Willd.) в условиях клифа является кустарником, а настоящие деревья доминируют в основном в верхней части клифа. 14 видов кустарников формируют основной растительный покров на малоподвижных субстратах и телах оползней, создавая условия для произрастания видов, неприспособленных к условиям клифа. Данные виды попадают на клиф с оползневой материей и прорастают под покровом других растений. Кустарнички (3 вида) и полукустарнички (8 видов) являются массовыми видами на скалах и, зачастую, именно они определяют облик сообщества. Лианы (6 видов) распространены спорадически, занимая специфические для обитания места, например, *Cynanchum acutum* (L.). Основной биоморфой является трава, из которой 24 вида – однолетники, а остальные 75 видов – многолетники или двулетники.

Очень важную роль в существовании растений на абразионных берегах играет способность быстро и эффективно захватывать свободные территории. В условиях клифов, когда вегетативное размножение не всегда возможно, большее значение имеет половое размножение, при этом важно, какой именно будет диаспора. Так, всего около 10% обнаруженных растений имеют сочные плоды, распространяемые птицами или млекопитающими. В основном, это крупные кустарники. Остальные же растения имеют сухие плоды. Наибольшее число обнаруженных нами видов относится к семейству *Asteraceae*. Семена представителей этих видов имеют волоски или хохолок, которые обеспечивают дальность распространения семян ветром. Также многочисленны стручки и коробочки, разбрасывающие семена при вскрывании. Распространяются ветром и водой мелкие семена, что позволяет им попасть в самые труднодоступные щели. Злаки имеют в основном зоохорное распространение. Исключением является ковыль

(*Stipa capillata* (L.)), который обладает летучками и разносится ветром. Отдельного упоминания заслуживает *Orlaya daucoides* ((L.) Greuter), распространяемая по оползням животными.

В сообществе изученных клифов доминируют растения с анемохорным способом распространения, позволяющим быстрее других занимать подходящие для произрастания места. Основной жизненной формой на клифе является трава.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ, грант № 19-05-00716.

О БИМОДАЛЬНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ ТЕЧЕНИЙ У ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

Кузнецов А.С.

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

Ключевые слова: прибрежная циркуляция вод, бимодальное распределение направления течений.

Основное Черноморское течение (ОЧТ) является крупномасштабной структурой циклонической циркуляции вод локализованной в зоне континентального склона. ОЧТ разграничивает акваторию моря на две различные по пространственным размерам и по динамике вод области. Известно, что в обширной открытой части Черного моря слева от ОЧТ доминирует циклоническая завихренность течений, а в прибрежной зоне по периметру моря выявлены статистически достоверные факты бимодального распределения повторяемости направления вдольберегового течения. При этом одна мода имеет циклоническую направленность, а другая – противоположную направлению ОЧТ. Такие статистические распределения направлений течений у Южного берега Крыма (ЮБК) исследователи часто объясняют либо прохождением в узкой прибрежной зоне антициклонических вихрей, либо связывают такое распределение с изменчивостью направления местных ветров у побережья.

Морской гидрофизический институт (МГИ) выполняет многолетний мониторинг циркуляции прибрежных вод в Голубом заливе у мыса Кикинеиз ЮБК, применяя эквидистантную вертикальную антенну векторно-осредняющих измерителей течений типа МГИ-1308 со стационарной океанографической платформы (п. Кацивели). Измерители течений накапливают векторные данные, осредненные за пятиминутный интервал и полученные с дискретностью равной 15 с. На основании этих данных сформирована векторная база прибрежных течений для гидрологических горизонтов 5; 10; 15; 20 и 25 м за период с 2005 по 2019 гг.

При анализе материалов этой базы данных статистически достоверно выявлены следующие факты:

изменения вертикальной структуры и смена направления прибрежного течения от приповерхностного к придонному слою на противоположное происходит, как правило, одновременно;

непосредственные изменения режима и силы местных ветров не оказывают существенного влияния на состояние и релаксацию структуры течения;

в прибрежной зоне орбитальные движения вод от всех разномасштабных колебаний ОЧТ и интенсивных внешних возмущений трансформируются в систему вдольбереговых возвратно-поступательных колебаний струйных течений (бимодальное распределение);

в отдельные сезоны года существуют временные периоды (до трех – четырех недель), когда регистрируется только циклоническая направленность прибрежного течения. Однако, при анализе эмпирические функций распределения плотности вероятности тех же, но предварительно центрированных данных векторных рядов динамики (после исключения средних значений вектора), достоверно выделена бимодальная структура.

Рассмотренные факты позволяют утверждать, что вдоль ЮБК существует стационарный поток вод циклонической направленности, обусловленный влиянием ОЧТ. В приповерхностном слое среднемноголетнее значение модуля скорости этого крупномасштабного прибрежного потока вод имеет величину 8,5 см/с, но содержит существенную сезонную изменчивость. В работе анализируются основные аспекты этой изменчивости. Основные вихре-волновые орбитальные движения вод от интенсивных

внешних возмущений при конкуренции с основным потоком прибрежных вод трансформируются в динамическую систему чередующихся возвратно-поступательных течений бимодальной структуры.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2018-0004 «Прибрежные исследования».

**ГИДРООПТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ВОД
СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ ОСЕНЬЮ 2018 Г.
ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ХОДЕ
103-ГО РЕЙСА НИС «ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ»**

**Латушкин А.А., Федирко А.В., Артамонов Ю.В.,
Скрипалева Е.А., Кудинов О.Б.**

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

Ключевые слова: общее взвешенное вещество, показатель ослабления направленного света, температура, циркуляция вод, соленость, Черное море.

Представлены результаты натурных измерений гидрологической и гидрооптической структуры вод северной части Черного моря, выполненных в ходе 103-го рейса НИС «Профессор Водяницкий» с 28 августа по 20 сентября 2018 г. В период выполнения съемки на всех станциях в верхнем 50-метровом слое проводились измерения гидрологических и гидрооптических параметров. При проведении гидрооптических измерений использовался спектральный измеритель показателя ослабления направленного света (ПОС), разработанный в отделе оптики и биофизики моря МГИ РАН. На каждой станции выполнялось зондирование ПОС в четырех спектральных участках (460; 520; 590 и 625 нм). В работе анализируется распределение концентрации общего взвешенного вещества ($C_{\text{овв}}$), рассчитанной по измерениям ПОС на длине волны 625 нм (ПОС(625)) на основе эмпирического соот-

ношения $C_{\text{ОВВ}} = 1,3 \times \text{ПОС}(625) - 0,3$, полученного ранее для исследуемой акватории. Измерения гидрологических параметров проводились зондирующим CTD-комплексом Sea-Bird 911plus, скорость и направление течений измерялись акустическим профилографом течений ADCP WORKHORSE-300 kHz.

По данным съемки величины концентрации ОВВ варьировали в диапазоне 0,3–1,2 мг/л. Минимальные концентрации (не выше 0,4 мг/л) наблюдались в западной части полигона, за исключением мористой части Каламитского залива и побережья Крыма между м. Сарыч и м. Аю-Даг, где значения $C_{\text{ОВВ}}$ увеличивались до 0,5–0,6 мг/л. На востоке съемки, особенно вдоль Кавказского побережья, отмечались более высокие величины концентрации ОВВ (выше 0,6 мг/л), обусловленные вдольбереговым переносом Основным черноморским течением (ОЧТ) мутных и распресненных вод стока Риони и других рек. Значения мутности постепенно уменьшались по мере удаления от берегов Кавказа. В мористой части съемки наблюдалось обширное пятно повышенных значений концентрации ОВВ, происхождение которого связано с особенностями циркуляции вод в этом районе. Это пятно располагалось на северо-западной периферии крупномасштабного Восточного циклонического круговорота (ВЦК) и формировалось в результате выноса в открытое море более мутных прибрежных вод ветвью ОЧТ. Самые высокие значения концентрации ОВВ (до 1,25 мг/л) выявлены в прибрежной зоне к югу от Керченского полуострова, где под воздействием интенсивного шторма произошло взмучивание донной и береговой взвеси. Вклад в формирование этого максимума вносили также мутные и низкосолёные азовоморские воды, поступающие сюда из района Керченского пролива.

Вертикальная структура концентрации ОВВ характеризовалась хорошо выраженным максимумом, глубина залегания которого была близка к глубине залегания максимальных вертикальных градиентов температуры (ВГТ) и плотности (ВГП). Величины коэффициентов линейной корреляции между глубинами залегания максимума концентрации ОВВ и максимальных ВГТ и ВГП достигали 0,82 и 0,83 соответственно. Наибольшие глубины залегания максимумов концентрации ОВВ и ВГТ (40–45 м) про-

слеживались к западу от Гераклеийского п-ова в области антициклонического круговорота. Увеличение глубины залегания максимумов обоих параметров (до 30–35 м) наблюдалось практически вдоль всего побережья. Минимальные глубины (до 5–10 м) отмечались в открытой глубоководной части съемки ближе к центральной части ВЦК.

Пространственные распределения максимальных значений $C_{\text{ОВВ}}$ и ВГТ показали, что в районах с повышенными значениями ВГТ наблюдалось более высокое содержание ОВВ.

ДОЛГОПЕРИОДНЫЙ ПРИЛИВНОЙ ДРЕЙФ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ

Липатов М.А., Май Р.И., Фукс В.Р.

*СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия
m.a.lipatovv@gmail.com*

Ключевые слова: дрейф ледяного покрова, долгопериодный прилив, Северный Ледовитый океан, гармонический анализ.

Дрейф ледяного покрова формируется под действием касательного напряжения на верхней (ветер) и нижней (течения) поверхностях льда, наклона уровня моря, силы внутреннего взаимодействия в ледяном покрове и силы Кориолиса. Как правило, дрейф в синоптическом диапазоне изменчивости практически полностью обуславливается ветром. Следует ожидать большего вклада течений и градиентов уровня моря в низкочастотной области спектра. Можно предположить, что в дрейфе льда могут присутствовать долгопериодные составляющие, совпадающие с периодами приливных гармоник.

Для исследования низкочастотных приливных колебаний дрейфа ледяного покрова мы использовали базу данных Polar Pathfinder, содержащую компоненты векторов дрейфа ледяного покрова, полученные на основе обработки спутниковой информации и данных буев программы IABP. База данных содержит

информацию с суточной дискретностью в узлах регулярной сетки с пространственным шагом 25 км. Анализ многолетних (с 1979 г. по н. в.) векторных временных рядов дрейфа выполнялся с помощью гармонического анализа приливов методом наименьших квадратов. Так как дрейф льда зависит от параметров ледяного покрова (сплоченность, толщина льда), то при оценке низкочастотных гармонических составляющих учитывались годовые и межгодовые изменения ледовых условий. В результате гармонического анализа векторов были оценены характеристики эллипсов приливного дрейфа следующих составляющая прилива: солнечные годовая (S_a) и полугодовая (S_{sa}) гармоники, лунные месячная (M_m) и полумесячная (M_f) гармоники, лунно-солнечная полумесячная (MS_f) гармоника.

Результаты вычислений показывают, что максимальные значения амплитуд приливного дрейфа волны S_a отмечаются в прикормочной области Баренцева моря и в проливе Фрама, также область увеличенных амплитуд дрейфа отмечается возле аляскинского побережья моря Бофорта. В центральной части Арктического бассейна амплитуды годовой гармоники стремятся к нулю. Межгодовые вариации амплитуд и фаз этой гармоники сравнительно велики. Аналогичную структуру пространственного распределения амплитуд и фаз можно отметить для солнечной полугодовой гармоники S_{sa} . Сезонный ход характеристик ледяного покрова и его дрейфа неразличим по периодам с годовой приливной гармоникой S_a . Поэтому в оценках амплитуд и фаз сезонного хода дрейфа присутствуют эффекты, связанные с сезонными изменениями гидрометеорологических факторов: плотности воды, колебаний атмосферного давления, изменений ветрового режима и пр. В целом мы предлагаем рассматривать амплитуды и фазы дрейфа на периодах волн S_a и S_{sa} как отклик ледяного покрова на сезонную изменчивость радиационного баланса и всех гидрометеорологических параметров. При этом полугодовая гармоника S_{sa} описывает асимметричность годового хода, т. е. является обертоном годовой волны S_a .

При расчете месячных и полумесячных гармоник дрейфа помимо межгодовой изменчивости учитывался еще и сезонный ход параметров ледяного покрова. Поле амплитуд максимального

приливного дрейфа месячной волны M_m , M_f и MS_f в целом соответствует распределению амплитуд гармоник S_a . Помимо этого, увеличенные значения амплитуд дрейфа месячной и полумесячных гармоник при некоторых ледовых условиях отмечается на шельфе морей российской Арктики. Предварительные результаты показывают, что эти локальные зоны повышенной амплитуды дрейфа могут соответствовать акватории заприпайных полыней.

ПРИСУТСТВИЕ, ПЕРЕНОС И НАКОПЛЕНИЕ ЧАСТИЦ ВСПЕНЕННЫХ ПЛАСТИКОВ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Лобчук О.И., Килесо А.В.

*ИО РАН, г. Москва, Россия
olga_may87@mail.ru*

Ключевые слова: микропластик, песчаные пляжи, вспененный пластик, разрушение, морской мусор.

Загрязнение вспененным пластиком прибрежной части моря является острой проблемой как для Калининградской области, так и для всей акватории Балтийского моря. Вспененные пластики в прибрежной зоне моря быстро переносится ветром и течениями и разрушаются, загрязняя водную толщу, донные осадки, берега и пляжи.

На пляжах юго-восточной Балтики основным загрязнителем является пенопласт, как отдельные куски, так и отдельные шарики [Esiukova E., 2017; Chubarenko I. et al., 2016]. Процессы деградации вспененного пластика в морской среде мало изучены. До сих пор нет единого взгляда на итог разрушения частиц со временем. Некоторые ученые [Kanehiro H. et al., 1995] считают, что пластик будет разрушаться до более мелких частиц, сохраняя свою синтетическую основу, и никогда не исчезнет из окружающей среды.

Чтобы оценить загрязнение вспененным пластиком пляжей с различной антропогенной нагрузкой, был проведен отбор проб на песчаных пляжах в шести точках региона (Балтийская коса, мыс Таран, Янтарный, Светлогорск, Зеленоградск и Куршская коса). Образцы отбирали по методике OSPAR, согласно которой пляжи должны состоять из песка или гравия и подвергается воздействию открытого моря; быть доступным для исследователей весь год; минимальная длина пляжа должна быть не менее 100 м и по возможности более 1 км в длину.

В результате выполненной работы были выявлены три источника загрязнения Калининградской области (Янтарный, мыс Таран и Зеленоградск) остатками вспененных пластиков – главным образом, вспененными и экструдированными формами полистирола, широко применяемого в настоящее время в качестве строительного утеплителя и упаковочного материала.

Исследования проводятся при поддержке РФФИ, грант № 19-45-393006 p_мол_a.

СРАВНЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ХОЛОДНОГО ПРОМЕЖУТОЧНОГО СЛОЯ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ОДНОГО ГОДА

Лобчук О.И., Чубаренко И.П.

*ИО РАН, г. Москва, Россия
olga_may87@mail.ru*

Ключевые слова: холодный промежуточный слой, термохалинная структура, температура, Балтийское море.

Возможность выделить холодный промежуточный слой (ХПС) Балтийского моря в вертикальной структуре вод появляется только после формирования сезонного термоклина, что обычно происходит в конце апреля – начале мая. Именно этот начальный период существования ХПС особенно интересен для анализа еще и потому, что свойства его вод еще не столь значи-

тельно изменены текущими гидрофизическими / метеорологическими процессами, и есть вероятность получить информацию об особенностях процесса его формирования.

Для анализа использовались данные близких по времени рейсов двух научных судов: НИС «Профессор Штокман» Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (23 апреля – 4 мая 2006 г. – в центральной и северной части Балтийского моря и НИС «Gauss» Института исследований Балтийского моря (IOW) в Варнемюнде (4–12 мая 2006 г.) – в южной и центральной части моря. Первый рейс проходил в рамках программы экологического мониторинга кампании «Питергаз», второй – в рамках регулярного мониторинга HELCOM.

Для представления интенсивности пространственных вариаций характеристик промежуточных вод в различных частях акватории сравним профили, полученные на близкорасположенных станциях, выполнявшихся с небольшой разницей по времени. Таким условиям выполняют три группы станций вдоль исследуемого разреза: G213, G221 – центральная часть Борнхольмского бассейна; PSh317, PSh320, PSh324, PSh329 – южная часть о. Готланд; PSh302, PSh280, PSh285 – северная часть о. Готланд.

Мощность ХПС отличается практически вдвое и составляет 20,9 м (от 29,7 до 50,6 м) на станции G213 и 39,8 м (от 26,7 до 66,5 м) на станции G221. Ядро ХПС (T_{min}) располагается на глубинах 35,8 м (1,44 °C, ст. G213) и 48,8 м (1,74 °C, ст. G221). Прослойка с температурой воды $T < T_{md}$ составляет 12 м (от 31 до 43 м) на ст. G213 и 10 м (от 36 до 46 м) на ст. G221. Интересно, что на ст. G221 минимальная температура воды на профиле оказывается выше T_{md} : несмотря на наличие 10-метровой прослойки с $T < T_{md}$, вся она имеет более низкую соленость, а минимальная температура воды обнаруживается ниже ее – в области роста солености (и, соответственно, падения значения T_{md}). Таким образом, на этом профиле минимальное значение температуры воды расположено внутри пикноклина, а сама область пикноклина целиком лежит внутри ХПС. На профиле ст. G213 пикноклин также значительной частью расположен внутри ХПС, хотя минимальная температура воды обнаруживается на меньших глубинах (и в верхнем распресненном слое).

Работа проводится в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0149-2019-0013).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ПРОГНОЗ АНОМАЛИЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК С ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТЬЮ В НЕСКОЛЬКО МЕСЯЦЕВ

Лубков А.С., Воскресенская Е.Н.

*ИПТС, г. Севастополь, Россия
andrey-ls2015@yandex.ru*

Ключевые слова: сезонный прогноз, температура, осадки, искусственные нейронные сети.

В последние два десятилетия большое внимание уделялось разработке прогностических моделей, которые могли бы обеспечить сравнительно неплохую оправдываемость метеопрогноза на 5–10 дней и оправдываемость несколько хуже при прогнозе на недели вперед. Наряду с этим, активно исследовалась возможность давать оценки климатических проекций на десятилетия вперед с помощью глобальных климатических моделей. Однако прогнозы субсезонного и сезонного масштаба (от 2 недель до года) являются до сих пор до конца нерешенной проблемой. Требования, предъявляемые к качеству таких прогнозов, на сегодня невозможно достичь с помощью современных моделей. При этом потребность в качественных долгосрочных прогнозах не только сохраняется, но и становится все более актуальной.

Авторы настоящей работы предлагают использовать для прогнозирования метеорологических характеристик модель, основанную на методе искусственных нейронных сетей (НС). Ранее такой подход был успешно применен для прогнозирования индекса Южного колебания [1] и индекса Nino3.4 на срок от 1 до 9 месяцев вперед. При этом на входе в модель использовались индексы глобальных дальнедействующих климатических сигналов.

В текущей работе предлагается использовать следующие параметры НС. Для моделирования метеорологических параметров будет применяться однонаправленная гетероассоциативная однослойная (один скрытый слой) НС с учителем. Нейроны входного, скрытого и выходного слоя представлены сигмоидальной биполярной функцией: $f(x) = \tanh(\beta x)$. Ее производная – деактивационная функция – используется для формирования целевой функции и отображения результата. Обучение модели проводится на основе алгоритма обратного распространения ошибки. На входе в модель так же, как и в [Лубков А.С., Воскресенская Е.Н., Марчукова А.С., Прогнозирование индекса Южного колебания // Вестник СПбГУ: Науки о земле. – СПбГУ, 2017. – вып. 4(62). – С.370–388], будут использованы индексы глобальных дальнедействующих климатических сигналов. Адаптация модели включает три стадии: предварительную обработку, моделирование и заключительную обработку результатов [Осовский С. Нейронные сети для обработки информации. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.].

На этапе предварительной обработки данных выполняется поиск связей между значениями индексов дальнедействующих сигналов и исследуемого параметра. Для этого оценивается его корреляционная связь со значениями индексов сигналов в предшествующие месяцы текущего и предыдущего года.

Модель для прогноза запускается многократно, с использованием на входе всех возможных комбинаций, выбранных на предварительном этапе индексов. Для каждой выборки входных сигналов собираются конструкции модели с разным количеством нейронов скрытого слоя. Результат заносился в лог-файл.

На заключительном этапе экспертным путем отбираются несколько наилучших из конструкций модели НС, выбранных фильтром программы. Качество моделирования выбранных конструкций НС дополнительно оценивается на контрольной выборке.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В АРКТИКЕ

**Лунев Е.Г., Мотыжев С.В., Толстошеев А.П., Дыкман В.З.,
Безгин А.А., Быков Е.М., Воликов М.С., Лисецкий И.В.**

*МГИ, г. Севастополь, Россия
elunev@gmail.com*

Ключевые слова: оперативные наблюдения, Арктика, информационно-измерительная система, буй.

В связи с интенсификацией освоения ресурсов арктической зоны РФ актуальность внедрения современных систем мониторинга гидрометеорологической обстановки в этом регионе не вызывает сомнений. До недавнего времени подобные работы носили в основном поисковый и фрагментарный характер и были направлены на решение локальных задач, связанных с освоением ресурсов шельфа предприятиями нефтегазодобывающей отрасли. Активное развитие в арктическом регионе такого крупного инфраструктурного проекта, как порт Сабетта, ввод в эксплуатацию терминалов по сжижению природного газа, танкерного флота, шельфовых нефтегазодобывающих платформ, а также усиление военного присутствия, привели к необходимости создания постоянно действующей и/или легко разворачиваемой системы комплексного оперативного гидрометеорологического мониторинга акватории Арктики. Активную роль в построении и опытной эксплуатации такой системы играет Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, технологическое оснащение работ которого обеспечивает в том числе МГИ РАН.

В докладе представлен обзор приборного парка, лежащего в основе системы мониторинга: спутниковые радиомаяки для маркировки айсбергов, ледовых полей, покровных ледников; барометрические буи; автономные уровнемеры; термопрофилемеры (термокосы) различных исполнений; ледовые метеостанции. От-

ражены технологии применения и результаты реальной эксплуатации приборов в Арктике. Обозначены перспективы развития системы, в том числе направленные на внедрение беспилотных летательных аппаратов для дистанционной постановки радиомаяков на ледовые образования в целях контроля ледовой обстановки в районах нефтедобычи.

ДИНАМИКА ЛЕДОВИСТОСТИ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ И РЕАНАЛИЗА

Магаева А.А.

*ЮНЦ РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия
a.magaeva@mail.ru*

Ключевые слова: Северный Каспий, ледовитость, ледовый режим, реанализ, ГИС.

Много лет назад не представлялось возможным вести непрерывные наблюдения за ледовым покровом ввиду трудоемкости данного процесса – чтобы охватить всю акваторию моря необходимо было выполнять авиаразведку, которая зачастую осложнялась погодными условиями. В последние десятилетия это стало возможным благодаря спутниковым наблюдениям. Одним из известных спутниковых массивов по снегу и льду является продукция Национального центра данных по снегу и льду, США (<https://nsidc.org/>).

Еще один банк данных, предоставляющий информацию о состоянии поверхности океана в реальном времени, OSI SAF (<http://www.osi-saf.org/>). Доступны данные разного пространственного и временного разрешения о температуре поверхности моря, температуре поверхности морского льда, концентрации морского льда и др.

Доступным вариантом глобальных данных о концентрации морского льда является реанализ OSI-450 – вторая версия SI SAF Global Sea Ice Concentration Climate Data Record (SIC CDR v2.0),

которая охватывает временной период с 1979 по 2015 гг. Концентрация морского льда рассчитана инструментами SMMR (1979–1987 гг.), SSM/I (1987–2008 гг.) и SSMIS (2006–2015 гг.), а также с применением данных ECMWF ERA-Interim [EUMETSAT Ocean and Sea Ice Satellite Application Facility. Global sea ice concentration climate data record 1979–2015 (v2.0, 2017). Norwegian and Danish Meteorological Institutes. doi: 10.15770/EUM_SAF_OSI_0008]. Данные представлены в открытом доступе в сети Интернет по адресу (<ftp://osisaf.met.no/reprocessed/ice/conc/v2p0>) в формате NetCDF4. Пространственный охват – весь мир, разрешение 25×25 км, проекция Lambert Azimutal, временной охват – ежедневный (1 расчетный день – 1 файл netCDF4 для каждого дня отдельный файл с данными).

С помощью лицензионного программного обеспечения ArcGIS 10.3 была создана модель для обработки данных. Результаты обработки показали, что среднемноголетнее значение ледовитости Северного Каспия составило 37,3% за период 1979–2015 гг. Максимальное значение ледовитости за зимний сезон отмечено в 1983–1984 гг. и составило 60,6%, минимальное – 14,6% в зиму 1999–2000 гг.

Проведен сравнительный анализ данных реанализа OSI-450 и данных ГИС «Ледовый режим южных морей России» [Магаева, Яицкая, 2015]. Анализ проведен для 265 картосхем ледового покрова, имеющихся в ГИС. Среднемноголетнее значение ледовитости по данным ГИС составляет 51,51%, по данным реанализа – 48,84%, стандартное отклонение – 24,56 и 24,42 соответственно. Корреляционная зависимость равна 0,76. В ходе предварительного анализа полученных данных можно сказать, что данные реанализа хорошо согласуются с данными аэрофотосъемки ледового покрова, а также с данными наблюдений со спутников, которые после обработки предоставляет ААНИИ, и могут выступать альтернативным источником данных о ледяном покрове.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-05-41190 РГО_a.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРОГНОЗА КАЧЕСТВА ВОДЫ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ МОРЯ

Макаров К.Н.

СГУ, г. Сочи, Россия
ktk99@mail.ru

Ключевые слова: прибрежная зона, течения, волны, водотоки, водовыпуски, искусственные пляжи, аварийные разливы нефтепродуктов.

Разработана автоматизированная система, позволяющая прогнозировать качество воды в прибрежной зоне в зависимости от гидрометеорологической ситуации (ветер и, следовательно, дрейфовые течения, ветровые волны или волны зыби, градиентные течения и т. п.), а также характеристик водовыпускных систем, ливневого стока, инженерных мероприятий на берегах, возможных разливов нефтепродуктов. При этом система рассчитывает как фоновые характеристики загрязнений, так и распространение антропогенных добавок.

Задача математического моделирования распространения загрязнений в прибрежной зоне любого водоема раскладывается на три составляющие:

формирование цифровой модели местности (ЦММ) для исследуемого участка побережья. ЦММ должна включать данные о рельефе и литологических характеристиках подводного и надводного берегового склона, типы и параметры существующих гидротехнических и иных инженерных сооружений в прибрежной зоне, характеристики источников загрязнений;

математическое моделирование гидродинамики прибрежной зоны (волны, течения, колебания уровня моря) при различных гидрометеорологических ситуациях (пространственное распределение поля ветра над водоемом);

математическое моделирование распространения загрязнений в прибрежной зоне в зависимости от мощности источников и типа гидрометеорологической ситуации.

Три указанных блока объединены в единую комплексную автоматизированную систему прогноза качества воды в прибрежной зоне (АСКВ).

В качестве основных источников загрязнения прибрежной зоны рассматриваются следующие:

- постоянные и временные водотоки, впадающие в море в точке с координатами X , Y и транспортирующие при заданном расходе Q , скорости V и площади живого сечения W некую смесь с концентрацией C ;

- выпуски сточных вод с очистных сооружений, которые в точке с координатами X , Y , H (где H – глубина расположения оголовка) сбрасывают в море расход воды Q с концентрацией загрязнения C ;

- временное минералогическое загрязнение воды в прибрежной зоне при отсыпке искусственных пляжей длиной L , шириной B , объемом W со средним содержанием мелкодисперсных фракций в отсыпаемом материале P ;

- аварийные разливы нефтепродуктов объемом W в точках с координатами X , Y .

АСКВ состоит из трех основных частей: автоматизированного банка данных (АБД), прогностической системы и интеллектуального интерфейса, работа которых происходит на основе соответствующих систем обеспечения.

В настоящей версии АБД АСКВ содержит следующие наборы данных: рельеф, литология, гидрометеорология, гидротехнические сооружения, включая искусственные пляжи и дноуглубительные прорезы, постоянные водотоки, координаты и объем разлива нефтепродукта.

Калибровка математических моделей системы выполнена по данным натурных наблюдений Гидрометеорологической и Санитарно-эпидемиологической служб г. Сочи.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД ШЕЛЬФА АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Малахова В.В.

*ИВМиМГ СО РАН, г. Новосибирск, Россия
malax@sscc.ru*

Ключевые слова: субаквальная мерзлота, арктический шельф, потоки метана, метангидраты.

Предполагается, что субаквальная мерзлота под дном арктических морей сформировалась на суше в период понижения уровня океана и осушения шельфа. Изучение современного состояния субаквальных многолетних пород (СММП) актуально в связи с освоением нефтегазовых ресурсов арктических шельфов, а также имеет значение при составлении климатических прогнозов и оценках эмиссии метана в атмосферу Арктики.

Для исследования процессов формирования субаквальной мерзлоты и связанных с ней гидратов метана на шельфе арктических морей разработана модель динамики многолетнемерзлых пород в геологическом разрезе 1500 м для последних 400 тыс. лет. Модель дополнена палеогеографическими сценариями изменения атмосферного воздействия и уровня океана.

Сильная зависимость продолжительности периодов затопления или осушения шельфа от его современной глубины определяет формирование мерзлого слоя различной мощности: с ростом глубины шельфа увеличивается продолжительность периодов трансгрессии и соответствующих периодов деградации субаквальной мерзлоты.

С использованием разработанной модели проведен анализ влияния таликовых зон, связанных с термокарстовыми озерами, и процессов в рифтовых зонах на динамику субаквальных многолетнемерзлых пород и зоны стабильности газовых гидратов для условий шельфа моря Лаптевых. Интенсификация деградации подводной мерзлоты проявляется в областях, где развиваются термокарстовые озера, и связана с повышением температуры на

верхней границе донных отложений. Наличие зон рифтов и термокарстовых озер способствуют уменьшению современной мощности многолетнемерзлых пород, а при их одновременном влиянии – к сквозному протаиванию мерзлоты шельфа.

Анализ современного состояния субаквальной криолитозоны проведен с учетом температуры и солености придонной воды, полученных из климатической модели океан-лед, разработанной в ИВМиМГ СО РАН. Получены оценки мощности многолетнемерзлых пород шельфа с учетом данных интенсивности теплового потока. Согласно проведенным расчетам толщина мерзлого слоя в донных отложениях шельфа зависит от глубины моря, геотермического потока, засоления донных отложений и составляет от 50 до 700 м.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 17-05-00396, 17-05-00382).

ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОД СРЕДИЗЕМНОГО МОРЯ ПО ПОПУТНЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ ВО 2-М РЕЙСЕ НИС «ГОРИЗОНТ»

Маньковский В.И., Маньковская Е.В.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
mankovskiy@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: показатель ослабления, индикатриса рассеяния, биогены, Мраморное море, Эгейское море.

В докладе приводятся данные об оптических характеристиках вод Средиземного моря, от пролива Гибралтар до пролива Дарданеллы, полученные по попутным измерениям во 2-м рейсе НИС «Горизонт» в мае 1998 г.

Показатели ослабления и рассеяния света в поверхностных водах характеризуются постепенным их уменьшением по направлению с западной части моря в восточную. В Эгейском море около

пролива Дарданеллы наблюдались воды Мраморного моря, отличающиеся высокими величинами показателей ослабления и рассеяния света.

По величине основных параметров индикатрисы рассеяния света в водах Средиземного моря аналогичны индикатрисам в тропических водах Атлантического океана. В водах Средиземного моря, как и в других водных бассейнах, наблюдалась связь коэффициента асимметрии индикатрисы рассеяния света с показателем рассеяния, проявляющаяся в возрастании значений коэффициента асимметрии при увеличении показателя рассеяния.

Работа выполнена в рамках государственного задания по темам № 0827-2019-0002 и № 0827-2019-0004.

ЯВЛЕНИЕ ЛА-НИНЬЯ: ПРОСТРАНСТВЕННО- ВРЕМЕННАЯ ТИПИЗАЦИЯ И ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ В СЕВЕРНОМ ПОЛУШАРИИ

Марчукова О.В., Воскресенская Е.Н., Лубков А.С.

*ИПТС, г. Севастополь, Россия
olesjath@mail.ru*

Ключевые слова: Ла-Нинья, температура поверхности океана, климатические аномалии, северное полушарие, Эль-Ниньо – Южное Колебание.

Ла-Нинья – это холодный эпизод всеми известного феномена Эль-Ниньо – Южное Колебание, который характеризуется экстремальным понижением поверхностной температуры воды (ТПО) в экваториальной части Тихого океана, как минимум на протяжении пяти последовательных месяцев. Повторяются такие события с периодом от двух до семи лет. Известно, что Ла-Нинья, как и его противоположный аналог Эль-Ниньо, вызывает глобальные климатические аномалии, нарушая привычные погодные условия. В результате в одних регионах развиваются сильные шторма, наводнения, холодные зимы, в других – засухи и гибель сельскохозяйственных угодий.

Цель настоящей работы – классифицировать события Ла-Нинья с учетом пространственно-временной изменчивости аномалий ТПО и проанализировать гидрометеорологические аномалии в Северном полушарии в годы полученных типов Ла-Нинья.

В работе анализ Ла-Нинья и его классификация проводились на основе использования массива HadISST (Великобритания) о реконструированной среднемесячной температуре поверхности океана с 1900 по 2018 гг. с разрешением сетки в 1° . В качестве основных характеристик для исследования откликов на разные типы Ла-Нинья были взяты среднемесячные значения температура воздуха и приземного давления из реанализа 20th Century Reanalysis V2c с 1900 по 2014 гг.

Новая пространственно-временная типизация осуществлялась с помощью разложения пространственно-временных полей аномалий ТПО в экваториальной части Тихого океана на эмпирические ортогональные функции (ЭОФ). Поля были взяты по разрезу на экваторе (осреднение по широте от 5° с. ш. до 5° ю. ш.) от 150° в. д. до 80° з. д. для 18 временных периодов: 1903–1905, 1909–1911, 1916–1918, 1924–1926, 1933–1935, 1938–1940, 1942–1944, 1949–1951, 1954–1956, 1964–1966, 1970–1972, 1973–1975, 1975–1975, 1983–1985, 1988–1990, 1998–2000, 2007–2009, 2010–2012 гг. Именно в эти двухлетние периоды были зафиксированы события Ла-Нинья.

В результате было получено три основных ЭОФа, суммарный вклад которых в общую дисперсионную изменчивость составил почти 80%.

Первый ЭОФ составил 43,2%. В физическом смысле он демонстрирует два последовательных Ла-Нинья, которые возникают после сильного канонического Эль-Ниньо. То есть после интенсивного Эль-Ниньо возникает Ла-Нинья с формированием максимально отрицательных аномалий в центрально-экваториальной зоне Тихого океана в конце осени и начале зимы, потом утихает и ровно через год усиливается снова. Это показывает концепцию двухлетнего Ла-Нинья и еще раз подтверждает, что события Эль-Ниньо и Ла-Нинья асимметричны друг к другу.

Второй ЭОФ составил 28,4%. Ла-Нинья такого типа носят чисто восточно-тихоокеанский характер: возникают в восточно-эк-

ваториальной части Тихого океана, там же развиваются и существуют не больше года. После таких Ла-Нинья возможно образование Эль-Ниньо «Modoki».

Третий ЭОФ составил 11,1% и включил в себя слабоинтенсивные события Ла-Нинья центрально-тихоокеанского характера.

Анализ гидрометеорологических полей в северном полушарии в годы событий Ла-Нинья выявил наиболее значимые отклики в зимний период на события Ла-Нинья первого ЭОФ.

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЗОННОЙ И МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ИНТЕНСИВНОСТИ СВЕЧЕНИЯ ПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА НА ШЕЛЬФЕ ЮГО-ЗАПАДНОГО КРЫМА

Мельникова Е.Б.

*ИПТС, г. Севастополь, Россия
helena_melnikova@mail.ru*

Ключевые слова: черноморская экосистема, интенсивность свечения организмов, межгодовые, сезонные изменения.

Морская среда и живые организмы образуют экологическую систему. При этом процессы, протекающие в ней, зависят как от изменений параметров среды обитания, так и от сезонных особенностей функционирования биоценоза. Важным элементом черноморской экосистемы являются светящиеся планктонные организмы, интенсивность свечения которых характеризует как экологическое состояние морской среды, так и функциональное состояние гидробионтных сообществ. Развитие морских сообществ определяется, в первую очередь, трофическими связями в экосистемах. Поэтому исследования интенсивности свечения планктонного сообщества, являющегося одним из элементов биоценоза и тесно коррелирующего с концентрацией кормового зоопланктона, позволяет оценить функциональное состояние водных биоресурсов исследуемого района.

Целью работы является исследование общих закономерностей сезонной и межгодовой изменчивости интенсивности свечения планктонного сообщества в относительно глубоководной и мелководной акваториях на шельфе юго-западного Крыма.

Исследования межгодовой и сезонной изменчивости интенсивности свечения гидробионтного сообщества (ИСГС) проводили в относительно глубоководной акватории моря на шельфе юго-западного Крыма и в акватории Севастопольской бухты за шестилетний период (2009–2014 гг.). Измерения ИСГС и гидрологических параметров среды проводили с помощью гидробиофизического комплекса «Сальпа-М».

В докладе приведены графики изменения ИСГС, средней температуры и солёности по сезонам и годам для исследуемых районов. Тренды межгодовых изменений ИСГС находили с помощью полинома второго порядка.

Мониторинговые исследования показали, что в 2009 г. как в относительно глубоководной акватории прибрежных вод, так и в Севастопольской бухте в зимний, летний и раннеосенний периоды наблюдались самые высокие для соответствующего сезона значения ИСГС, далее наблюдался спад. Однако характер спадающих трендов для относительно глубоководной и мелководной акваторий несколько отличался.

В весенний и позднеосенний периоды межгодовые изменения ИСГС характеризовались спадами и подъемами.

Обсуждаются особенности сезонных изменений ИСГС в различные годы, связанные с такими факторами, как вертикальная структура вод, функциональное состояние гидробионтов, наблюдавшееся в начале каждого из рассматриваемых сезонов и др.

Известно, что пополнение промысловых стад молодь в значительной степени зависит от обеспеченности кормом на ранних стадиях развития.

Для изменений объемов вылова шпрота, являющегося одним из массовых обитателей экосистемы пелагиали, и изменений ИСГС был рассчитан коэффициент корреляции. В расчете были использованы изменения ИСГС в зимний период, на который приходится нерест и ранние стадии развития шпрота. В расчетах также было учтено, что средний по многолетним данным возраст

в уловах шпрота составляет 1,4 года. Был получен достаточно высокий коэффициент корреляции $r = 0,84$, что подтверждает возможность использования мониторинговых исследований ИСГС для оценки состояния обитателей пелагиали и прогнозирования возможных объемов вылова.

СЕЗОННЫЕ АНОМАЛИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В РАЙОНЕ ЮБК И ИХ СВЯЗЬ С КРУПНО- МАСШТАБНЫМИ ПРОЦЕССАМИ В АТМОСФЕРЕ

**Метик-Диунова В.В., Казаков С.И.,
Симонова Ю.В., Майборода С.А.**

*МГИ, пгт Кацивели, Крым, Россия
margodiu1@rambler.ru*

Ключевые слова: Южный берег Крыма, аномалии приземной температуры воздуха, атмосферные воздействия, климатические индексы, бора.

По данным многолетних гидрометеорологических наблюдений, полученных в Черноморском гидрофизическом полигоне, расположенном на Южном берегу Крыма в пгт Кацивели, проведен анализ среднегодовых, среднемесячных, среднесуточных аномалий приземной температуры воздуха (ПТВ) за период 2012–2016 гг. Исследована зависимость среднемесячных аномалий температуры воздуха в районе Южного берега Крыма (ЮБК) от колебаний индексов САК, ЭНЮК, чисел Вольфа (W). Рассматривались средние значения индекса САК за каждый месяц, а также за календарный сезон (зима). Наиболее значимые корреляционные связи между рядами наблюдались в 2012 г. Коэффициент корреляции аномалий температуры воздуха и САК составил $-0,82$, коэффициент корреляции аномалий температуры воздуха и ЭНЮК составил $-0,61$. Зимние периоды с 2012 по 2016 гг. характеризуются положительными аномалиями ПТВ и положительными значениями САК, при этом наблюдается отрицательная корреляция. Коэффициент корреляции осредненных аномалий для зимнего периода (декабрь – январь) с 2012–2016 гг. (пять периодов) и

осредненных значений САК в эти же периоды составил $-0,78$, когда при повышении значения индекса САК наблюдается уменьшение абсолютной величины положительной аномалии ПТВ.

В большинстве случаев при рассмотрении внутригодового хода среднемесячных значений для рассматриваемого периода отрицательный среднемесячный индекс САК характеризуется наличием положительных аномалий температуры воздуха. Отрицательные значения аномалий соответствуют в основном положительному значению САК. В 2012 г. отмечена значимая отрицательная корреляционная связь аномалий температуры воздуха и индекса ЭНЮК. 2012 год характеризуется наличием максимальной положительной среднемесячной аномалии температуры воздуха (июнь, $+6,1$ °C) и максимальной отрицательной аномалии (февраль, $-2,7$ °C) за исследуемый период. В феврале 2012 г. наблюдалась также экстремальная минимальная среднесуточная аномалия ПТВ ($-11,2$ °C).

Отрицательные аномалии зимнего периода чаще всего наблюдаются при положительной фазе САК и повышении атмосферного давления над Восточной Европой и циклонической ситуации над Черным морем. В таких случаях над северной частью моря возникают очень сильные и холодные ветры (бора), как, например, 7 февраля 2012 г. и 30, 31 декабря 2015 г. Оба события соответствовали положительной фазе САК при усилении зонального типа циркуляции и ветров в тропосфере в зоне $50-60^\circ$ с. ш.

Таким образом, в отдельные годы отмечена зависимость между внутригодовым ходом среднемесячных аномалий ПТВ и климатическими индексами САК и ЭНЮК (2012, 2015 гг.). Значимая корреляционная связь аномалий ПТВ и чисел Вольфа отмечена только в 2012 г. На экстремальные отрицательные аномалии ПТВ существенно влияют региональные факторы, в частности, бора.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00803-19-00.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВЕТРА ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ АРКТИКИ – ОДНО ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Минин В.А.

*ЦФТПЭС КНЦ РАН, г. Анапаты, Россия
minin@ien.kolasc.net.ru*

Ключевые слова: удаленные потребители Арктики, энергоснабжение, энергия ветра, ветроэнергетические установки.

Арктическим районам России в последние годы уделяется повышенное внимание. Это связано с освоением природных ресурсов Арктики, обеспечением круглогодичной навигации по Северному морскому пути, поддержанием оборонной безопасности северных территорий страны. В связи с этим в указанных районах вполне обоснованно существует большое количество рассредоточенных объектов, небольших потребителей энергии, таких как метеостанции, маяки, пограничные заставы, пункты базирования геологов, рыбаков, объекты специального назначения. Необходимость в функционировании таких объектов сохраняется на далекую перспективу. При этом удаленность и разобщенность потребителей существенно затрудняют организацию их энергоснабжения. Востребованными являются предложения, направленные на экономию дорогого привозного органического топлива (чаще всего нефтепродуктов).

Для обеспечения прибрежных потребителей Севера электрической энергией в настоящее время в основном используются бензиновые и дизельные агрегаты мощностью от 8–10 до 150–200 кВт, а для обеспечения тепловой энергией – котельные установки мощностью от 0,02 до 1 Гкал/ч.

При сложившихся к середине 2019 г. ценах на дизельное топливо на опорных базах топливоснабжения в размере около 50 тыс. руб. за тонну стоимость его после доставки удаленному потребителю может достигать 70–80 тыс. руб./т и более. Это означает, что при мощности дизельной электростанции (ДЭС) 35–

170 кВт себестоимость электроэнергии составит 30–40 руб./кВт·ч и выше.

Одним из мероприятий по снижению стоимости вырабатываемой энергии может служить экономия топлива за счет использования энергии ветра. В Западном секторе Арктической зоны РФ наибольшие среднегодовые скорости ветра наблюдаются в прибрежных районах Кольского полуострова, полуострова Канин, архипелагов Новая Земля и Земля Франца Иосифа. Здесь на высоте 10 м они составляют 5–8 м/с. Максимум скоростей ветра приходится на холодное время года, и это является одной из главных предпосылок эффективного использования ветровой энергии.

В ходе проведения исследований были просчитаны варианты совместной работы ДЭС и ВЭУ. Расчеты показали, что доля возможного участия ВЭУ в покрытии графика нагрузки колеблется в пределах 30–50%. За счет применения ВЭУ экономится топливо, и себестоимость вырабатываемой электрической энергии снижается на 15–28%, главным образом, за счет снижения топливной составляющей.

В арктических районах энергия ветра может эффективно использоваться на нужды отопления. Для этого существуют весомые предпосылки: высокий потенциал ветра, продолжительный отопительный сезон (10–11 месяцев в год и более), зимний максимум скоростей ветра. Как показали расчеты, себестоимость вырабатываемой тепловой энергии может составить 14–18 тыс. руб./Гкал. Участие ВЭУ в работе котельной может способствовать уменьшению расхода топлива на 50–70% и снижению себестоимости тепловой энергии на 40–50%.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ В АКВАТОРИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ЗАПОВЕДНИКА «ХЕРСОНЕС ТАВРИЧЕСКИЙ»

Михайличенко С.Ю., Иванча Е.В., Базыкина А.Ю.

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

Ключевые слова: модель SWASH, модель SWAN, нерегулярное волнение, высоты значительных волн, подводные волноломы, цунами в Черном море, накат волн на берег.

Целью работы является исследование потенциально опасных природных явлений в акватории Национального заповедника «Херсонес Таврический». В рамках цели исследования в работе было решено две задачи: моделирование динамики поверхностного штормового волнения в прибрежном районе Херсонеса при их прохождении над подводными берегозащитными сооружениями; распространение и накат цунами на береговую зону города. Работа была разбита на два этапа. На первом этапе проводилось моделирование взаимодействия нерегулярного поверхностного волнения с подводными волноломами в прибрежной зоне заповедника. Расчеты велись с использованием волновой модели SWAN и гидродинамической негидростатической модели SWASH. В качестве граничных условий на северной и западной жидких границах прибрежной акватории Херсонеса использовался спектр развитого волнения, рассчитанный с помощью волновой модели SWAN для ураганного ветра ($V=25$ м/с) северо-западного направления. С учетом полученных граничных условий с помощью модели SWASH проведен расчет нерегулярного волнения в акватории Херсонеса для различных схем местоположения подводных волноломов. Для всех моделируемых ситуаций рассчитаны и построены поля высот значительных волн и оценены ослабляющие свойства подводных препятствий. Сделаны выводы о пригодности использования рассмотренных схем расположения подводных волноломов для защиты аварийных

участков побережья Херсонеса от разрушительного воздействия сильного штормового волнения.

На втором этапе проводилось численное моделирование распространения волн цунами в прибрежной зоне заповедника с последующим накатом волн на берег. Задача решалась в рамках нелинейной двумерной модели поверхностных длинных волн с учетом квадратичного по скорости донного трения. Начальные условия для расчетной области определялись на основе численных экспериментов для полной акватории Черного моря при разных положениях и интенсивности очагов генерации цунами. Получены оценки экстремальных смещений уровня моря при различной высоте и периоде волн цунами. Определены зоны заповедника, наиболее подверженные воздействию волн цунами.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2019-0004 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей» (шифр «Прибрежные исследования»).

СТОХАСТИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР ПОЛЕЙ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА

Молодыхина С.В.¹, Гузенко Р.Б.¹, Май Р.И.²

¹*ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия*

²*Крыловский государственный научный центр,
г. Санкт-Петербург, Россия
sofiyamolodyhina@mail.ru*

Ключевые слова: ледяной покров, стохастический генератор.

Ведение хозяйственной деятельности на арктическом шельфе напрямую зависит от ледовой обстановки. Для некоторых инженерных задач необходимы исследования режимных характеристик процессов и явлений, функционально связанных с парамет-

рами ледяного покрова. Примером таких задач являются исследования изменения трафика движения судов по трассам Северного морского пути, расчет экстремальных условий эксплуатации сооружений на шельфе и т. д. При этом необходимая длина реализации процессов и явлений может существенно превышать длительность имеющихся рядов наблюдений за льдом. Один из способов решения поставленных задач – создание и использование стохастического генератора, который позволит обеспечить искусственной ледовой информацией модели процессов и явлений, функционально связанных с параметрами ледяного покрова. Синтетическая ледовая информация по своим пространственно-временным статистическим характеристикам будет соответствовать реальной картине состояния ледяного покрова.

Предлагаемый стохастический генератор ледяного покрова основан на моделировании методом Монте-Карло цепями Маркова. По временным рядам проекта OSI SAF определены последовательности изменения сплоченности, по этим последовательностям для каждой градации сплоченности найдены функции распределения условной вероятности изменения сплоченности на следующий шаг по времени. Полученные для каждой точки пространства и для каждого сезона матрицы переходных вероятностей служат основным ресурсом для стохастического моделирования. Сам процесс стохастического моделирования выполняется путем повторения двух шагов: 1) генератором случайных чисел определяется значение квантиля, по которому по функции распределения условной вероятности определяется сплоченность на следующий временной шаг, 2) по определенной сплоченности выбирается функция распределения условной вероятности для следующей итерации.

Все усложняется тем, что ледяной покров сопряжен не только во времени, но и по пространству. В основе ледовой информации лежит такое понятие как ледовая зона – ограниченная область с одинаковыми характеристиками ледяного покрова. Для оценки пространственно-временной инертности характеристик ледяного покрова по данным проекта OSI SAF с учетом сезонной изменчивости определены интервал и радиус корреляции. Интервал корреляции – сдвиг во времени, при котором нормированная авто-

корреляционная функция пересекает значение ε , радиус корреляции – расстояние в пространстве, при котором коэффициент корреляции между временными рядами в разных точках превышает ε . В наших расчетах значение ε принималось равным 0,5. Кроме того, альтернативным способом радиус корреляции определялся осреднением параметра r из формулы $S = \pi r^2$, где S – площадь ледовых зон, приведенных в электронных ледовых картах SIGRID-3. Полученные оценки радиусов корреляции используются для пространственной фильтрации результатов стохастического моделирования сплоченности льда.

Последним элементом стохастического генератора ледяного покрова является метод линейной регрессии между скалярной величиной (сплоченность) и векторной величиной (ветер), разработанный в терминах векторной алгебры. Регрессионные соотношения между векторным полем ветра и скалярным полем сплоченности льда позволят учесть в стохастическом генераторе образование и закрытие полыней.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (грант № 17-79-20162).

ОСОБЕННОСТИ МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ОХОТСКОГО МОРЯ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Мороз В.В.¹, Шатилина Т.А.²

¹*ТОИ ДВО РАН, г.Владивосток, Россия*

²*ТИНРО, г.Владивосток, Россия*

moroz@poi.dvo.ru

Ключевые слова: Охотское море, термический режим вод, Охотский антициклон.

На фоне тенденции увеличения температурного фона вод в южной части Охотского моря имеет место возрастание флуктуаций поверхностной температуры в теплое полугодие. Значительные колебания температуры воды ведут к изменениям

среды обитания гидробионтов и нестабильности промысла. Целью проведенных исследований является определение причин и условий формирования аномальных термических режимов. На основе массивов гидрологических и метеорологических данных за 30-летний период исследована межгодовая изменчивость термического режима вод в зависимости от динамики вод и атмосферных процессов.

Изменчивость характеристик вод южной части Охотского моря в летний период в значительной мере связана с активной динамической активностью района. Такие составляющие системы течений здесь, как течение Соя (переносящее теплые и соленые воды из Японского моря через пролив Лаперуза вдоль побережья о-ва Хоккайдо и далее к южным проливам Курильской гряды) и Восточно-Сахалинское течение (несущее на юг вдоль восточного побережья острова Сахалин холодные распресненные северо-охотоморские воды), способствуют перераспределению потоков тепла и холода в водах района. При этом развитие того или иного звена в данной системе течений в значительной мере связано с региональными особенностями изменчивости атмосферных процессов. Согласно проведенным нами исследованиям в годы формирования холодного термического режима над Охотским морем в июле наблюдалось развитие локальной области высокого давления – Охотский антициклон. В поле геопотенциала на AT_{500} формировалась холодная тропосферная ложбина, направленная на море с северных широт. Данная структура атмосферных полей, способствует усилению ветров северных румбов, развитию Восточно-Сахалинского течения. Развитый Охотский антициклон, являясь блокирующим для проходящих циклонов, изменяет их траектории и направляет на восток. Ветра проходящих над югом Охотского моря циклонов также способствуют притоку с севера холодных охотоморских вод на юг и к проливу Лаперуза. Происходит ослабление поступления через пролив течения Соя. Температура воды в исследуемом районе в эти годы опускается значительно ниже нормы. В годы формирования теплого термического режима над Охотским морем отмечалось воздействие холодной тропосферной ложбины только на северную часть Охотского моря при отсутствии

Охотского антициклона или его разрушении. В такие годы уже в июле с усилением влияния гавайского антициклона на южную часть Охотского моря происходит интенсивный вынос теплого воздуха, что характерно для летнего муссона. Ветра южных румбов препятствуют развитию южной ветви Восточно-Сахалинского течения, способствуют активизации течения Соя и формированию положительных аномалий температурного фона на юге Охотского моря.

В результате исследований выявлены механизмы причинно-следственной связи между региональными особенностями атмосферной циркуляции и изменчивостью интенсивности развития того или иного звена системы течений в южной части Охотского моря, что, в свою очередь, в значительной мере определяет формирование температурного фона вод данной акватории в летний период (в том числе аномальных термических режимов). Полученные результаты могут быть использованы для разработки прогностических моделей гидрологических условий района.

ИНЕРЦИОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ В ЧЕРНОМ МОРЕ ПО НАТУРНЫМ ДАННЫМ

Морозов А.Н., Маньковская Е.В.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
anmorozov@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: инерционные внутренние волны, автономная буйковая станция, ADCP, Черное море.

На основе анализа двух видов натурных данных по течениям обсуждаются характерные свойства инерционных колебаний в деятельном слое северной части Черного моря. Результаты спектрального анализа ~100-суточных рядов пульсаций скорости течения на пяти горизонтах (35–350 м) автономной буйковой станции показали, что в полосе частот ($2/3f - 3/2f$) вблизи локальной

инерционной (f) сконцентрировано не менее 70% кинетической энергии внутриволнового диапазона. С глубиной доля энергии инерционных колебаний в общей кинетической энергии возрастает от 8,5% на горизонте 50 м до 19% на горизонте 350 м. В основном пикноклине характерный масштаб временной переменяемости инерционных колебаний составил ~170 час, выше ~55 час, ниже ~70 час. Увеличение параметра в основном пикноклине объясняется уменьшением групповой скорости около-инерционных внутренних волн. Непрерывные профили, полученные с использованием погружаемого доплеровского профилометра течений, показали доминирование вращения вектора скорости с глубиной по часовой стрелке, что соответствует распространению волн вниз. Наблюдаемая длина около-инерционных внутренних волн составила 20–40 м по вертикали. Средняя продолжительность пакета волн ~1,5 длины волны.

Работа выполнена в рамках государственного задания по темам № 0827-2019-0002 и № 0827-2019-0004.

НАТУРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕЧЕНИЙ В ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ СЕВАСТОПОЛЯ

Морозов А.Н., Маньковская Е.В.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
anmorozov@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: вертикальная структура течений, ADCP, мыс Херсонес, Севастопольская бухта.

В докладе обсуждаются результаты измерения скорости течения акустическими доплеровскими профилометрами течений (ADCP WHM1200 и WHM300), выполненные в Севастопольской бухте и вблизи Гераклейского полуострова. В Севастопольской бухте измерения проводились 26 июня 2008 г., а также 10–11 и 20 ноября 2014 г. Экспедиционные исследования в районе мыса Херсонес (Гераклейский п-ов) выполнялись 29–31 июля 2015 г.,

09–10 сентября 2015 г., 20–21 мая 2016 г. и 12–13 сентября 2016 г. в рамках проекта «Диагностика».

В Севастопольской бухте совокупность полученных в летнее время данных выявляет двухслойную вертикальную структуру течений в окрестности входа в бухту. В верхнем слое поток воды направлен в открытое море. В нижнем слое воды поступают из открытого моря в бухту. На всех глубоководных станциях отмечается высокая изменчивость скорости течений по глубине. Проведенные измерения показывают значимость бароклинной составляющей скорости течений внутри бухты. Баротропная составляющая сопоставима с амплитудой сейшевых колебаний, период которых составляет около 1 часа.

Измерения в районе мыса Херсонес показали, что течения имеют слоистую вертикальную структуру, обусловленную взаимодействием крупномасштабных явлений прилегающей глубоководной части моря, со сложным рельефом дна в прибрежной зоне. Течения проявляют общие черты динамики прибрежных вод Черного моря, выявленные на стационарных полигонах, в частности, их бимодальность, и также обладают характерными региональными особенностями. В основном доминируют течения северо-западных вдольбереговых направлений. Модуль средней по глубине скорости течения заметно убывает при удалении от берега, что является следствием бароклинности ее вертикальной структуры. Наибольшие сдвиги скорости течения наблюдается в сезонном пикноклине. Характерные черты вертикальной структуры профиля скорости течения сохраняются на горизонтальных масштабах около 5 км на временных интервалах около 4 часов. В целом измерения показывают, что в присутствии сезонного пикноклина или существенной плотностной стратификации профили течений в прибрежных водах проявляют многообразие их вертикальной структуры и ее пространственно-временной изменчивости.

Работа выполнена в рамках государственного задания по темам № 0827-2019-0002 и № 0827-2019-0004.

ЧЕРНОМОРСКИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПОЛИГОН ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОЛОГИИ

**Мотыжев С.В.¹, Лунев Е.Г.¹, Толстошеев А.П.¹,
Дыкман В.З.¹, Зацепин А.Г.², Коновалов С.К.¹,
Коротаев Г.К.¹, Кубряков А.И.¹, Лемешко Е.М.¹,
Островский А.Г.², Рябушко В.И.³, Щуров С.В.³**

¹*МГИ, г. Севастополь, Россия*

²*ИО РАН, г. Москва, Россия*

³*ИнБЮМ, г. Севастополь, Россия*
motyzhev@marlin-yug.com

Ключевые слова: полигон, измерительные платформы, буи, оперативные наблюдения, управление измерениями, ситуационные центры.

Задача оперативной океанологии заключается в диагнозе и прогнозе состояния гидрофизических, гидрохимических и биооптических полей в различных морских акваториях, в конечном счете – во всем Мировом океане. Основой оперативной океанологии является численное моделирование для прогноза изменчивости ключевых параметров водной среды и биоты. Для калибровки и валидации результатов моделирования используются инструментальные контактные измерения, а также данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), некоторые из которых усваиваются в математических моделях.

Черное море еще со времен СССР представляло собой полигон, на котором испытывались спутниковые технологии ДЗЗ, а акватория моря рассматривалась как прообраз изменяющегося Мирового океана. При этом, технологии численного моделирования, отработанные для Черного моря, могли быть распространены на другие регионы Мирового океана.

В докладе представлены перспективы создания распределенного черноморского полигона нового типа для развития оперативной океанологии и буйковых систем оперативных измерений. Интеллектуальная сущность полигона заключается в использовании технологии «Морской Интернет Вещей», когда в результате

обмена данными между распределенными буйковыми сетями и математическими моделями производится настройка режимов и объемов измерений под динамику изменчивости контролируемых параметров с усвоением данных в численных моделях.

В рамках полигона объединяются морские возможности трех институтов РАН. Речь идет о полигонах ИО РАН в Геленджике, МГИ РАН в Кацивели и ИнБЮМ РАН в акватории Карадагского заповедника, бухтах Батилиман и Мартынова. Все эти акватории будут оснащены синхронно работающими прибрежными и морскими измерительными сетями. Измерения на шельфе будут производиться с помощью заякоренных термокос, донных станций ADCP и заякоренных лебедочных зондов, осуществляющих автоматические зондирования водной толщи от дна до поверхности. В зоне свала глубин автоматические зондирования будут осуществляться притопленными якорными буями типа «Аква-лог», оснащенными поверхностными радиобуями для передачи данных на берег. Для контроля Основного черноморского течения и глубоководной части моря будут использоваться дрейфующие буи, оснащенные измерительными косами с датчиками температуры и модулями солености, а также разрабатываемые в институтах буи, такие как профилирующие поплавки Арго и поверхностные дрейфующие буи с зондирующими CTD модулями. На охраняемых прибрежных морских акваториях будут устанавливаться унифицированные якорные буйковые станции с измерительными косами. Контроль метеопараметров будет осуществляться береговыми метеостанциями, а также метеостанциями на морских стабилизированных буях и измерителями атмосферного давления, размещаемыми на унифицированных буях. Этот тип буев также может оснащаться датчиками химических, оптических и других параметров. В силу сильной зависимости этих датчиков от окисления, загрязнения и обрастания будет необходимо их периодическое обслуживание. Все технологии измерений будут максимальным образом унифицированы и использованы на всех трех полигонах в согласованном режиме.

Все измерители будут оснащены модулями Глонасс/GPS для синхронизации измерений путем привязки к мировой шкале времени, а также определения текущих координат буев. Двухсторонняя УКВ, сотовая и спутниковая связь будут использоваться для

управления работой измерительных сетей и обеспечения оперативной передачи данных в научные центры для обработки, представления и усвоения в моделях. Данные в физическом формате будут архивироваться в банках данных для отсроченного анализа. На полигоне в Кацивели будет создан главный ситуационный центр, где будут представляться результаты инструментальных измерений и прогнозные данные численного моделирования высокого разрешения. Ситуационные центры будут информационно дублироваться в других институтах и организациях путем передачи данных из Кацивели. Полученная информация может использоваться этими институтами и организациями для своих задач.

Создание такого multifunctional полигона станет возможным на основе результатов исследований, полученных в институтах, по созданию, испытанию и применению системы диагноза и прогноза состояния Черного моря, технологиям, разработанным при создании опытной системы оперативного гидрометеорологического мониторинга Арктики, а также благодаря разработке различных буйковых комплексов и прибрежных платформ с возможностью двухсторонней связи по каналу «буй – берег».

ВНУТРИГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПОВЕРХНОСТИ БАРЕНЦЕВА И КАРСКОГО МОРЕЙ

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

*МГИ, г. Севастополь, Россия
nikolsky.geo@gmail.com*

Ключевые слова: Баренцево море, Карское море, температура поверхности океана, среднеквадратическое отклонение, сезонная и синоптическая изменчивость, фронтальные зоны, рельеф дна.

В работе рассматриваются особенности среднесезонной внутригодовой изменчивости поля температуры на синоптическом (внутримесячном) и сезонном масштабах в Баренцевом и

Карском морях по данным реанализа NOAA OI SST. Массив содержит среднесуточные значения температуры поверхности океана (ТПО) в узлах сетки $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ за период с 1982 по 2016 гг. Для анализа уровней внутригодовой изменчивости ТПО в каждом узле сетки рассчитывались ее синоптические и сезонные среднеквадратические отклонения (СКО). Синоптические СКО ТПО вычислялись по среднесуточным рядам для каждого месяца каждого года и далее осреднялись за 35 лет для января, февраля и т. д. (среднемесячные $\text{СКО}_{\text{син}}$) и за все 420 месяцев (среднепогодное $\text{СКО}_{\text{син}}$). Для расчета среднепогодного сезонного СКО ($\text{СКО}_{\text{сез}}$) были получены временные ряды среднемесячных значений ТПО, по которым вычислялись внутригодовые СКО для каждого года, которые затем осреднялись за 35 лет. Полные горизонтальные градиенты температуры (ПГТ) рассчитывались по среднесуточным значениям ТПО и далее осреднялись за все годы для каждого месяца (среднемесячные ПГТ) и по всему временному ряду (среднепогодные ПГТ).

Пространственные распределения среднепогодных величин $\text{СКО}_{\text{сез}}$ и $\text{СКО}_{\text{син}}$ ТПО показали, что уровень внутригодовой изменчивости ТПО в Баренцевом море выше, чем в Карском, что связано с интенсивной изменчивостью адвекции теплых Атлантических вод. Максимальные значения $\text{СКО}_{\text{сез}}$ и $\text{СКО}_{\text{син}}$ ТПО наблюдаются на мелководной части шельфа (на глубинах менее 150–200 м) в южной части Баренцева моря ($\text{СКО}_{\text{сез}} \sim 3,5\text{--}4,5^\circ \text{C}$, $\text{СКО}_{\text{син}} \sim 0,6\text{--}0,7^\circ \text{C}$) и в юго-западной части Карского моря ($\text{СКО}_{\text{сез}} \sim 2,5\text{--}3,0^\circ \text{C}$, $\text{СКО}_{\text{син}} \sim 0,5\text{--}0,6^\circ \text{C}$). Здесь наиболее ярко выражены процессы, влияющие на изменчивость ТПО (прогрев и выхолаживание, речной сток, интенсивная прибрежная динамика вод). В открытых районах Баренцева моря величины $\text{СКО}_{\text{сез}}$ и $\text{СКО}_{\text{син}}$ составляют $1,5\text{--}2,5^\circ \text{C}$ и $1\text{--}2^\circ \text{C}$, Карского моря – $0,5\text{--}1,5^\circ \text{C}$ и $0,3\text{--}0,5^\circ \text{C}$. При этом интенсивная синоптическая изменчивость ТПО наблюдается в зонах повышенных значений ПГТ, тогда как максимальная сезонная изменчивость – в межфронтальных областях. Севернее 80° с. ш. на всей акватории Баренцева и Карского морей и в Карском море восточнее 85° в. д. наблюдается общее понижение изменчивости ТПО и значения $\text{СКО}_{\text{сез}}$ и $\text{СКО}_{\text{син}}$ не превышают $0,8^\circ \text{C}$ и $0,2^\circ \text{C}$. Величины $\text{СКО}_{\text{сез}}$ ТПО выше $\text{СКО}_{\text{син}}$ на шельфовых участках морей в 4,5–6 раз, в открытых районах –

в 3–4 раза, в области Полярной фронтальной зоны в западной части Баренцева моря – в 1,5–2 раза.

В Баренцевом море, где проходит интенсивная Полярная фронтальная зона и наблюдается обширный шельф, связь между среднемноголетними значениями ПГТ и $СКО_{сез}$ ТПО незначима, между $СКО_{син}$ ТПО и ПГТ выявлена значимая линейная связь с величинами коэффициентов корреляции $R \sim 0,61$. Между среднемесячными значениями ПГТ и $СКО_{син}$ ТПО значимая связь отсутствует с июня по октябрь, с января по апрель ее уровень повышается и величины R достигают 0,85.

В Карском море, где мелководный шельф занимает почти всю акваторию, а фронтальные зоны менее интенсивны, чем в Баренцевом море, между среднемноголетними значениями ПГТ и $СКО_{сез}$ ТПО выявлена значимая связь с величиной $R \sim 0,69$. Уровень связи между ПГТ и $СКО_{син}$ также возрастает по сравнению с Баренцевым морем, величина R достигает 0,8. Между среднемесячными значениями ПГТ и $СКО_{син}$ ТПО значимая связь выявлена в течение всего года, с ноября по февраль величины R максимальны и достигают 0,9, в сентябре–октябре уровень связи понижается и величины R составляют 0,5–0,55.

ГИС «ЮГО-ВОСТОЧНАЯ ЧАСТЬ БАРЕНЦЕВА МОРЯ (ПЕЧОРСКОЕ МОРЕ)» ДЛЯ ОЦЕНКИ И УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ РИСКАМИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИРАЗЛОМНОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Новиков М.А., Драганов Д.М.

*ПИНРО, г. Мурманск, Россия
mnovik@pinro.ru*

Ключевые слова: ГИС, Баренцево море, Приразломное нефтяное месторождение, атлас, экологические риски.

В последние десятилетия геоинформационные технологии стали одним из наиболее эффективных инструментов анализа и управления природными явлениями и техногенными процессами. Этот факт определил специфику формирования современного геоинформационного подхода к использованию принципов

географической науки на основе геоинформационных систем (ГИС).

Под экологическим риском обычно подразумевают вероятность наступления неблагоприятных для природной среды событий вследствие развития природных процессов или антропогенного вмешательства, которые сопровождаются нежелательными социально-экономическими последствиями. Наиболее важным при анализе риска является определение уровня приемлемого риска, учитывающего оценку опасности для человека и его хозяйственной деятельности факторов среды обитания (как природных, так и техногенных), а также оценку вероятности появления негативных изменений в природной среде в результате антропогенного воздействия [Мансуров, 1996]. Для разработки практических рекомендаций по обеспечению экологической безопасности при освоении морских нефтегазовых ресурсов необходимо применение методов анализа и управления экологическим риском. Сущность последнего состоит в достижении уровня предельно допустимого риска мероприятиями, требующими приемлемых затрат.

В результате проделанной работы подготовлена пилотная версия ГИС «Юго-восточная часть Баренцева моря (Печорское море)», которая состоит из ГИС проекта и банка данных, в котором содержится подробная информация об объектах, представленных в проекте.

ГИС проект построен в программной среде ArcMap 10.0 из пакета ArcGIS компании ESRI. При выполнении картирования была использована цилиндрическая проекция Меркатора. В качестве базовой карты использована цифровая основа территории России и сопредельных государств масштаба 1:2 500 000 в конической равнопромежуточной проекции на эллипсоиде Красовского с центральным меридианом 100° в. д. и главными параллелями 46,4° и 71,8° с. ш., подготовленная специалистами Картфабрики ВСЕГЕИ в 2005 г. и находящаяся в открытом доступе.

В ходе анализа литературных источников и оцифровки собственных данных в проект в виде отдельных слоев была включена информация об многих элементах экосистемы, а также хозяйственной деятельности человека в исследуемом регионе. Таким образом, был сформирован электронный атлас современного состояния экосистемы Печорского моря, включая биоту, карты содержания загрязняющих веществ в воде и донных отложениях и карту уязвимости акватории.

Созданная в Заполярье в система морской транспортировки нефти не имеет аналогов. Помимо Варандейского нефтяного отгрузочного терминала (ВНОТ) она включает в себя нефтепровод протяженностью 158 км, береговой резервуарный парк емкостью 325 тыс. м³, насосную станцию и объекты энергообеспечения, танкерный и вспомогательный флот, состоящий из трех челночных танкеров дедвейтом 70 тыс. т, ледокола, буксира и рейдового перевалочного комплекса вместимостью 250 тыс. т, а также вахтовый поселок (http://www.arcticinfo.ru/news/section/varandeyskiy_terminal/)

В настоящий момент проект содержит следующие слои информации: карта упомянутой Варандейской системы морской транспортировки нефти; слой с расположением МЛСП «Приразломная» и маршрутами танкеров от нее; карта западного участка Северный морского пути и морских портов; карта ключевых орнитологических территорий и особо охраняемых природных территорий; а также карты путей осенней миграции некоторых видов орнитофауны, районы нагула и пути миграции лососевых видов рыб и ареалы обитания ключевых видов морских млекопитающих; карта рельефа дна и типов донных отложений, карта течений, где представлены основные виды и их названия, а также фронтальные зоны и т. д.

Большинство объектов на слоях карты имеют связь с банком данных в виде гиперссылок, где содержится подробная информация об объекте. Для примера рассмотрим более детально содержание некоторых интерактивных карт проекта.

Карта «нефтяные терминалы» представлена точечной темой, где район ВНОТ обозначен масштабируемыми символами, которые доступны только при увеличении масштаба карты до района Печорского моря. Для любого терминала на карте можно вызвать справочное окно с гиперссылками на внешние источники данных по данному объекту, в данном случае файл формата .doc с краткой информацией, пополняемой актуальными данными в текстовом редакторе независимо от ГИС-проекта. Для ВНОТ помимо текстового файла есть ссылки на спутниковые снимки и фотографии.

Карта «МЛСП «Приразломная» содержит информацию о расположении платформы, границах лицензионного участка и маршрутах танкеров. Вызвав окно ссылок для платформы, можно посмотреть фотографии или открыть презентацию в формате *MS PowerPoint* с описанием и краткой информацией о Приразломном месторождении.

Карта «Ключевые орнитологические территории» (КОТР) выполнена в виде 15 полигонов КОТР. Выбрав какой-либо объект, как и в вышеописанных случаях, можно открыть внешний файл в формате .doc, где можно найти его краткое описание и орнитологическую значимость, информацию о географическом расположении, видах птиц, типах местообитаний, статусе охраны и основных угрозах.

Карта «особо охраняемых природных территорий» включает 4 слоя: заповедники, заказники, памятники природы и проектируемые ООПТ. В слоях заповедники и заказники также доступно окно гиперссылок. Здесь при выборе определенного заповедника или заказника можно посмотреть кадастровый отчет в текстовом формате или презентацию *MS PowerPoint* с кратким описанием, справочной информацией, охраняемыми видами и крупномасштабной картой заповедника. В слое «памятники природы» доступен вызов презентации аналогичной заповедникам.

Карта «Ихтиофауна Печорского моря» включает сведения о распространении основных промысловых видов рыб на рассматриваемой акватории, путях миграции, местах нереста и промысла.

Карта «Млекопитающие Печорского моря» включает сведения о распространении на рассматриваемой акватории морских млекопитающих, преимущественно и из отрядов ластоногие и китообразные, а также охраняемых видов, таких как белый медведь и атлантический морж. Вызвав окно ссылок, можно посмотреть фотографии и общую информацию об этих животных, а также актуальные сведения о характере их пребывания на данной акватории, охранном статусе и т. д.

Картографирование рисков проводили согласно методическому подходу, предложенному нами ранее [Новиков, 2013]. Расчет величин риска на акватории представляет собой попытку практического применения «Методики исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства», разработанной Министерством природных ресурсов РФ (Утверждена в Минюсте РФ 25 мая 2009 г.).

Для оценки величины риска необходимо располагать данными о вероятности возникновения аварии, сопряженной с разливом нефти, или иной чрезвычайной ситуации. В качестве примера использованы различные данные, основанные на разных подходах. В случае возможного разлива нефти на отгрузочных терминалах в Печорском море летом и осенью рассчитанные нами величины риска составят в среднем по акватории Печорского моря 49,445 и

56,187 млн руб./год соответственно, исходя из расчетной величины вероятности аварии в портах и терминалах в $1,0 \times 10^{-1}$ [Журавель и др., 2007]. Это в том случае, если специализированные суда и служба ЛАРН будут дислоцированы в порту Нарьян-Мара. Результат картографирования рисков представлен на специальной карте. Общий смысл данной картограммы заключается в том, что величина риска возрастает по мере удаления места аварии от места дислокации специализированного флота ЛАРН. С точки зрения возможности возникновения аварийных разливов при крушениях танкеров в процессе транспортировки нефти можно использовать и другие данные. Согласно расчетам А. Мохсена (2010), прогнозируемые в настоящий период величины рисков на 1000 рейсов с учетом среднего объема разлива в портах РФ для порта Мурманск составляет 0,250. Таким образом, величина экологического риска для танкерных перевозок в южной части Баренцева моря может составлять в среднем 0,138 млн руб. на 1 рейс танкера ($0,25 \times 10^{-3} \times 552,06$ млн руб.).

СРАВНЕНИЕ ТИПИЗАЦИЙ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ ДЛЯ ЗАДАЧ НАВИГАЦИИ В АРКТИКЕ

Павлова Е.А.^{1,2}, Гузенко Р.Б.¹, Май Р.И.²,
Смоляницкий В.М.¹, Юлин А.В.¹, Таровик О.В.²

¹*ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия*

²*Крыловский государственный научный центр,*

г. Санкт-Петербург, Россия

pavlova@aari.ru

Ключевые слова: Арктика, типизация ледовых условий, навигация, роутинг.

Типизация ледовых условий (ЛУ) является важным элементом анализа ледовой обстановки для климатического мониторинга, долгосрочных и краткосрочных ледовых прогнозов и оперативного планирования морских операций.

Однако выбрать критерии для универсальной типизации ледовых условий в арктических морях непросто. Если в теплое время

года ледовые условия определяются количеством льда на акватории, что делает типизацию ледовых условий более универсальной, то в зимнее время, когда акватория арктических морей покрыта льдом, критериев оценки ледовых условий больше и они зависят от целей, для которых проводится типизация. В данном докладе рассмотрено три подхода к типизации ЛУ в зимний период в Баренцевом и Карском морях, при движении судна от Мурманска до Диксона, а также сравнение типов ледовых условий, оцененных по различным критериям. В качестве исходных данных были использованы оперативные карты ледовой обстановки ААНИИ в формате SIGRID-3 с 1997 по 2019 гг.

Для долгосрочного прогноза ледовых условий в Карском море в 2017 г. [Карклин В.П. и др., 2017] был предложен метод, в котором типизация ледовых условий основывалась на связи нарастания льда с типом суровости зимы. В данном методе в качестве критерия типизации выступает количество льда определенной толщины на акватории моря. Для данного исследования была проведена типизация ледовых условий в Баренцевом море по вышеописанному методу для Карского моря по ледовым картам на период максимального нарастания льда. Типизация для Карского моря пересчитана для более короткого ряда (с 1997 по 2019 гг.), что было необходимо для того, чтобы в каждом предложенном подходе к типизации использовались одни исходные данные.

Вышеописанный метод типизации отвечает требованиям климатического мониторинга и долгосрочного ледового прогноза, однако, при определении типов реальных ледовых условий для судоходства, возникает потребность в критериях, более приближенных к навигации.

В раннее опубликованной работе [May R. et al, 2018] был предложен подход, где в качестве критерия типизации предлагалось использовать время движения судна по оптимальному маршруту. В качестве алгоритма определения оптимального маршрута использовался роутинг, основанный на волновом методе изохрон. Скорость движения судна определялась по эмпирическим соотношениям, связывающим параметры судна с параметрами ледяного покрова. Данный метод привязан к характеристикам судна и зависит от начальной и конечной точек маршрута.

В качестве еще одного подхода к типизации ледовых условий мы предлагаем определение тяжести ледовых условий в районах, охватывающих все варианты следования судов от начального до конечного пункта, в так называемых «коридорах плавания». Суть данного метода заключается в сужении анализируемой акватории до размеров районов, в пределах которых осуществляется реальное движение судов. Плюсы данного подхода в минимальном количестве и доступности исходных данных с одной стороны и приближение к прикладным задачам навигации с другой.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект №177920162).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ В АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОМ РЕГИОНЕ НА ИЗМЕНЕНИЯ СОЛЕННОСТИ ВОД АЗОВСКОГО МОРЯ

Панов Б.Н.¹, Спиридонова Е.О.²

¹*АзНИИРХ, г. Керчь, Россия*

²*КГМТУ, г. Керчь, Россия*

panov_bn@mail.ru

Ключевые слова: Азовское море, соленость, атмосферная циркуляция, поле атмосферного давления, прогноз.

В последние два десятилетия, после 12-летнего периода низких (10–11‰) средних годовых значений солености вод Азовского моря с 2009 г. начался рост ее значений, достигших в 2017 г. 14,1‰. Аналогичная ситуация наблюдалась в 70-х гг. прошлого века. Эти аномальные явления приводят к значительному уменьшению площадей нагула проходных и придонных видов рыб Азовского моря.

Речной сток, осадки и испарение, а также перенос вод в Керченском проливе являются основными составляющими водного баланса моря, непосредственно зависящими от атмосферной циркуляции.

Для расчета средних годовых значений солености вод Азовского моря использовались материалы 71 съемки, выполненных ЮгНИРО и АзНИИРХ с 1992 по 2016 гг. Средняя соленость моря определялась без Таганрогского залива по общепринятой методике. Полученными значениями был дополнен многолетний ряд значений с 1960 г., взятый из литературных источников.

Для анализа приземной атмосферной циркуляции использован банк ежедневных данных (с 1960 по 2016 гг.) о приземном атмосферном давлении над Азово-Черноморским регионом по 16-точечной сетке. Межгодовая изменчивость циркуляции была исследована с помощью трех первых коэффициентов разложения поля приземного атмосферного давления в ряды по полиномам Чебышева.

Учитывая долговременные тенденции изменений средней солености Азовского моря и показателей атмосферной циркуляции, для оценки их связи был использован множественный линейный регрессионный анализ, в котором предикторами служили ряды значений показателей циркуляции с различными величинами упреждающего сдвига. Для учета более коротких трендов, регрессионный анализ был выполнен и для более коротких рядов: от 1960 до 1989 гг. (30 значений) и от 1990 до 2016 гг. (27 значений).

Статистическая значимость уравнений регрессии проверялась с помощью коэффициента детерминации и критерия Фишера.

Для того чтобы объяснить полученные связи, были выполнены исследования многолетних изменений структуры поля приземного атмосферного давления в регионе.

Установлено, что на протяжении 57 лет после 1960 г. существует статистически значимая связь солености и величины среднего для региона приземного атмосферного давления с упреждающим сдвигом последнего на 6–15 лет. На временном отрезке с 1960 по 1989 гг. эта связь остается статистически значимой, но с упреждением 9–10 лет. Устойчивый рост солености вод в этот период связан с предшествующим понижением атмосферного давления, обусловленным активизацией в регионе Переднеазиатской депрессии.

На временном отрезке после 1990 г. более эффективным становится влияние на соленость зональной составляющей атмосферных переносов с упреждающим сдвигом 10–12 лет. Устой-

чивый рост солености вод в этом периоде связан с предшествующим усилением над Азово-Черноморским бассейном влияния Средиземноморских циклонов.

Полученные прогностические уравнения позволяют предположить, что устойчивое уменьшение солености Азовского моря начнется с 2020 г., а к 2026 г. его средняя соленость снизится до 10,0‰.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГАЛЕЧНЫХ ПЛЯЖЕЙ ГОРОДА-КУРОРТА СОЧИ

Петров В.А., Ярославцев Н.А.

*Филиал АО ЦНИИС «НИЦ «Морские берега», г. Сочи, Россия
demmi8@mail.ru*

Ключевые слова: берегозащитные мероприятия, галечный пляж, отсыпка пляжеобразующего материала, размыв, ширина пляжа.

Побережье города-курорта Сочи, протянувшееся на 104 км от пос. Магри до р. Псоу, представляет собой чередование мысовидных и бухтовых участков берега. Ранее до 1914 г., когда началось строительство железной дороги Туапсе – Сочи, вдоль всего берега тянулась сплошная полоса галечных пляжей, со средней шириной 30–32 м, устойчивость которых поддерживалась единым вдольбереговым потоком, пополняемым по мере своего продвижения твердым стоком рек, основными из которых являлись Аше, Псе-зуапсе, Шахе, Сочи и Мзымта. Рассматриваемый участок берега испытывает наибольшую антропогенную нагрузку из российских берегов Черного и Азовского морей. Строительство Туапсинского и Сочинского портов, а позже парусного центра и Имеретинского порта, выборка материала с пляжей и русел рек существенно сказались на ширине галечных пляжей и усилило абразионные процессы. Это потребовало проведения берегозащитных мероприятий, выполняемых, в основном, железной дорогой. В настоящее время в пределах побережья Сочинского региона для защиты берега от размыва волнами в пределах 85 км возведены берегоукрепительные сооружения, включая подпорно-волноотбойные стены, бетонные откосные крепления и бермы, подводные и прерывистые

волноломы, построено 670 бетонных и каменнонабросных бун, а также выполнены многочисленные наброски из бетонных кубов и тетраподов. К настоящему времени из 104 км береговой полосы на 14,5 км пляж полностью отсутствует и еще на 5 км его ширина не превышает 5 м. От некогда широких пляжей, протягивающихся вдоль всего берега, остались непротяженные реликтовые формы, сохранившиеся в районе пос. Лазаревское и на участке берега от р. Лоо до мыса Уч-Дере. К сожалению, один из прекраснейших пляжей, ранее расположенный между устьями рек Мзымта и Псоу на протяжении 7,8 км, после строительства Имеретинского порта и возведения берегозащитных сооружений, защищающих набережную от воздействия волн, находится в стадии своей деградации. В настоящее время около 41% протяженности этого пляжа изъято из рекреационного обращения.

Основная причина деградации пляжей – сокращение выноса реками пляжеобразующего материала из-за его вывоза на строительные нужды. Решить проблему сохранения пляжей невозможно без запрета на выборку аллювия из русел рек.

Для восстановления в пределах города-курорта Сочи пляжей шириной 25 м необходимо отсыпать около 4 млн. м³ пляжеобразующего материала и еще 100 тыс. м³ ежегодно для компенсации потерь на истирание. Такие колоссальные объемы отсыпок должны быть обеспечены карьерами и возможностью доставки материала на пляж. К сожалению, вблизи рассматриваемого участка берега действующих карьеров нет, за исключением Дагомысского. Поэтому говорить о массовых отсыпках в настоящее время без открытия карьеров инертного материала не приходится.

В этих условиях восстановление пляжей возможно только на локальных участках берега под прикрытием пляжеудерживающих сооружений. Возведенный железной дорогой частокол бетонных и каменнонабросных бун, без должной отсыпки пляжеобразующего материала, не отвечает современным требованиям. В первую очередь необходимо сохранить остатки реликтовых пляжей. Если в пределах Лазаревского аккумулятивного выступа пляжи находятся в относительно стабильном состоянии, то в Лоо пляж подвержен размыву. Размыву подвержены пляжи южнее Имеретинского порта. Для его восстановления возможно использовать материал из выдвинутого в море устьевого участка р. Мзымта, вплотную приблизившемуся к вершинам отвершков приустьевого каньона.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АТМОСФЕРЫ И МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ БЕЛОГО МОРЯ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Репина И.А.^{1,2}, Степаненко В.М.², Артамонов А.Ю.¹,
Варенцов М.И.^{2,1}, Гавриков А.В.³

¹ИФА РАН, г. Москва, Россия

²МГУ, г. Москва, Россия

³ИО РАН, г. Москва, Россия

repina@ifaran.ru

Ключевые слова: взаимодействие атмосферы и моря, конвективный пограничный слой, потоки тепла и импульса, газообмен.

Измерения проводились на Беломорской биологической станции в зимние сезоны 2012, 2015, 2017 и 2018 гг. Измерительная система на пирсе ББС включала автоматическую метеорологическую станцию (АМС) Vaisala WX150, акустический термоанемометр, газоанализатор для измерения потоков и концентраций метана и микроволновый температурный профилемер (сканирующий радиометр) МТР-5НЕ. Профилемер осуществлял измерения вертикального профиля температуры на высотах до 1000 м с 5-минутной частотой сканирования и вертикальным разрешением 50 м. Данные акустического анемометра использовались для расчета потоков тепла, импульса и метана.

В 2012 г. наблюдалась сильно устойчивая стратификация атмосферы, в остальные годы синоптическая ситуация менялась, и наблюдались как устойчивые, так и неустойчивые условия. Во время измерений наблюдались различные погодные условия, в том числе ясная и безветренная погода с интенсивными приземными температурными инверсиями. Основное время измерений Солнце было ниже горизонта или наблюдались облачные условия, поэтому датчики не подвергались воздействию прямого солнечного нагрева. В 2017 г. море в период измерений не замерзло, в другие годы напротив точки измерений в проливе Великая Салма формировалась полынья, обусловленная локальными течениями. Установлена зависимость характеристик энергообмена

от ледовых условий. В условиях свободного ото льда моря положительный поток наблюдается даже при общей устойчивой стратификации атмосферы. Также исследовано влияние полыньи на потоки тепла и метана. При направлении ветра со стороны полыньи наблюдается увеличение концентрации и потока метана, а также положительный поток тепла.

Для исследования структуры приводного слоя атмосферы над полыньей был использован беспилотный летательный аппарат, оснащенный датчиками температуры и влажности. Полученные результаты позволяют предположить, что над полыньей развивается тонкий конвективный пограничный слой (КПС). Его высота может быть оценена в 20–40 м, что согласуется с толщиной облачного слоя, формирующегося над полыньей в благоприятных условиях, с предыдущими оценками высоты КПС над той же самой полыньей и с модельными исследованиями, которые предполагают высоту КПС около 50–100 м для полыньи шириной ≈ 1 км.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 17-05-01221.

ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ФЭШЕМА-ДАКЛОУ ДЛЯ ОЦЕНКИ АССИМИЛЯЦИОННОЙ ЕМКОСТИ МОРСКИХ ЭКОСИСТЕМ МЕТОДОМ АДАПТИВНОГО БАЛАНСА ВЛИЯНИЙ

Свищев С.В., Тимченко И.Е.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
sergsvishchev09@gmail.com*

Ключевые слова: моделирование морских экосистем, ассимиляционная емкость, адаптивный баланс влияний.

Для оценки ассимиляционной емкости морской экосистемы предложено использование модифицированной модели экосистемы Фэшема-Даклоу для азотного цикла в верхнем слое моря. Расчетные параметры классической модели Фэшема были дополнены ранее не учитываемыми процессами: разрушением растворенного органического вещества с образованием нитрат-ионов и

ионов аммония, упрощенным процессом нитрификации (окислением аммония до нитратов), влиянием загрязнителей.

В схеме экологического блока сохранены классические параметры среды: концентрации фитопланктона, зоопланктона, бактериопланктона, содержание в воде неорганических форм азота (нитрат-ионов и ионов аммония), концентрации органических форм азота и косного органического вещества (детрита). Однако помимо этого добавлены внешние влияния на экосистему, обусловленные различными факторами, в том числе антропогенным загрязнением и динамикой морской среды.

Скорость изменения концентрации фитопланктона определяется потреблением биогенных элементов клетками фитопланктона, тратами на жизнедеятельность и естественную смертность, выеданием фитопланктона зоопланктоном, влиянием загрязнителей. Процессы оседания фитопланктона и выноса его за пределы системы в данной модели не учитывались. Также не учитывалось лимитирование скорости роста биомассы фитопланктона иными биогенными элементами (фосфатами, силикатами), температурой и освещенностью.

Скорость изменения концентрации зоопланктона определяется процессами его роста за счет питания фито- и бактериопланктонными организмами и детритом, а также тратами на жизнедеятельность и влиянием загрязнителей. Выведание зоопланктона организмами высших трофических уровней в данной модели не учитывалось.

Скорость изменения концентрации бактериопланктона определяется потреблением аммония и растворенного органического вещества клетками бактериопланктона, его выеданием зоопланктоном, тратами на естественную смертность, влиянием загрязнителей.

Неорганические формы азота расходуются на рост фитопланктона. Пул биогенных элементов пополняется за счет экскреции зоопланктоном неусвоенной части пищи, разрушения растворенного органического вещества на нитраты и аммоний, а также при поступлении некоторых типов антропогенного загрязнения. Помимо этого, происходит перераспределение вещества от аммония к нитратам в ходе процесса нитрификации.

Скорость изменения концентрации растворенных органических форм азота определяется выделением фитопланктоном и зоопланктоном метаболитов своей жизнедеятельности и разложением (минерализацией) детрита до растворенного органического вещества, а также потреблением растворенного органического вещества бактериопланктоном и его разрушением до нитратов и аммония.

Детритный пул пополняется за счет естественной смертности фитопланктона и бактериопланктона, а расходуется в результате процессов бактериального разложения (минерализации) детрита до растворенного органического вещества и питания зоопланктона.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-47-920001 p_a.

РЕАКЦИЯ СЕЗОННОГО ТЕРМОКЛИНА НА ИЗМЕНЯЮЩУЮСЯ СКОРОСТЬ ОЧТ (ПО МАТЕРИАЛАМ ДРИФТЕРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА)

Сизов А.А., Баянкина Т.М., Лебедев Н.Е.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
sizov_anatoliy@mail.ru*

Ключевые слова: дрейфтер, термоклин, градиент температуры, скорость ОЧТ, атмосферный форсинг.

По материалам дрейфтерного эксперимента, проводившемся в Черном море в 2012–2014 гг., проведен анализ реакции сезонного термоклина в ветвях ОЧТ в западной и восточной частях Черного моря. Использовались данные по температуре с дрейфтеров с термокосой, позволяющей измерять температуру до 80 м с шагом по глубине 5 м. Анализировались условия холодного полугодия, когда интенсификация ОЧТ максимальна и атмосферный форсинг (скорость приземного ветра и суммарная теплоотдача с поверхности моря) хорошо выражен. Для анализа выбирались временные интервалы, характеризующиеся заметным (в пределах 0,2–0,3 м/с) изменением скорости ОЧТ за сравнительно короткое время (2–3 сут). Скорость ОЧТ (поверхностная и геострофическая составляющие) оценивалась по материалам, представленным на Морском

портале сайта МГИ (расчеты выполняются отделом дистанционных методов исследования). Одновременно оценивались атмосферные процессы, развивавшиеся над регионом Черного моря во время эксперимента (выделялись условия вторжения на акваторию моря холодных воздушных масс). Это позволяло оценивать вклад атмосферного форсинга и скорости течения в процессы деформации сезонного термоклина.

Получены следующие результаты. Как в западной, так и в восточной частях Черного моря наблюдается изменение глубины верхней границы сезонного термоклина в зависимости от характеристик атмосферного форсинга и скорости течения. При этом оба фактора действуют синхронно: интенсификация атмосферного форсинга и скорости течения вызывает заглубление термоклина, ослабление – его подъем на меньшие глубины. Одновременно с этим происходит изменение характеристик самого сезонного термоклина. Интенсификация течения приводит к уменьшению толщины сезонного термоклина и к возрастанию градиента температуры в нем. Уменьшение скорости течения приводит к росту толщины термоклина и уменьшению градиента температуры в нем. Временной масштаб этого процесса оценивается двумя–тремя сутками.

ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МГИ В ВОСТОЧНОМ СИВАШЕ ЗА 2018 Г.

Совга Е.Е., Ерёмина Е.С.

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

Ключевые слова: залив Сиваш, Азовское море, мониторинг, соленость.

Отличие экспедиционных исследований, проводимых МГИ в 2018 г., в сравнении с 2014–2016 гг. заключается в схеме станций отбора проб, которая в 2018 г. полностью отвечала предложенной совместно МГИ и СО ГОИН системе экологического мониторинга залива Сиваш, с учетом целей и задач единой системы государственного экологического мониторинга РФ, учитывающей

современные границы водно-болотного угодья «Восточный Сиваш» и его наиболее ценные участки территории. В ходе экспедиций были охвачены три плеса Восточного Сиваша, взяты пробы как на западном берегу Восточного Сиваша, так и вдоль Арабатской стрелки вплоть до государственной границы.

Следует отметить, что, как и в предыдущих исследованиях, в 2018 г. увеличение солёности неодинаково изменялось в различных плесах залива. Солёность продолжает расти, особенно в Южном Сиваше, даже на станциях, которые находятся ближе к проливу Тонкому, в мае солёность составляла 39; 36; 30‰, в ноябре на тех же станциях солёность возросла до 42; 39; 32‰. На всех станциях Южного Сиваша солёность в мае изменялась от 75 до 82‰, ноябре на тех же станциях – от 89 до 93‰.

Таким образом, происходит постепенное дальнейшее осолонение рапы залива Сиваш, выполнение экспедиционных работ по предложенной схеме мониторинга позволяет наблюдать динамику солёности по всей доступной акватории Восточного Сиваша.

Работа выполнена в рамках темы 0827-2019-0004 «Прибрежные исследования».

ОЦЕНКИ САМООЧИСТИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ЧАСТЕЙ СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЕЙ ПОСТУПЛЕНИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Совга Е.Е.¹, Мезенцева И.В.², Слепчук К.А.¹, Хмара Т.В.¹

¹*МГИ, г. Севастополь, Россия*

²*СО ГОИН, г. Севастополь, Россия*

xmara@mhi-ras.ru

Ключевые слова: ассимиляционная емкость, биогенные элементы, индекс трофности, Севастопольская бухта.

Севастопольская бухта – полузамкнутая акватория эстуарного типа, которая ориентирована в широтном направлении с востока на запад и характеризуется затрудненным водообменом с откры-

той (менее загрязненной) частью моря. Бухта мелководна и испытывает интенсивную антропогенную нагрузку, которая связана с большим количеством муниципальных и ливневых стоков, а также со стоком реки Черная.

Экологическое благополучие экосистем морских мелководных акваторий, независимо от проводимых природоохранных мероприятий, в первую очередь, определяется их самоочистительной способностью. Оценка способности мелководных акваторий к самоочищению может быть выполнена через расчет их ассимиляционной емкости (АЕ) по отношению к загрязняющему веществу (ЗВ) или комплексу. Особую сложность представляет оценка АЕ мелководных экосистем по отношению к биогенным элементам, поскольку зависит как от гидродинамического режима исследуемой акватории, так и от интенсивности вовлечения их в биологические процессы. Содержание биогенных элементов также определяет уровень трофности мелководной экосистемы. Однако стандартного метода оценки уровня трофности морских вод не существует. Индекс трофности воды E-TRIX является интегральным комплексным показателем, как функция отклонения от 100% насыщения вод кислородом, связанным с характеристиками первичной продукции фитопланктона (содержание фотосинтетических пигментов, в основном, хлорофилла а) и концентрацией биогенных веществ. Преимущество E-TRIX перед многими другими показателями, с помощью которых также можно оценить качество воды, заключается в том, что для расчетов применяются стандартные характеристики гидрохимического и гидробиологического мониторинга. Это позволяет корректно проводить сравнительный анализ экологического состояния вод различных морских акваторий по уровню их трофности.

Основная цель настоящей работы – проведение сравнительного анализа экологического состояния вод разных районов Севастопольской бухты, используя значения АЕ по отношению к неорганическому азоту, как приоритетному ЗВ в муниципальных и ливневых стоках, а также индекс трофности E-TRIX с применением биогеохимических параметров, рассчитанных по модели качества воды. Из неорганических форм азота приоритетным в Севастопольской бухте является нитратный азот. Расчет удельной (на 1 л) величины АЕ ($AE_{уд.}$) показал, что наиболее благополучна западная часть бухты ($AE_{уд.} = 5,1044$ мкМ в сутки), затем центральная ($AE_{уд.} = 0,6141$ мкМ/сут), восточная ($AE_{уд.} = 0,5857$

мкМ/сут). Однако по среднему значению E-TRIX наиболее чистой оказалась центральная часть бухты ($E-TRIX_{\text{ср.}} = 3,63$), затем западная ($E-TRIX_{\text{ср.}} = 3,75$), восточная ($E-TRIX_{\text{ср.}} = 3,81$). И только Южная бухта (южная часть Севастопольской бухты) по обоим индексам ($AE_{\text{уд.}} = 0,5798$ мкМ/сут, $E-TRIX_{\text{ср.}} = 4,49$) характеризуется, как наиболее подверженная экологическим рискам. Некоторое несоответствие величин AE и E-TRIX по разным частям бухты свидетельствует о том, что величина AE в отличие от индекса E-TRIX более комплексная, включает процессы разной природы, связанные как с биологическим круговоротом биогенных элементов, так и их химическим и динамическим выведением за пределы экосистемы.

Сравнительные характеристики AE различных частей акватории Севастопольской бухты в зависимости от уровня техногенной нагрузки и сезона (теплый и холодный), а также индекса E-TRIX позволят выделить акватории, наиболее уязвимые в плане самоочистительной способности и развития и формирования негативных экологических ситуаций вплоть до катастрофических.

Работа выполнена по гранту РФФИ № 18-45-920002 «Самоочистительная способность экосистем акваторий Севастопольской бухты в зависимости от уровня антропогенной нагрузки».

ЗИМНИЕ ПАВОДКИ НА РЕКЕ ЧЕРНАЯ КАК ИСТОЧНИК ПОСТУПЛЕНИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В КУТОВУЮ ЧАСТЬ СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ

Совга Е.Е., Хмара Т.В.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
xmara@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: зимне-весенний паводок, биогенные элементы, кутовая часть Севастопольской бухты, река Черная.

На крымских реках паводки случаются преимущественно в зимне-весенний период с декабря – ноября по апрель, что связано с прохождением средиземноморских циклонов. По этой причине

зима в Крыму относительно влажная, с частым выпадением осадков и малым испарением. На примере р. Черная описаны причины формирования зимне-весенних паводков на крымских реках.

Во время паводка уровень воды в реке может подняться на 2–3 м и бывает сопоставимым с объемом воды в самой бухте. Даже в меженный период расходы реки при экстремальных паводках могут увеличиваться на порядок и более. Таким образом, сток реки Черной оказывает значительное влияние на экологическое состояние акватории Севастопольской бухты.

Анализировался массив экспедиционных данных по гидрологическому и гидрохимическому режимам акватории кутовой части Севастопольской бухты под влиянием стока реки Черной за период 2007–2017 гг. из Банка океанографических данных Морского гидрофизического института РАН. Рассмотрены гидрометеоусловия формирования конкретного зимне-весеннего паводкового режима в феврале 2015 г., когда были отмечены довольно высокие температуры воздуха, что могло способствовать таянию снега в горах, а также наблюдались ливневые дожди накануне проведения съемки.

Анализируется влияние данного паводка на гидрологический режим и экологическое состояние кутовой части бухты и устьевой зоны реки Черная, с учетом расширения либо уменьшения границ распространения его влияния на акваторию.

Кутовая часть бухты включает в себя устье реки Черная (глубина 3,5 м), которое продолжается судоходным каналом глубиной 9 м, справа от которого расположен Инкерманский ковш с глубиной 7,5 м и далее Нефтегавань, отделенная от самой бухты продолжительным молом.

Анализ данных по распределению температуры, солёности и растворенного кислорода в кутовой части бухты в период зимнего паводка (4 февраля 2015 г.) показал, что распространение опресненных (4,0–16,5‰) обогащенных кислородом (от 7,2 до 7,68 мл/л) вод распространяется за пределы Нефтегавани (температуры вод от 7,6°C до 8,9°C).

Кроме изменений солёности и содержания кислорода, воды паводков могут влиять и на уровень загрязнения вод бухты биогенными элементами.

В период паводка в нижнем течении реки Черная концентрации биогенных элементов были высокими: силикатов 98–91,6 мкМ/л, фосфатов 0,03–0,08 мкМ/л, нитратов до 67,3 мкМ/л,

нитритов до 0,25 мкМ/л. С глубиной показатели кислорода менялись мало, несмотря на заметный рост солёности, но при этом концентрации кремния, фосфатов и нитратов уменьшались.

Анализ влияния конкретного паводкового режима на экологическое состояние исследуемой акватории подтвердил, что именно кутовая часть бухты наиболее уязвима в экологическом плане, а расчет самоочистительной способности ее акватории по отношению к некоторым неорганическим формам азота по величине ассимиляционной емкости исследуемой экосистемы с учетом привноса неорганического азота водами р. Черной показал недостаточную способность к самоочищению экосистемы предустьевой акватории Севастопольской бухты.

Кроме того, многолетний мониторинг акватории кутовой части Севастопольской бухты позволил обнаружить некоторые тенденции уменьшения количества интенсивных паводков и постепенное увеличение солёности акватории этой части Севастопольской бухты, что, безусловно, потребует продолжения мониторинговых исследований Севастопольской бухты с учетом сезонной динамики и изменчивости природно-климатических факторов.

Работа выполнена по гранту РФФИ № 18-45-920002 «Самоочистительная способность экосистем акваторий Севастопольской бухты в зависимости от уровня антропогенной нагрузки».

ЭКСПЕРТНЫЕ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КАРКИНИТСКОГО ЗАЛИВА С УЧЕТОМ ЕГО ЗАПОВЕДНЫХ АКВАТОРИЙ

Совга Е.Е., Хмара Т.В.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
xmara@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: экологические проблемы, уровни загрязнения, пути выноса загрязняющих веществ, Каркинитский залив.

Акватория Каркинитского залива как объект активного природопользования подвергается возрастающей из года в год антропогенной нагрузке, в особенности в его восточной мелководной

части, куда сбрасываются неочищенные промышленные и сельскохозяйственные воды. В этой связи способность залива к самоочищению и информация о водообмене его с прилегающими районами моря очень важны.

В восточной, вершинной части залива расположен природный заказник регионального значения «Каркинитский залив», в который входит орнитологический заповедник «Лебязьи острова» и аквальный комплекс, включающий Бакальскую косу и озеро Бакал, где сосредоточены ценнейшие бальнеологические ресурсы. В настоящее время экологическое состояние этого заказника существенно нарушено из-за антропогенного влияния. В наименьшей степени этой нагрузки подвержена обширная, но малоценная в кормовом отношении акватория орнитологического филиала Крымского природного заповедника, служащая безопасным местом отдыха мигрирующих водоплавающих птиц. Главное отрицательное влияние связано с интенсивным землепользованием в пределах охранной зоны, не согласованным с интересами сохранения уникального места гнездования, линьки и пролета птиц. В существующих в заливе охранных зонах, где особенно необходимо предвидеть экологические последствия, допускаются виды деятельности, отрицательно влияющие на естественные экосистемы водно-болотного угодья.

Вынос загрязняющих веществ из залива осуществляется прибрежными течениями в двух направлениях: на северо-запад вдоль Тендровской косы и на юго-запад вдоль п-ова Тарханкут, в результате чего они попадают в акваторию Одесского залива и в Каламитский залив. Часть вод юго-западного течения захватывается периодически формирующимися здесь антициклонами и переносится ими к берегам Болгарии, остальные воды увлекаются Основным черноморским течением.

Существует еще один механизм выноса антропогенных веществ из Каркинитского залива, который связан с формированием в холодное время года тяжелых вод и их субдукционным распространением за пределы залива. В заливе соленость приповерхностных вод обычно составляет 18,0–18,2‰ на всей акватории. Зимнее охлаждение приводит к развитию конвективной циркуляции, отток более плотных вод из вершины залива происходит в придонном слое. Покидают залив эти воды вблизи м. Тар-

ханкут, с увеличением глубины моря их поток приобретает характер субдукции в промежуточном слое, а их термохалинные характеристики отвечают характеристикам холодного промежуточного слоя. Следовательно, часть антропогенных загрязнений Каркинитского залива может попадать в ХПС и перемещаться с водами этого слоя по всему Черному морю.

Таким образом экологическая ситуация в акватории залива определяется процессами водообмена и термохалинной структурой вод, интенсивностью хозяйственной деятельности на побережье.

В результате выноса сбросных вод в прибрежной полосе 50–100 м усиливаются процессы илообразования: площади с содержанием в осадках пелитовой фракции 30–50% увеличились в шесть раз, а с содержанием более 50% – почти в сто раз.

В настоящее время происходит очередная перестройка биотопов мелководной части залива. Это связано как с прекращением подачи днепровской воды на полуостров, так и из-за разрушения Бакальской косы в результате нарушения технологии разработки подводного месторождения строительного песка.

При исследовании состояния акватории Каркинитского залива необходим постоянный контроль уровней загрязнения в условиях перекрытия Северо-Крымского канала и изменения системы природопользования на южном побережье залива.

Работа выполнена в рамках темы 0827-2018-0004 «Прибрежные исследования».

ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ ОЦЕНКИ ОСНОВНЫХ ЭТАПОВ РАЗВИТИЯ НОВОРОССИЙСКОЙ БОРЫ

Соколихина Н.Н., Семенов Е.К.

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

Ключевые слова: бора, атмосферная циркуляция, синоптические процессы.

Статистическая обработка и систематизация всей доступной информации позволила получить количественные критерии для генетической классификации новороссийской боры и на этой ос-

нове создать календарь генетических типов боры для двух срезов времени (холодного периода – конец 19-го века и теплого – начало 21-го века).

Установлено, что в холодный период бора в районе Новороссийска наблюдалась значительно чаще по сравнению с теплым, скорость ветра была существенно сильнее, а перепад температур более резким. В особенности это относится к фронтальной боре и, в меньшей степени, к остальным генетическим типам.

Анализ условий атмосферной циркуляции в периоды новороссийской боры показал, что синоптический сценарий развития этого явления может происходить в разных формах крупномасштабной циркуляции с участием основных типов воздушных масс: тропический воздух средиземноморского происхождения (азорский класс); атлантический умеренный воздух (северо-атлантический класс); континентально-умеренный (сибирский класс); морской арктический воздух Норвежского и Баренцева моря (арктический класс).

Для каждого класса получены типовые схемы синоптических процессов и прогностические карты разностей Н1000 между районами Восточной Европы и Новороссийском за двое суток и сутки до начала и в первый день развития боры. Показано, что наиболее сложные условия прогноза связаны с выходом в центр европейской части России подвижных антициклонов арктического класса, а наиболее простые прогнозы – со стационарными антициклонами сибирского класса.

Анализ данных радиозондирования показал, что во всех типах воздушных масс до протекания Кавказского хребта преобладала ярко выраженная устойчивая стратификация в средней тропосфере, а после перетекания – в районе Туапсе над относительно теплым морем стратификация атмосферы становилась неустойчивой.

Сопоставление синоптической и генетической классификаций показало, что фронтальный тип боры проходил на фоне синоптических процессов азорского класса в 38% случаев, в 31% – северо-атлантического и в 28% – сибирского классов, внутримассовый – азорского и сибирского классов (35 и 39% соответственно), муссонный тип боры в 67% случаев развивался при синоптических процессах арктического класса, стоковая при азорском и северо-атлантическом классах (46 и 35% соответственно).

ОСОБЕННОСТИ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ МОРСКИХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ЧЕРНОГО МОРЯ, АНАЛИЗИРУЕМЫЕ С УЧЕТОМ ИХ СОВМЕСТНОЙ СТАТИСТИКИ И ТЕОРИИ ОТКРЫТЫХ НЕРАВНОВЕСНЫХ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Соколов В.А., Апухтина С.П., Егоров П.А.

*ГОИН, г. Москва, Россия
vasokolov@inbox.ru*

Ключевые слова: гидрологические поля, водные массы, совместные статистические распределения морских полей, открытые неравновесные термодинамические системы, эмпирические гистограммы.

Исследуются причины пропуска в обработке данных наблюдений и результатов моделирования температуры поверхности Черного моря климатического повышения ее среднегодовых значений на 2°C в интервале с 1990 по 2014 гг. [Белокопытов В.Н., 2017], полученных в результатах обработки спутниковых наблюдений (MODIS AQVA 1990–2014). Показывается, что причина отсутствия этого явления как в результатах обработки морских гидрологических полей (МГП), так и в результатах их моделирования связана с несоответствием природных особенностей МГП аксиоматике применяемого математического аппарата. В нем не учитываются свойства МГП, связанные с наличием в них устойчивых во времени и пространстве объемных структурных образований – водных масс [Добровольский А.Д., 1961], в водах которых МГП коррелированы. Каждой водной массе на гистограммах совместных функций плотности вероятности температуры T и солёности S (гистограммы СФПВ T - S), построенных по данным T - S на фиксированных горизонтах, соответствует свой кластер или же своя статистическая мода [Соколов В.А., 2005, 2009, 2016]. Наличие в районах исследований нескольких водных масс соответствует многомодальным статистическим распределениям T , S , в которых расчеты средних значений этих величин не имеют понятного физического смысла, как в результатах их обработки

[Гандин Л.С., Каган Р.Л., 1976], так и в результатах их моделирования [Саркисян А.С., 1991]. Отсутствие в таких расчетах климатического потепления означает, что полученные результаты не имеют отношение к реальным полям МГП. Это положение иллюстрируется результатами традиционной обработки МГП, проведенных в регионе Черного моря по интервалам временных осреднений трех последних фаз климатического индекса Атлантической Мультидекадной Осцилляции (АМО): 1928–1965, 1965–1997, 1998–2017 гг., в которых отсутствует исследуемое потепление. В то время, привлечение гистограмм СФПВ $T-S$, построенных по реальным данным $T-S$, в расчетах средних по Черному морю значений T , фиксирует исследуемое климатическое потепление T . Показывается, что описанные по результатам анализа СФПВ $T-S$ совместные свойства МГП согласуются с основными выводами теории открытых неравновесных термодинамических систем [Гленсдорф П., Пригожин И., 1973], а их объединение с учетом свойства консерватизма водных масс позволяет перейти от расчетов и исследований средних расчетных величин МГП к расчетам и исследованиям вероятных значений этих полей. Последнее открывает новую страницу в физической океанографии исследуемых морских регионов.

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СНЕГА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ТЕРМИЧЕСКУЮ ЭВОЛЮЦИЮ ТОЛЩИНЫ ЛЬДА В АЗОВСКОМ МОРЕ

Соломаха Т.А., Завьялов Д.Д.

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

Ключевые слова: морской лед, снег, термодинамическая модель, Азовское море.

Процессы формирования и развития морского ледяного покрова определяются не только метеорологическими и гидрологическими условиями региона, но и в значительной мере зависят от

наличия и свойств снега на его поверхности. К основным параметрам снежного покрова, влияющим на теплообмен, относятся толщина, плотность и коэффициент теплопроводности слоя снега. Отсутствие сведений о значениях данных параметров затрудняет применение термодинамической модели морского льда для прогноза ледовых условий. Для исследования динамики снежного покрова необходимо определить зависимость теплофизических характеристик снега от гидрометеорологических условий. На основе данных о температуре и влажности воздуха, скорости ветра и суммах атмосферных осадков блок снежного покрова в термодинамической модели морского льда должен воспроизводить основные параметры слоя снега на его поверхности. Схема описания динамики слоя снега включает в себя параметризацию процесса образования нового слоя снега с учетом следующих характеристик: фазового характера осадков; изменения плотности свежевыпавшего снега в зависимости от температуры воздуха и скорости ветра; изменения теплопроводности и альбедо снега; превращения снега в лед, когда линия раздела снег – лед оказывается ниже уровня воды.

Результаты численных экспериментов по воспроизведению сезонной эволюции толщины ледяного покрова Азовского моря с использованием различных схем параметризации теплофизических характеристик снега сравнивались между собой и с данными наблюдений, полученными на береговой научно-экспедиционной базе Южного научного центра РАН в Кагальнике.

Показано, что небольшие различия в схемах параметризации физических и теплофизических свойств снега могут приводить к широкому разбросу в результатах моделирования, а взаимодействие между морским снежно-ледяным покровом и атмосферой носит выраженный региональный характер. В результате высокой временной и пространственной изменчивости ледяного покрова Азовского моря при изучении процессов теплопереноса в системе снег – лед необходим тщательный выбор параметризации физических и теплофизических свойств слоя снега.

НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ В РАЙОНАХ РАЗЛИВА НЕФТЯНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ

Сорокин А.Н.¹, Щодро А.Е.²

¹198 научно-исследовательский центр МО РФ,
г. Севастополь, Россия

²МГИ, г. Севастополь, Россия
alexueg@hotmail.com

Ключевые слова: гидроэкология, разливы нефти, оценка загрязнений.

Важной задачей следует считать установление поля концентраций загрязнения морской среды нефтяными углеводородами (НУ), которые поступают из поврежденных трубопроводов, проложенных на дне, а также при постоянной эксплуатации судов и при аварийных разливах.

Их трансформация в воде характеризуется последовательными процессами: испарением, эмульгированием, растворением, окислением, образованием агрегатов, седиментацией, биodeградацией, включающей микробное разрушение и ассимиляцию планктонными и бентосными организмами. Поэтому в море НУ может находиться в различных миграционных формах, включающих: 1) поверхностные пленки (слики); 2) эмульсии (типа «нефть в воде» и «вода в нефти»); 3) нефтяные агрегаты (комочки, tar balls); 4) растворенные формы; 5) взвешенные формы, сорбированные донными осадками и аккумулированные водными организмами.

Разливы НУ относятся к числу наиболее сложных и динамичных явлений распределения примесей в море. При аварийных разливах доминирующей формой является слик – поверхностная нефтяная пленка. Распространение нефтяного слика на поверхности моря происходит как за счет процессов растекания, так и адвекции. Адвекция возникает под влиянием ветров и течений и зависит от движения водных масс: конвективных перемещений, ветро-волновых течений и циркуляции. Ранжируются эти факторы по степени их

значимости для экологии акватории. Алгоритм ранжирования представляется так: с помощью диаграммы Исикавы изучается влияние различных факторов, связанных с разливом НУ. Методом экспертно-аналитической оценки устанавливаются весовые коэффициенты, характеризующие негативное влияние каждого фактора. Далее, применяя метод анализа иерархий (МАИ), устанавливаются наиболее опасные факторы влияния на экосистемы водных акваторий. После этого задача сводится к гидродинамической оценке диффузионно-конвективного переноса загрязнений. Причем диффузионная задача может решаться в отдельности как для поверхностных слоев акватории, переносящих нерастворенные компоненты нефти, так и для глубинных слоев. Для идентификации факторов техногенной нагрузки (ТН) проводится экспертный опрос специалистов в области гидроэкологии для составления причинно-следственной диаграммы Исикавы. По результатам опроса составляется иерархическая структура факторов и подфакторов, перечисленных выше. Для оценки и ранжирования ТН для разных МР НУ по факторам происхождения необходимо составить экоинформационную матрицу, в которую будут входить все имеющиеся факторы и подфакторы ТН из диаграммы Исикавы.

Приближенная оценка значимости описанных выше явлений в соответствии с описанным алгоритмом представляется так, что идет ряд процессов: разбивка нефтяных пятен на отдельные фрагменты, по их значимости: 45–50% – их диспергирование и дрейф; 30–35% – эмульгирование и дрейф; 20% – выветривание нефти (испарение, диспергирование и биodeградация). Эти процессы далее изучаются с помощью гидродинамической модели. Для этого используется модифицированное нами нестационарное k -уравнение турбулентной энергии. (k – обобщенный параметр). Задача решается сеточным методом при соответствующих начальных и граничных условиях. Для расчета использован известный полунявный алгоритм Кранка-Николсона. Учет процессов генерации и диссипации энергии k производится путем задания этих факторов и последующего их уточнения с помощью полной k - $Epsilon$ модели. Таким образом, в работе установлены и ранжированы основные факторы, определяющие степень загрязнения акватории нефтепродуктами, предложен алгоритм расчета распространения загрязняющих факторов.

СИНОПТИЧЕСКИЕ ВИХРЕВЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ В ЧЕРНОМ МОРЕ КАК ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ ЕГО РЫБОПРОДУКТИВНОСТИ

Спиридонова Е.О.¹, Панов Б.Н.², Смирнов С.С.²

¹*КГМТУ, г. Керчь, Россия*

²*АзНИИРХ, г. Керчь, Россия
panov_bn@mail.ru*

Ключевые слова: синоптические вихри, характеристики галоклина, экосистемные связи, биотические показатели.

В механизме функционирования морских экосистем определяющая роль принадлежит циркуляции вод. В Черном море преобладающий режим среднемасштабной синоптической нестационарности циркуляции определяет ряд биотических и рыбохозяйственных характеристик экосистемы, изменения которых проявляются в масштабах межгодовой и многолетней изменчивости.

Выполненными для восточной половины моря исследованиями было обосновано использование максимальных градиентов солёности воды и глубины их залегания (галоклина) в качестве идентификатора малых антициклонических вихрей (МАЦВ), циклонических вихрей (ЦВ) и глубоких антициклонических вихрей (ГАЦВ).

По материалам наблюдений 1955–1996 гг. установлена статистически достоверная связь многолетних изменений средней годовой величины градиента солёности в МАЦВ и ГАЦВ с биологическими и рыбопромысловыми характеристиками восточной половины моря. Увеличение градиента солёности обуславливает рост биомассы фитопланктона, снижение его биоразнообразия, уменьшение биомассы зоопланктона, увеличение запаса черноморского шпрота и вылова хамсы.

В межгодовой изменчивости (после исключения линейного тренда) рост градиента солёности в МАЦВ приводит к росту биомассы фитопланктона, уменьшению биомассы медузы, снижению запаса шпрота, а изменение градиента солёности в ГАЦВ влияет только на изменения биомассы зоопланктона.

Полученные связи могут быть использованы для диагностики изменений биотических показателей черноморской экосистемы в

зависимости от активности антициклонической завихренности течений.

Для анализа изменчивости тенденций внутри рядов полученных характеристик черноморского галоклина использовались методы спектрального анализа и полиномиальной аппроксимации уравнением полинома восьмой степени.

Цикличность рассматриваемых характеристик галоклина дает возможность использовать их в прогнозировании. Для обеих характеристик галоклина ЦВ можно отметить цикл в 3–4 года, для МАЦВ и ГАЦВ в изменениях глубины положения галоклина выделена периодичность 3 и 6 лет, а у величины градиента – 5 и 8 лет.

Сопоставление многолетних тенденций изменений характеристик галоклина (в полиномиальной аппроксимации) и еще одной группы биологических и рыбопромысловых показателей глубоководной части черноморской экосистемы, показало, что рост биологической продуктивности экосистемы (от концентрации зоопланктона) начинается в периоды увеличения в ГАЦВ и МАЦВ глубины залегания галоклина и уменьшения значений градиентов солености в нем, то есть в периоды активизации антициклонической завихренности. Общая продолжительность такого роста биологических и рыбопромысловых показателей в экосистеме Черного моря в случае однонаправленных изменений в ГАЦВ и МАЦВ может достигать 12–13 лет (некоторых показателей – 4–7 лет), как это было в 70-е гг. прошлого века, а может быть меньше (3–5 лет) в случае положительного влияния только МАЦВ, как в конце 80-х – начале 90-х гг.

АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ ИЗМЕНЕНИЯ БИОКЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОМФОРТНОСТИ НА КУОРТОХ ЧЕРНОГО МОРЯ

Стефанович А.А., Воскресенская Е.Н.

*ИПТС, г. Севастополь, Россия
amazurenko@mail.ru*

Ключевые слова: температура воздуха, тренд, климатический комфорт, курорты Крымского полуострова, биоклимат.

Благоприятный климат, как один из особо важных природных факторов развития туризма, обозначает наиболее подходящие временные периоды и места для рекреации. В современной практике для определения комфортности и пригодности климатических условий для туризма широкое применение находят биоклиматические методы оценки.

Целью настоящего исследования является изучение изменений биоклиматических показателей комфортности курортов Крымского полуострова. В работе приведены результаты построения линейных трендов и оценки их статистической значимости для некоторых биоклиматических характеристик.

Информационной базой в работе послужили ряды ежедневных наблюдений за температурой воздуха, относительной влажностью, скоростью ветра и приземным атмосферным давлением по пяти станциям Крымского полуострова (Севастополь, Феодосия, Ялта, Евпатория и Керчь) за период 2005–2017 гг. (источник – справочно-информационный интернет-портал «Расписание погоды»), а также метеоданные из реанализа NCEP/NCAR на высоте 2 м с пространственным разрешением $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ и данные ежедневных наблюдений E-OBS, приуроченные к узлам пространственной сетки $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ за период 1950–2017 гг.

Поскольку главным метеорологическим параметром, составляющим основу всех биоклиматических индексов, является температура воздуха, то большее внимание при анализе полученных результатов уделялось именно ей. Наиболее выраженный положительный тренд среднемесячной температуры, значимый на 99% уровне, отмечается в весенний сезон, в марте, и составляет более 2°C за 68 лет. В результате такого роста температуры весной более быстрыми темпами прогревается воздух. В то же время отмечен рост максимальных значений температуры в осенние месяцы и рост минимальных значений температуры в весенние, что приводит к увеличению продолжительности теплого периода.

Коэффициенты наклона линейных трендов показателей эквивалентно-эффективной, нормально эквивалентно-эффективной и биологически активной температур свидетельствуют об улучшении биоклиматических условий в холодный период (осень-зима) и в начале весны на территории Крымского полуострова. Оценка

трендов максимальных значений индексов подтвердила активный рост температур в летние (июль – август) и осенние месяцы, особенно в октябре, а оценка трендов минимальных значений – рост температур во второй половине зимы, в марте, а также осенью – в сентябре и ноябре. Таким образом, изменение среднемесячных значений эффективных температур и биологически активной температуры привело к увеличению значений показателей за период в 68 лет, более скорому началу курортного сезона и повышению возможности организации эффективного отдыха и лечения в более холодные месяцы года.

Выраженную отрицательную тенденцию имеют изменения содержания кислорода в воздухе. Более быстрыми темпами уменьшается количество кислорода в марте и сентябре. Такие изменения вместе с повышением температуры воздуха приводят в осенние месяцы к увеличению периода, когда ощущается эффект духоты. По результатам оценки динамики индекса ветрового охлаждения заметны значимые улучшения биоклиматических условий ранней весной и в летне-осенний период. Это также подтверждает факт расширения временных границ теплого периода года с комфортными значениями биоклиматических показателей, позволяющих проведение рекреационных мероприятий.

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ВЫСОКИЕ СКОРОСТИ ВЕТРА НАД БАРЕНЦЕВЫМ МОРЕМ

Суркова Г.В., Крылов А.А.

МГУ, г. Москва, Россия

galina_surkova@mail.ru

Ключевые слова: Баренцево море, скорость ветра, экстремумы.

Многолетний режим экстремальных значений приземной скорости ветра исследован для Баренцева моря по результатам реанализа ERA-Interim за период 1981–2010 гг. Выполнена оценка пространственно-временной изменчивости величины скорости ветра обеспеченностью 0,1; 1; 5 и 50%. Показано, что в 1981–

2010 гг. значения экстремальных скоростей не демонстрируют направленного тренда, но присутствует их рост в 90-е гг., что согласуется с активизацией в это десятилетие южного меридионального типа циркуляции по Б.Л. Дзердзеевскому. Получены количественные оценки годового хода экстремальных значений скорости ветра. Показано, что наибольшая повторяемость высоких значений отмечается в декабре и январе (25–30% дней), наименьшая в мае – июне (менее 1%). Сезонный размах значений довольно велик, так, для величин 95%-й обеспеченности июльские скорости (в июле они самые низкие в году) составляют в среднем 9–11 м/с, в декабре – январе 15–17 м/с.

По данным о поле атмосферного давления на уровне моря для событий с экстремальными скоростями (1%-го уровня значимости) была выполнена типизация синоптических ситуаций, после чего определено четыре их основных типа. Экстремальные скорости ветра связаны с мезомасштабными особенностями циркуляции, не разрешаемыми явно в моделях циркуляции атмосферы, но являющимися частью крупномасштабных синоптических процессов. Поэтому выбор поля атмосферного давления, при котором возникает опасное атмосферное явление (ОЯ), – это своеобразный компромисс, позволяющий оценить статистику ОЯ по результатам моделирования поля давления, которое воспроизводится атмосферными моделями гораздо лучше, чем экстремальные значения скорости ветра. Систематизация большого набора штормовых полей приземного давления осуществлялась методом их разложения на естественные ортогональные составляющие, после чего выполнялась группировка по евклидовому расстоянию между полями в рамках кластерного анализа. Окончательная типизация синоптических ситуаций выполнялась для значений скорости ветра, превышающих 1% обеспеченность. Выбор такого порогового значения был обусловлен тем, что количество случаев представляет репрезентативную по длине выборку, эти события происходят в среднем 8 раз в год, т. е., несмотря на их невысокую повторяемость, ежегодная вероятность достижения таких значений сохраняется. Кроме того, при таких скоростях ветра значительная высота волн в открытом море достигает и превышает (в зависимости от длины разгона) значений 4–6 м, что согласно [ГОСТ, 1999] идентифицируется как сильное волнение.

Показано, что значительная часть синоптических ситуаций, приводящих к росту скорости ветра до экстремальных значений, связана с прохождением над Баренцевым морем циклонических образований, а расположение их центров определяет преобладание тех или иных направлений ветра над разными частями моря. Для каждого типа выполнена количественная оценка его ежегодной повторяемости и многолетней изменчивости. Количественное описание поля давления для каждого полученного синоптического типа позволило автоматизировать процесс анализа многолетней изменчивости, а также в дальнейшем перейти к расчету прогноза повторяемости этих явлений в будущем.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и РФФИ-РГО (проекты 18-05-60083, 17-05-41153).

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ БАЛАНС ПОТРЕБЛЕНИЯ И ВОСПРОИЗВОДСТВА РЕСУРСОВ МОРСКОЙ СРЕДЫ В СИСТЕМЕ БЕРЕГ – МОРЕ

Тимченко И.Е., Игумнова Е.М., Свищев С.В.

МГИ, г. Севастополь, Россия
timchenko.syst.analysis@mhi-ras.ru

Ключевые слова: эколого-экономическая система берег – море, адаптивная модель управления уровнем загрязнения морской среды.

Рассмотрено управление эколого-экономической системой берег – море, основанное на слежении за интегральным балансом потребления и воспроизводства двух главных видов ресурсов морской среды: биологических и ассимиляционных. Биологический ресурс был представлен индексом биоразнообразия, в качестве которого использована взвешенная сумма концентраций биологических объектов, составляющих основу пищевой цепи морской экосистемы. В качестве ассимиляционного ресурса рассмотрено свойство морской среды разрушать поступающие с береговым стоком загрязняющие вещества, являющиеся бытовыми

отходами и результатами хозяйственной деятельности. Для количественной оценки ассимиляционного ресурса использован интегральный баланс на определенном отрезке времени объемов поступивших в море загрязнений и той их части, которая подверглась биохимической деструкции за это же время. Интегральный баланс характеризовал различие в скоростях поступления и деструкции загрязнений. Предполагалось, что с ростом этого различия увеличивалась концентрация загрязнений и уменьшалась величина индекса биоразнообразия. Сформулирована задача ограничения потока поступающих в море загрязняющих веществ путем наложения на береговую социально-экономическую систему штрафных санкций, которые удорожают ее функционирование, т. к. заставляют ее инвестировать средства в очистные сооружения.

В соответствии с принципами системного анализа разработанная схема причинно-следственных связей между процессами производства обобщенного продукта в береговой экономической системе и биохимическими процессами, развивающимися в прибрежной морской экосистеме. Эта схема отвечала поставленной задаче, и она легла в основу концептуальной модели управления эколого-экономическими процессами в системе берег – море. Последовательность процессов развития состояла в следующем: выпуск продукции – рост уровня загрязнения морской среды – изменение интегрального баланса объемов накопления и деструкции загрязнений – изменение индекса биоразнообразия в зависимости от уровня загрязнения – ограничение выпуска продукции в зависимости от величины отклонения уровня биоразнообразия от нормы. За норму был принят тот уровень биоразнообразия, который соответствует среднему многолетнему вектору концентраций основных живых объектов экосистемы. В структуру модели управления процессами потребления и воспроизводства морских ресурсов включены логические агенты, осуществлявшие контроль над сценариями процессов и ограничивавшие сброс загрязняющих веществ в море в зависимости от экологического состояния морской среды.

Для построения формальной математической модели управления была сформулирована концепция адаптивного баланса процессов развития в системе берег – море. Концепция предполагала, что существует некоторое стационарное состояние системы, в качестве которого могут быть приняты известные из наблюдений средние многолетние значения всех моделируемых

процессов. Внешние влияния выводят систему из стационарного состояния, но она стремится вернуться в него, когда внешние влияния исчезают. В этом заключалось второе предположение, вытекающее из свойства устойчивости системы. Третье предположаемое свойство заключалось в способности системы адаптивно реагировать на внешние влияния. Под этим понималась динамическая подстройка процессов к друг к другу и к внешним влияниям с сохранением материальных балансов реакций образования продуктов системы из ее ресурсов.

При составлении уравнений модели был применен метод адаптивного баланса влияний, удовлетворяющий введенным предположениям. В методе применены обыкновенные дифференциальные уравнения логистического типа, сохраняющие материальные балансы превращения веществ. Важной особенностью использованного метода моделирования явился способ оценки коэффициентов уравнений модели, учитывающих влияния процессов друга на друга в ходе адаптации. Предложено оценивать коэффициенты влияний, которые определяют, какая часть ресурса формирует величину продукта системы, используя для этой цели нормированные отношения средних значений двух взаимодействующих процессов. Этот способ нормировки коэффициентов учитывал текущие относительные веса влияний.

В качестве примера рассмотрена задача управления береговым стоком загрязняющих веществ с учетом интегрального баланса потребления и воспроизводства ассимиляционного и биологического ресурса в системе берег – морская бухта. С построенной моделью была проведена серия вычислительных экспериментов. Рассчитаны сценарии экономических процессов развития, показывавшие изменения объемов производства системы берег–море, себестоимости обобщенного продукта, уровня загрязнения морской среды, штрафных санкций за загрязнение и рентабельности системы. Для контроля экологического состояния морской среды получены сценарии индекса биоразнообразия, дефицита объемов воспроизводства биоресурса, объема фонда природоохранных действий. Анализ сценариев позволил сформулировать следующие выводы:

1. Адаптивные модели эколого-экономических систем берег–море, основанные на введенных выше предположениях, адекватно представляют известные из опыта причинно-следственные связи между процессами развития и могут быть использованы в

информационно-вычислительных системах контроля над балансами потребления и воспроизводства ресурсов морской среды.

2. Применение логистических уравнений метода адаптивного баланса влияний для построения формальной модели системы, а также включение в эти уравнения логических операторов управления позволяет использовать численную модель системы берег–море в качестве инструмента поддержки административных решений при выборе рациональной стратегии природопользовании в этой системе.

Постановка исследований выполнена по теме: 0827-2018-0004 (шифр «Прибрежные исследования»). Разработка модели управления процессами потребления и воспроизводства ресурсов морской среды и вычислительные эксперименты в системе берег – морская бухта проведены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Севастополя по научному проекту № 18-47-920001 «Исследование принципов построения адаптивных моделей эколого-экономических систем и цифровых информационных технологий для управления сценариями устойчивого развития природно-хозяйственных комплексов Севастопольского региона».

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЛНОВЫХ НАГРУЗОК И ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ВОЛНОГАСЯЩИЕ СООРУЖЕНИЯ С ВОЛНОВОЙ КАМЕРОЙ

Тлявлин Р.М., Макаров К.Н., Тлявлиная Г.В.

*Филиал АО ЦНИИС «НИЦ «Морские берега», г. Сочи, Россия
tlyavlinrm@tsniis.com*

Ключевые слова: волновая камера, волногасящее сооружение, сквозность, физическое моделирование.

Объектом исследования являлись волновые нагрузки и воздействия на волногасящие сооружения с волновой камерой.

Волногасящие камеры применяются в комплексе с другими гидротехническими сооружениями, такими как волноломы, причалы, пирсы, оградительные молы, набережные. Однако, ни в

отечественных, ни в зарубежных научно-технических, нормативных и методических базах вопрос волновых камер, расчетов их параметров и анализ процессов, происходящих в них при воздействии волн, не рассматривались должным образом.

Основной задачей данной работы было получение методов расчета волногасящих сооружений с волновой камерой и подготовка предложений по внесению изменений в СП 38.13330.2012 «СНиП 2.06.01-82* Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов)», базирующихся на достаточных теоретических и экспериментальных данных.

Исследования выполнялись в волновом лотке методом физического (гидравлического) моделирования. При гидравлическом моделировании обеспечивается геометрическое подобие модели натурному объекту, а также подобие волнового режима. Гидравлические исследования проведены на физических моделях, устанавливаемых в волновом лотке Филиала АО ЦНИИС «НИЦ «Морские берега», г. Сочи.

Экспериментальные исследования проводились в два основных этапа. На первом этапе в волновом лотке проведены эксперименты по определению коэффициентов волногашения и отражения для сооружений с волновой камерой. Цель экспериментов – получить эмпирические зависимости данных коэффициентов от параметров волн и конструктивных особенностей сооружений с волновыми камерами.

На втором этапе проведено экспериментальное определение волновых нагрузок на волногасящие сооружения с волновой камерой. Цель экспериментов – получение эмпирических данных, которые на последующем этапе данной работы можно будет сопоставить с рассчитанными по нормативной методике.

В процессе экспериментов на первом и втором этапах варьировались как волновые параметры, так и конструктивные особенности сооружений.

Предполагаемые итоги экспериментов – набор данных о нагрузках на волногасящие сооружения с волновыми камерами при различных параметрах волнения и конструктивных особенностях сооружений.

По данным экспериментов были откалиброваны теоретические формулы для расчета взаимодействия волн с гидротехническими сооружениями с волновой камерой, разработан новый метод расчета.

Разработанный в рамках настоящей работы метод расчета нагрузок на волногасящие сооружения с волновой камерой базируется на существующих формулах для определения нагрузок на проницаемые сооружения, отраженных в действующих нормативных документах. Особенностью нового метода является то, что его можно будет применять не только для расчета берегозащитных сооружений, но и для других волногасящих сооружений с волновой камерой.

Результаты работ предназначены для использования при разработке нормативных, технических и организационно-методических документов по расчету волногасящих сооружений с волновой камерой, в том числе при внесении изменений в СП 38.13330.2012 «Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов)».

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЛНОГАСЯЩИХ СООРУЖЕНИЙ НА ПРИЛИВНЫХ МОРЯХ

Тлявлиная Г.В., Тлявлин Р.М.

*Филиал АО ЦНИИС «НИЦ «Морские берега», г. Сочи, Россия
tlyavlinagv@tsniis.com*

Ключевые слова: волногасящее сооружение, нормативные документы, приливно-отливные явления, физическое моделирование.

Методы расчета волногасящих сооружений, в том числе и волногасящих пляжей, которые содержатся в действующих до 2019 г. нормативно-методических документах, относятся к бесприливным морям. Ни в одном из них не содержатся требования по расчету волногасящих сооружений с учетом приливно-отливных яв-

лений. Не описана также разница проявления природных процессов, оказывающих влияние на выбор и устойчивость берегозащитных сооружений.

Основной задачей исследований являлось получение методов расчета волногасящих сооружений на приливных морях, базирующегося на достаточных теоретических и экспериментальных данных.

Из опыта проектирования и строительства берегозащитных сооружений представляются перспективными для применения на берегах приливных морей следующие типы волногасящих сооружений: галечные пляжи (свободные и в комплексе с пляжеудерживающими сооружениями), волногасящие бермы из горной массы, камня и фасонных массивов. Эти сооружения и были включены в программу исследований.

Для обеспечения надежной работы волногасящих сооружений в условиях периодических колебаний уровня и возникновения приливных течений были проведены лабораторные исследования на пространственных моделях по оценке применимости методов расчета устойчивости конструкций, возведенных на бесприливных морях, для условий морей с приливами. Исследования выполнены в волновом бассейне и в волновом лотке Филиала АО ЦНИИС «НИЦ «Морские берега», г. Сочи методом физического моделирования.

Влияние приливо-отливных явлений на устойчивость волногасящих сооружений оценивалось по результатам лабораторных экспериментальных исследований в сравнении с соответствующими данными, полученными для этих же сооружений в условиях исследований при неизменном уровне, за который принимался уровень воды в максимальную фазу прилива. В начале каждой серии экспериментов для соответствующей конструкции волногасящего сооружения, выполнялись исследования их устойчивости при неизменном уровне, что соответствовало их работе в условиях бесприливных морей, параметры и масса отдельных элементов которых рассчитывались согласно действующих нормативных документов. Таким образом, сравнение результатов экспериментальных исследований волногасящих со-

оружий при неизменном и переменном уровнях воды позволило оценить влияние приливных явлений на устойчивость исследуемых сооружений.

Исследования устойчивости волногасящих сооружений, установленных перед береговым уступом для его защиты от волнового воздействия, проводились с учетом максимальных параметров волн, которые могут проявиться при максимальном подъеме уровня воды при действии прилива.

В результате получено, что за основу расчета параметров и устойчивости волногасящих сооружений, включающих галечные пляжи и бермы из горной массы, фасонных массивов и камня, возводимых на приливных морях, может быть взят расчет, выполненный по нормативным документам, разработанным для условий бесприливных морей, но при этом в соответствующие расчеты необходимо внести корректировки.

Выполненные экспериментальные исследования легли в основу свода правил 416.1324800.2018 Инженерная защита берегов приливных морей. Правила проектирования (действует с 31.05.2019 г.).

АВТОНОМНЫЙ ТЕРМОПРОФИЛИРУЮЩИЙ ДРЕЙФУЮЩИЙ БУЙ С МОДУЛЕМ ВЫЧИСЛЕНИЯ СОЛЕННОСТИ

Толстошеев А.П., Лунев Е.Г., Мотыжев С.В., Быков Е.М.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
tolstosheev@marlin-yug.com*

Ключевые слова: термопрофилирующий дрейфтер, соленость, скорость звука, температура, электропроводимость, погрешность.

В докладе представлены результаты проектирования и исследования характеристик модуля вычисления солености автономного термопрофилирующего дрейфтера. Основная проблема создания такого модуля состоит в обеспечении долговременной стабильности метрологических характеристик каналов измерения параметров, используемых для вычисления солености, в

условиях загрязнения и биологического обрастания. Исследовалась возможность реализации в дрейфтере нетрадиционного метода расчета солёности морской воды по результатам измерений скорости звука, температуры и давления. Такой метод выбран по двум причинам: 1) недостатком традиционно используемого в практике гидрофизических исследований косвенного метода определения вторичных параметров по данным электропроводимости является ограничение, связанное с предположением бинарности состава морской воды. На практике морская вода представляет собой весьма сложный по составу солевой раствор, и с этой точки зрения более корректно было бы рассчитывать вторичные параметры морской воды по скорости звука; 2) в МГИ разработан высокоточный измеритель скорости звука (ИСЗ), конструкция первичного преобразователя которого позволяет относительно просто защитить его от биологического обрастания. С целью проверки реализуемости метода были проведены лабораторные и натурные испытания модуля, состоящего из ИСЗ (МГИ, Россия), измерителя температуры с кварцевым датчиком ПТК-3М (ЭЛПА, Россия) и датчиком давления MS5535 (Intersema Sensoric SA, Швейцария). Для защиты от обрастания в датчике ИСЗ были установлены медные протекторы. Характеристика преобразования ИСЗ выяснялась стандартным методом, при котором образцовые значения скорости звука, воспроизводимые путем изменения температуры дистиллированной воды, рассчитываются по формуле Дель-Гроссо. В течение шести месяцев проводились периодические проверки стабильности характеристик ИСЗ, по данным которых отклонения результатов измерений не превысили 0,02 м/с. Для исследования долговременной стабильности характеристики преобразования ИСЗ в натурных условиях модуль был установлен в прибрежной зоне Черного моря на глубине ~3 м. Значения солёности, рассчитанные по данным измерений температуры и скорости звука, периодически сопоставлялись с данными о солёности, полученными измерителем 4319B (Aanderaa Data Instruments AS, Норвегия). В результате испытаний, которые проводились в течение трех месяцев, все конструктивные элементы модуля, кроме протекторов, подверглись интенсивному обрастанию. Обрастание оказалось акустически прозрачным, поскольку не привело к замет-

ным отклонениям оценок солености, рассчитанных по данным каналов температуры и скорости звука модуля. Для 70% отсчетов диапазон отклонений составил $\pm 0,02\%$, а наибольшие отклонения по абсолютным значениям не превысили 0,05%. В ИСЗ используется дифференциальная измерительная база, что позволяет путем установки пассивных протекторов непосредственно на отражающие поверхности базы практически исключить влияние на результаты измерений любых типов биологического обрастания.

Долговременная стабильность характеристик ИСЗ и их устойчивость к воздействию влияющих факторов позволяют обоснованно предположить возможность построения на его основе модуля вычисления солености автономного термопрофилирующего дрейфера.

ИССЛЕДОВАНИЕ КАСКАДИНГА НА АРКТИЧЕСКИХ ШЕЛЬФАХ ПО ДАННЫМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Тузов Ф.К.

*МГУ, г. Москва, Россия
fedor-tuz@mail.ru*

Ключевые слова: каскадинг, Северный Ледовитый океан.

Каскадинг – это особый тип течения, в котором уплотненная поверхностная вода, образованная вследствие охлаждения или осолонения при испарении или ледообразовании на шельфе, стекает вниз по континентальному склону на большую глубину. Этот процесс является важным физическим механизмом вентиляции промежуточных и абиссальных вод, что влияет на термохалинную циркуляцию и глобальный климат.

Крупномасштабный каскадинг с антарктических шельфов способствует образованию Антарктической Донной воды (ААДВ), наиболее распространенной водной массой в Мировом океане. Уплотненная вода, формирующаяся на ряде арктических

шельфов, играет значимую роль для поддержания так называемого холодного галоклина (ХГ) Северного Ледовитого океана – изотермического слоя с резким возрастанием солёности, расположенного в диапазоне глубин 50–150 м. ХГ создает почти непреодолимый барьер для вертикального потока тепла от промежуточных теплых вод атлантического происхождения к поверхности и ледяному покрову.

Несмотря на глобальное распространение, каскадинг как правило является локальным перемежающимся процессом. Наиболее интенсивное стекание уплотненных вод с арктических шельфов в основном происходит в придонном пограничном слое в зимний сезон, что делает затруднительным фиксацию этого явления контактными измерениями. Однако с помощью численного моделирования с достаточным временным и пространственным разрешением становится возможным выявить области, в которых происходит каскадинг.

Для исследования была использована модель NEMO (Nucleus of European Modelling of the Ocean), адаптированная для арктического региона, с пространственным шагом $1/12^\circ$ и временным интервалом выдачи результатов расчета 5 суток. Предполагается, что на таком временном интервале удастся выявить структурную изменчивость термохалинных параметров, указывающую на возможность каскадинга.

Чтобы уточнить потенциальные районы каскадинга кроме данных модельных расчетов были использованы рассчитанные по ним потоки тепла, пресной воды и соли для каждого узла сетки. Был разработан алгоритм выделения узлов сетки со значениями потоков вдоль выбранных изобат в районах арктического шельфа, где стекание уплотненных вод было установлено по данным гидрологических наблюдений в прошлом.

В докладе представлены результаты модельного исследования каскадинга в море Бофорта, и обсуждаются тренды связанных с каскадингом потоков тепла массы и соли. Данная работа выполнена по гранту РФФИ № 18-05-60083.

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ВСТРЕЧИ АЙСБЕРГОВ В КАРСКОМ МОРЕ, РАССЧИТАННАЯ ПО ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ ДРЕЙФА

Тюгалева А.И., Май Р.И.

*СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия
aska.98@inbox.ru*

Ключевые слова: численное моделирование, дрейф айсбергов, частота появления айсбергов.

Айсберги представляют большую угрозу для жизнедеятельности человека на шельфе арктических морей. Информация о ледяных образованиях всегда является актуальной для таких регионов. Одной из статистических характеристик опасных ледяных образований является вероятность встречаемости айсбергов на определенной акватории. В основном, такие оценки рассчитываются на основе имеющихся данных судовой и авиационной разведки, которые представляют собой периодические наблюдения.

В работе предложен новый метод оценки айсберговой опасности, основанный на расчете условной вероятности появления айсберга при помощи численной модели дрейфа. Для построения траектории дрейфа айсберга в модель включены силы воздействия ветра, течений (на различных горизонтах), морского льда, сила, обусловленная наклоном морской поверхности и сила Кориолиса. Также учитывается возможность посадки айсберга на мель. Верификация модели проходила по данным отслеживания айсберга, опубликованным в работе (Smith, Donaldson, 1983).

Данная модель была адаптирована для акватории Карского моря. Для расчета вынуждающих сил используются данные реанализа ERA-Interim (ветер) и данные системы диагноза и прогноза TOPAZ4 (течения, уровень, данные ледовой обстановки). Проверка модели происходила по данным отслеживания айсбергов, полученным с буев АРГО.

При помощи данной модели происходит генерация набора траекторий движения айсбергов у северного побережья Новой

Земли. Точки генерации айсбергов в модели соответствуют положению выводных ледников. Параметры айсбергов задаются по эмпирическим зависимостям, выведенным в результате анализа данных ледовой разведки для Карского моря.

Вероятность появления айсберга определяется как отношение времени нахождения айсберга в ячейке сетки модели ко всему времени моделирования. При этом, если из начальной точки построения траектории моделируемый объект уходит, то вместо него генерируется новый айсберг. Таким образом, в точке генерации всегда будет отмечаться единичная вероятность появления айсбергов. С удалением от точки генерации происходит уменьшение значения частоты встречаемости айсберга. Полученная оценка распределения вероятностей соответствует условной вероятности, т. е. вероятности при условии, что в начальной точке генерации всегда есть айсберг.

Для начальных точек генерации айсбергов оценивается вероятность обнаружения айсберга на основе анализа имеющихся данных ледовой разведки для Карского моря в архивах ААНИИ. Затем полученные в ходе моделирования поля условной вероятности умножаются на значения вероятностей обнаружения айсберга в точках генерации. Таким образом осуществляется расчет полной вероятности встречи айсбергов для выбранной акватории.

Полученное пространственное распределение полной вероятности появления айсберга совпадает с оценками частоты встречаемости айсбергов – наибольшая айсберговая опасность наблюдается в точках генерации – в районе выводных ледников Новой Земли. В рассматриваемом регионе вероятность встречи с айсбергом увеличивается с юго-востока на северо-запад. Это связано с характерным для данной акватории выносом айсбергов на север-северо-восток.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 18-05-60109.

КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ БЕРЕГОВЫХ МОРФОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ПРИМЕРЕ ОСТРОВА САХАЛИН

Уба А.В.

*ИМГиГ ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия
uba_av@mail.ru*

Ключевые слова: Сахалин, динамика, берег.

Район исследований охватывает материковое побережье северной части Татарского пролива (Де-Кастри), побережье залива Терпения и залива Невельского, а также восточный берег северного Сахалина.

На основе анализа массивов геопространственной информации различного типа выполнен анализ разрушения берегов, сложенных слабоконсолидированными породами и скалистых берегов разного типа.

Пространственные планы динамики берегов построены на основе информации временного масштаба в несколько десятков лет.

Разработана и опробована методика оценки скоростей разрушения поверхности косейсмически поднятого бенча в г. Невельск по ключевым участкам, закрепленным реперами, с использованием современной цифровой фотограмметрии за период 2016–2019 г.

Исследован скальный береговой уступ в районе п. Де-Кастри. В рамках исследования была проведена фотограмметрическая реконструкция трехмерной модели берегового уступа протяженностью 5 км, со среднеквадратической точностью привязки модели 0,5 м, при этом размер пикселя на поверхности 5 см. Рассчитаны объемы конусов выноса на активно разрушающихся участках.

Все работы проведены в рамках аспирантского исследования и включены кандидатскую диссертацию. В результате разработана и опробована методика морфометрических исследований береговой зоны субарктических морей для различных типов берегов.

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ВОД В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В 2018 Г.

**Федирко А.В., Артамонов Ю.В.,
Скрипалева Е.А., Шутов С.А.**

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

Ключевые слова: Черное море, гидрологические измерения, термохалинная структура вод, Основное черноморское течение, верхний квазиоднородный слой, холодный промежуточный слой, пространственно-временная изменчивость.

Представлены результаты исследования термохалинной структуры и динамики вод северной части Черного моря по материалам 102-го (июнь), 103-го (август – сентябрь) и 105-го (ноябрь – декабрь) рейсов НИС «Профессор Водяницкий» в 2018 г. Гидрологические измерения проводились зондирующим STD-комплексом Sea-Bird 911plus, измерения скорости и направления течений – акустическим профилографом ADCP Workhorse-300 kHz.

Показано, что максимальные инструментально измеренные скорости Основного черноморского течения (ОЧТ) наблюдались над материковым склоном к югу от Крымского п-ова и у берегов Кавказа. В июне они составляли 35–40 см/с, в августе – сентябре возрастали до 50–55 см/с и в ноябре – декабре – до 55–60 см/с. Выявленное по фактическим данным увеличение скорости ОЧТ от лета к зиме согласуется с климатическим сезонным циклом. В периоды всех съемок ОЧТ формировало серию круговоротов и меандров, количество и расположение которых изменялись от съемки к съемке. В июне на западе полигона прослеживался Севастопольский антициклон (СА). Еще один антициклон наблюдался на шельфе, на траверзе м. Сарыч. На востоке съемки хорошо прослеживался Кавказский антициклон. В августе – сентябре в районе СА над свалом глубин наблюдались два антициклона: один ближе к Гераклеюскому п-ову, другой – у западной границы

сьемки. На шельфе южнее Феодосийского залива был зафиксирован Феодосийский антициклон (ФА). На шельфе и над материковым склоном к югу от Таманского п-ова наблюдались Таманский антициклон. В ноябре – декабре на северо-западе хорошо прослеживался СА, между м. Ай-Тодор и м. Меганом наблюдался Крымский антициклон, к югу от Феодосийского залива вместо замкнутого ФА наблюдался антициклонический меандр.

В распределениях термохалинных характеристик по данным трех съемок хорошо прослеживался сезонный сигнал. Средняя температура верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) постепенно понижалась и составляла 17–26 °С в июне, 15–26 °С в августе – сентябре и 9–16 °С в ноябре – декабре. Самые соленые воды (18,4; 18,3 и 18,4‰) располагались у южных границ полигонов ближе к зонам халистатики. Минимумы солености (17,3; 17,7 и 17,8‰) наблюдались на северо-западе полигонов, где присутствовали распресненные воды северо-западного шельфа, и в восточной части съемок вдоль берегов Кавказа и Крыма, куда проникали более пресные воды юго-восточной части моря, Азовского моря и Феодосийского залива. Вертикальная мощность ВКС также увеличивалась и составляла 3–18 м в июне, 6–34 м в августе – сентябре и 10–50 м в ноябре – декабре.

Температура в ядре холодного промежуточного слоя (ХПС) и глубина его залегания изменялись в пределах 7,94–8,24 °С и 40–85 м, 8,04–8,26 °С и 40–90 м, 8,10–8,35 °С и 35–100 м соответственно. Наблюдаемые изменения характеристик ХПС (повышение температуры в ядре и его заглубление от лета к зиме) согласуются с климатическим сезонным циклом.

Глубина залегания верхней границы сероводородной зоны по изопикне 16,2 усл. ед. по данным трех съемок изменялась в пределах 90–170, 110–170 и 100–170 м соответственно.

В периоды всех съемок наибольшее заглубление нижней границы ВКС, ядра ХПС и верхней границы сероводородной зоны наблюдалось в районах антициклонов. Минимальные глубины отмечались в южной части съемок ближе к центрам крупномасштабных циклонических круговоротов.

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОД ШЕЛЬФОВЫХ ЛЕДНИКОВ В ЗАЛИВЕ ПРЮДС

Федотова А.А.^{1,2}, Демидов А.Н.²

¹МГИ, г. Севастополь, Россия

²МГУ, г. Москва, Россия

fedotovalina@yahoo.com

Ключевые слова: Южный океан, структура вод, водные массы, Воды шельфовых ледников, сезонная изменчивость, залив Прюдс.

Результаты исследования сезонной изменчивости распространения Вод шельфовых ледников (ВШЛ) в заливе Прюдс получены, прежде всего, на основе анализа T,S -диаграмм и картирования положения ядра водной массы. В работе использовалась объединенная база данных, состоящая из STD-данных, полученных в ходе зарубежных (WOD18) и отечественных экспедиционных исследований (Российская Антарктическая Экспедиция) и программы исследований с использованием морских млекопитающих (MEOP – Marine Mammals Exploring the Oceans Pole to Pole).

В теплый период (декабрь-апрель), когда залив Прюдс, как правило, освобожден ото льда, ВШЛ образуются под шельфовыми ледниками вследствие захода Антарктических шельфовых вод (ААШВ), в холодный период под шельфовые ледники возможен заход модифицированных Циркумполярных глубинных вод (МЦГВ), вследствие интенсивного их распространения на шельфе залива. ВШЛ характеризуются экстремальными минимальными значениями потенциальной температуры до $-2,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ в акватории у барьера шельфового ледника Эймери и значениями солености 34,3–34,5 епс. Идентифицируются эти воды на глубинах от 150 до 400 м по абсолютному минимуму температуры и относительному минимуму солености.

В заливе Прюдс располагается несколько достаточно крупных шельфовых ледников (Пабликейшенс, Сёрсдал, Долк и Западный), влияющих на гидрологический режим залива. Однако основным источником ВШЛ в заливе Прюдс является шельфовый

ледник Эймери (ШЛЭ). Поэтому в данной работе рассматривается сезонная изменчивость распространения вод, образованных под ШЛЭ.

На основе метода картирования ядра выявлено, что в период с января по апрель ВШЛ способны распространяться от барьера ШЛЭ в западном секторе залива Прюдс к бровке шельфа более чем на 200 км. Установлено, что выход ВШЛ на бровку проявляется в районе банки Фрама. На основе анализа T,S -диаграмм определены года, когда ВШЛ ШЛЭ наблюдались вблизи бровки и на бровке: 1987, 1991, 1992, 2011, 2012, 2015 гг.

В холодный период (май – ноябрь) в ходе анализа базы данных МЕОР-СТД выявлено распространение ВШЛ только в западной части акватории у барьера ШЛЭ до 68° ю. ш. На юге бухты Маккензи ВШЛ не выявлены. Предполагается, что выходу ВШЛ из-под ШЛЭ препятствует развитие конвекции в холодный период в полынье Маккензи.

Сезонная изменчивость распространения ВШЛ в заливе Прюдс проявляется в изменении зон распространения ВШЛ: с января по апрель наблюдается распространение ВШЛ к бровке шельфа, в период с мая по ноябрь ВШЛ наблюдаются только в западной части акватории у барьера ШЛЭ за исключением южной части бухты Маккензи. Следовательно, механизмом образования больших объемов ВШЛ является охлаждение и распреснение Антарктических шельфовых вод под шельфовым ледником Эймери.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2019-0003, исследование натурных данных проведено по гранту РНФ №19-17-00110.

МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ И ТРЕНДЫ УРОВНЯ МОРЕЯ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

Хамицевич Н.В., Берзова И.Г.

*МГИ, пгт Кацивели, Крым, Россия
nadin.khamitsevich@bshpg-ras.ru*

Ключевые слова: уровень моря, тренд, межгодовая изменчивость, аномалии, мареограф.

Целью работы является исследование межгодовой изменчивости колебаний уровня моря по данным наблюдений и оценка ее трендовой составляющей. В связи с процессами глобального потепления оценка тенденций изменения уровня Мирового океана, в том числе и связанного с ним Черного моря, представляет важную научную задачу. Глобальный рост температуры атмосферы и океана приводит к таянию ледников, росту уровня поверхности моря, что непосредственно влияет на хозяйственную деятельность человека в прибрежной зоне – размыв берегов, затопление низменных участков суши, разрушение объектов береговой инфраструктуры, снижение рекреационных возможностей прибрежных регионов и т. д.

Если в конце 90-х гг. XX в. уровень Мирового океана и Черного моря имел тенденцию роста порядка 1,5–2,0 мм/год, то в последнее десятилетие отмечается значительное увеличение скорости роста уровня.

В прибрежной зоне Южного берега Крыма (ЮБК) у мыса Кикинеиз регулярные измерения колебаний уровня моря проводятся мареографом с 1949 г. по настоящее время. В данной работе данные этих наблюдений за период 1993–2018 гг. использованы для оценки многолетней изменчивости уровня моря. Более ранние данные пока представлены в виде кривых на диаграммных лентах и при последующей обработке могут быть использованы для уточнения параметров тренда.

Среднегодовые значения уровня получены путем осреднения исходных данных с дискретностью 1 минута. Известно, что основной вклад в общую изменчивость уровня Черного моря вносят внутригодовые колебания, которые обусловлены годовыми изменениями составляющих водного бюджета, локального атмосферного давления, сгонно-нагонных явлений, поля плотности и т. д. Поэтому для корректной оценки параметров тренда также были посчитаны среднегодовые аномалии, которые представляют собой колебания уровня, из которых убран климатический сезонный ход.

Анализ полученных данных показал, что в колебаниях уровня моря присутствует квазипериодическая составляющая, период ее составляет 3–5 лет. Отмечаются максимальные значения уровня в 1995, 1999, 2002, 2005, 2009–2010, 2013, 2018 гг. Аналогичная периодичность была отмечена в колебаниях сумм годовых осадков в том же регионе. В целом анализ данных колебаний годовых значений уровня показывает устойчивую тенденцию роста уровня.

Для анализа этой тенденции был построен полиномиальный тренд первой степени. Коэффициент при первой степени уравнения тренда равен 0,3, т. е. уровень моря за анализируемый период увеличивался на 3 мм в год. Аналогичные результаты получены и при рассмотрении годовых аномалий уровня.

Таким образом, анализ данных наблюдений уровня моря в прибрежной зоне ЮБК за последние 26 лет показал, что многолетние колебания уровня имеют четко выраженную тенденцию роста.

ОПЫТ ГИДРООПТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ «ЖЕЛТОГО ВЕЩЕСТВА» БАРЕНЦЕВА И БЕЛОГО МОРЕЙ

Харламова М.Н.¹, Новиков М.А.²

¹*МАГУ, г. Мурманск, Россия*

²*ПИНРО, г. Мурманск, Россия
mnkharlamova@yandex.ru*

Ключевые слова: растворенное органическое вещество, Баренцево море, Белое море, вода, флуоресценция.

При оптических исследованиях природных вод существенным моментом является то, что большинство растворенных органических веществ (РОВ) не имеет полос в видимой области и не проявляет себя в поглощении. Исключение является группа соединений, относящаяся к пятому разделу классификации Дуурсма [Duursma, 1960], – гуминовые кислоты – вещества, по ряду свойств близкие к гумусу почв суши [Шифрин, 1983]. Эта группа веществ была открыта Калле в 1938 г. Калле назвал ее «Gelbstoff» – желтым веществом [Kalle, 1962]. Этим названием «желтое вещество» (ЖВ) обязано своим светопоглощающим свойствам. Поглощение желтым веществом резко возрастает в сторону коротких волн, что и обуславливает его желтоватую окраску. Считают, что наибольшие концентрации желтого вещества содержатся в прибрежных водах, но оно присутствует и в открытом океане.

Цель нашей работы – исследовать спектральные характеристики флуоресценции РОВ морских заливов и прибрежной зоны моря и сравнить их с таковыми во внутренних водоемах Кольского п-ова.

Отбор проб воды проводился в ходе морских экспедиций ПИНРО в Баренцевом и Белом морях в конце 90-х гг. прошлого века. Были взяты пробы воды поверхностного слоя (0–1 м) Баренцева моря из районов Западного Прибрежного и Кильдинской банки, а также заливов: губа Медвежья, губа Амбарная, губа Ура, Кольский залив, Варангер-фьорд в Баренцевом море и губа Лупча, губа Палкина – в Белом море. Анализ спектров флуоресценции выполнялся тогда же.

Для определения спектров флуоресценции и возбуждения использовали спектрофлуориметр FP-550 фирмы «Jasco» (Япония). Прибор позволяет регистрировать спектры флуоресценции и возбуждения в области 220–750 нм. Для возбуждения флуоресценции в данном приборе используется ксеноновая газоразрядная лампа мощностью 150 Вт с непрерывным спектром излучения в исследуемой нами области. Погрешность измерения длины волны согласно техническому описанию составляла $\pm 1,5$ нм, а воспроизводимость результата $\pm 0,5$ нм. Длина волны возбуждения флуоресценции составляла 266 нм [Харламова, Новиков, 2000]. Как показано нами, в стандартной записи спектра флуоресценции в природных водах регистрируются два пика: один на длине волны в диапазоне 316–340 нм, другой – в диапазоне 416–436 нм.

Величина первого максимума флуоресценции (1МФ) в водах Баренцева моря изменялась от 0 до 15 отн. ед. При этом отсутствие первого максимума было отмечено как для Амбарной губы, так и для Кильдинской банки. Во всех случаях 1МФ в воде Баренцева моря был выражен очень слабо. Максимальное значение 1МФ ($S = 5,5\%$) отмечено для Кольского залива во время отлива, что представляется нам закономерным. В губах Кандалакшского залива Белого моря значения 1МФ были выше и изменялись в интервале 5,7–22,6 отн. ед., причем пробы отбирали как летом (губа Лупча; 10%), так и осенью (губа Палкина; 20–25%).

Величина второго максимума флуоресценции (2МФ) во всех морских водах была заметно выше 1МФ, что в большинстве случаев было отмечено нами и для пресных вод [Новиков, Харламова,

2016; Харламова, 2016]. Значения 2МФ в Баренцевом море изменялись от 0 до 23,5 отн. ед., при этом наличие нулевых значений также, не зависело от места отбора проб воды. Наблюдалась строгая закономерность, когда нулевые значения обоих максимумов флуоресценции вместе не регистрировали. Всегда был либо один пик, либо, реже, оба. Для Белого моря значения 2МФ также были выше и изменялись в интервале 41,9–51,4 отн. ед. То есть в водах Кандалакшского залива всегда отмечались оба пика флуоресценции.

Как отмечалось нами ранее, в спектральной области 300–332 нм, вероятно, флуоресцируют как свободные аминокислоты тирозин и триптофан, так и связанные в составе полипептидов и белков при денатурации последних. Флуоресценция в области 416–436 нм соответствует собственно ЖВ и характерна для соединений первичного гумуса.

Коэффициент отношения максимумов флуоресценции (ОМФ) морских вод, рассчитанный нами как 1МФ/2МФ, для ненулевых значений изменялся в диапазоне 0,135–0,565 ($n = 8$) и в среднем составил 0,30. Для сравнения, в исследованных нами пресных водах Кольского п-ова ОМФ изменялся в диапазоне 0,020–2,424 ($n = 49$) и в среднем был равен 0,50. Как видно из этих данных, разница в значении ОМФ пресных и морских вод в среднем не значительная, и, вероятно, свидетельствует о «преимуществах» спектров морских вод по отношению к пресноводным. При этом, абсолютные значения 1МФ и 2МФ в пресных водах зачастую в разы больше, чем в морских.

Показано присутствие заметного количества ЖВ в водной (морская вода) вытяжке донных отложений Кандалакшского залива (губа Палкина): 1МФ регистрировали на длине волны 340 нм, 2МФ – на 440 нм, что в целом соответствовало спектрам флуоресценции пресных вод [Новиков, Харламова, 2016]. При этом ОМФ для вытяжки составил 1,3.

Сравнение полученных спектров флуоресценции морских вод с таковыми внутренних пресных водоемов Кольского п-ова выявило значительное снижение абсолютных величин регистрируемых максимумов в первом случае, вплоть до полного их исчезновения. В водах губ и заливов отмечен переходный тип спектров от типично пресноводного к морскому. Подтверждена тенденция снижения концентрации РОВ («желтого вещества») по мере удаления от области влияния речного стока в открытое море.

СТРУКТУРА ВЫНОСОВ МАЛЫХ РЕК В ЧЕРНОМ МОРЕ – МУЛЬТИСЕНСОРНЫЙ ПОДХОД

Хлебников Д.В.¹, Иванов А.Ю.¹, Коновалов Б.В.¹,
Соловьев Д.М.², Терлеева Н.В.¹

¹ИО РАН, г. Москва, Россия

²МГИ, Севастополь, Россия

dx@ocean.ru

Ключевые слова: Черное море, вынос реки, оптические снимки, радиолокатор с синтезированной апертурой, температура поверхности моря, цвет моря, взвесь, хлорофилл, структура выноса реки.

Изменчивость гидрофизических, биооптических и геохимических полей выносов малых рек восточной части Черного моря была исследована на основе анализа оптических спутниковых снимков среднего и высокого разрешения и радиолокационной информации с радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА). Выносы рек в прибрежной зоне моря отображались на оптических и инфракрасных снимках в поле цвета моря (растворенные органические и взвешенные вещества, хлорофилл) и температуры поверхности моря (ТПМ), а также на РСА-изображениях в поле шероховатости поверхности моря, модифицированной полем ветра. Одновременно с пролетами ИСЗ (искусственных спутников Земли) проводились измерения морской среды *in situ* с борта НИС с целью получения более полной информации о структуре выносов и верификации спутниковых данных. Совместный анализ квазисинхронных оптических, инфракрасных и радиолокационных изображений позволил получить не только качественную, но количественную информацию об этом явлении. Показано, что мощные речные выносы, часто наблюдающиеся в восточной части Черного моря в течение года во время интенсивных осадков и в весеннее время года, когда в горах тают снега, имеют ярко выраженные особенности. Собственно плумы, как малая часть выносов рек, лучше всего проявляются в поле ТПМ и/или в полях взвешенного вещества и варьируются по площади от нескольких до 25 км². Также показано, что на РСА-

изображения морской поверхности области речных плумов нередко проявляются как темные пятна из-за эффекта выглаживания шероховатости поверхности моря. Этот эффект может быть объяснен контрастом ТПМ в несколько градусов по сравнению с окружающими плум морскими водами, а не пленочным механизмом, как предполагалось ранее. На основе совместного анализа (в рамках мультисенсорного подхода) спутниковых изображений выносов малых рек в восточной части Черного моря, полученных в 2013–2019 гг., предложена улучшенная схема структуры выноса реки.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОПУЛЯЦИИ БРЮХОНОГОГО МОЛЛЮСКА *RAPANA THOMASIANA* (CROSSE, 1861) В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ (РЕСПУБЛИКА АБХАЗИЯ, НИЖНЯЯ ЭШЕРА)

Цыбулевская М.В.^{1,2}

¹*ИЭАНА, г. Сухум, Республика Абхазия*

²*АГУ, г. Сухум, Республика Абхазия*

mv.tsybulevskaya@mail.ru

Ключевые слова: *Rapana thomasiana*, состояние популяции, динамика, Республика Абхазия, Нижняя Эшера.

Rapana thomasiana – один из самых крупных и доминирующих моллюсков у берегов Абхазии, встречающийся повсеместно, но наибольшая частота встречаемости связана с мидиевыми колониями. В период с конца сентября по начало октября 2018 г. в рамках ежегодного мониторинга проведено исследование популяции на участке в селе Нижняя Эшера, который расположен вдалеке от источников загрязнения и изначально благополучный.

Средняя численность особей *Rapana thomasiana* на участке Нижняя Эшера составляла 0,31 экз./м², тогда как средняя биомасса моллюсков – 17,63 г/м². В представленной выборке максимальный возраст особей 5 лет, но самой многочисленной группой оказались особи 3-х лет – 38,7%. Рапаны двухлетнего возраста на момент исследования не представлены, что является интересной

особенностью за все время мониторинга состояния популяции брюхоногого моллюска на данном участке. Относительно значений размерных показателей можно отметить, что, начиная с 2013 г., особи с размером раковины 45–50 мм составляли большинство. В данной выборке диапазон размерного ряда рапаны составляет от 34 до 79 мм, в свою очередь, наибольшую часть (41,9%) составили особи размерной группы 71–79 мм. Анализ массовых характеристик особей популяции позволяет судить о современных условиях ее существования, в том числе о степени пищевой обеспеченности. Масса исследованных моллюсков составила от 10,3 до 83,7 г, в среднее значение массы моллюсков было 34,6 г.

Для полной и качественной оценки состояния *R. thomasiana* в абхазской акватории Черного моря особое значение приобретает исследование коэффициента упитанности, который является показателем степени истощенности рапаны и популяции у берегов Абхазии. Значение коэффициента упитанности *R. thomasiana*, обитающих в акватории Нижней Эшеры, при средней длине 66,9 мм, составляет 21,3. Показатель коэффициента упитанности для моллюсков не велик, но не является критичным, что не может указывать на истощенность и голодание *R. thomasiana* на данном участке.

Половая структура популяции рапаны в выборке из с. Нижней Эшеры характеризуется неравным соотношением полов – 1:4,2, с явным преобладанием самцов в каждой выборке. Так же, как и для большинства ранее изученных локальных популяций черноморской рапаны у берегов Абхазии, в размерно-половой структуре отмечено преобладание самцов в крупноразмерных группах, а среди самых крупных особей самки отсутствуют либо представлены единично. Это касается также и массовых показателей самцов и самок, так средняя самцов 57,8 г, а средняя масса самок 53,1 г. Является ли это внутривидовой дифференциацией в популяции *Rapana thomasiana* остается вопросом.

Резюмируя, можно отметить, что современный этап состояние популяции рапаны характеризуется своеобразными адаптационными процессами, когда в популяцию включаются механизмы саморегулирования численности и биопродуктивности.

ВЛИЯНИЕ ВЕТРА НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ МАТЕРИКОВОГО СТОКА НА СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ ШЕЛЬФЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

Цыганова М.В.¹, Лемешко Е.М.^{1, 2}

¹*МГИ, г. Севастополь, Россия*

²*МГИ, пгт. Кацивели, Крым, Россия*
m.tsyganova@mhi-ras.ru

Ключевые слова: шельф, бароклинное течение, сток рек, гидрофронт, численное моделирование.

Речной сток служит источником не только большого количества пресной воды, но и взвешенного вещества, которое входит почти во все существующие в настоящее время классификации качества вод, являясь одним из основных элементов в круговороте вещества в природных водоёмах. С помощью основных биооптических параметров (концентрации хлорофилла, показателя обратного рассеяния взвешенными частицами и показателя поглощения окрашенного органического вещества) можно исследовать по спутниковым данным пространственную и временную изменчивость фитопланктона, взвеси и окрашенного органического вещества. В этой работе исследуется мезомасштабная изменчивость формирования плюма реки Дунай и распространения взвешенного вещества в северо-западной части Черного моря в зависимости от направления ветра, его величины и длительности действия. Выявлены различные типы формирования плюма и переноса взвеси на основе спутниковых данных, длительность процессов составляет от 12 ч. до нескольких дней.

Для различных типов формирования плюма сопоставлялся соответствующий ему режим ветрового воздействия по данным оперативной модели NOMADS, NOAA (<http://www.nomad3.ncer.noaa.gov/>), а также его длительность по времени, изменчивость по направлению и скорости ветра в районе дельты уточнялась по архиву данных на метеостанции Вилково (<http://vp5.ru>). Выбраны данные для двух ветровых ситуаций в апреле 2018 г. и марте 2019 г. и подобраны соответствующие им спутниковые снимки.

Северо-восточный ветер прижимает распресненные воды к западному берегу, в результате образуется распресненное прибрежное течение, которое переносит взвесь и биогены в южную часть моря. При воздействии юго-западного ветра перенос речных вод к югу от дельты реки вдоль берега блокируется, образовавшийся гидрофронт распространяется к северо-востоку и востоку в сторону свала глубин. При этом менее соленые воды движутся в антициклоническом направлении и выносятся в глубоководную зону западной части моря. Таким образом, выделены различные типы распространения взвешенного вещества и биогенов в зависимости от направления ветра, его величины и длительности действия. Эти режимы по-разному переносят биогены вдоль шельфа и во внутреннюю область, что влияет на распределение хлорофилла и состояние экосистемы. Полученные закономерности подтверждаются результатами численного моделирования, анализом гидрологических данных и данных дистанционного зондирования по ряду эпизодов за период 2017–2019 гг. Полученные результаты использовались также для оценки чувствительности модели формирования плюма и переноса распресненных вод речного происхождения в зависимости от изменчивости поля ветра и его длительности.

Работа выполнена в рамках государственного задания по темам № 0827-2019-0004 и № 075-00803-19-01.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕХАНИЗМОВ ГЕНЕРАЦИИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ВЕРТИКАЛЬНОГО ОБМЕНА ВБЛИЗИ ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ

Чухарев А.М.

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

Ключевые слова: генерация турбулентности, приповерхностный слой, скорость диссипации, натурные эксперименты, многомасштабная модель, циркуляции Ленгмюра.

Важнейшими механизмами генерации турбулентности в верхнем перемешанном слое океана считаются неустойчивость вертикальных градиентов скорости в дрейфовых течениях, неустойчивость вертикальных градиентов поверхностных волн и обрушения волн. В последние годы большое внимание уделяется циркуляциям Ленгмюра (ЦЛ), которые также вносят определенный вклад в вертикальный обмен, но пока недостаточно хорошо параметризованы. Неполный учет источников турбулентности в итоге приводит к заниженным оценкам интенсивности турбулентности и вертикального обмена.

Многомасштабное моделирование турбулентного обмена позволяет более адекватно рассчитывать вклад каждого механизма в турбулизацию слоя и дает лучшее соответствие с натурными измерениями. Данный подход дает возможность учета разных механизмов на соответствующих масштабах и передачу энергии по спектру вплоть до интервала диссипации.

Натурные эксперименты по исследованию турбулентного режима в приповерхностном слое моря проводились на стационарной океанографической платформе в пгт Кацивели с помощью измерительного комплекса «Сигма-1». Использование данного комплекса совместно с другими необходимыми измерениями фоновых гидрофизических характеристик дает возможность оценить скорость диссипации турбулентной энергии на различных глубинах и сопоставить их с результатами модельных расчетов.

Показано, что многомасштабная модель дает лучшее совпадение с натурными измерениями при умеренных и сильных ветрах и при наличии обрушивающихся волн. Расчет по модели дает картину распределения энергии по глубине от каждого механизма генерации турбулентности, которая, в свою очередь, зависит от гидрометеорологических условий. Это позволяет произвести оценку вклада от каждого источника на разных глубинах и в разных условиях. Основными внешними параметрами можно принять скорость ветра (V_{10}), высоту значительных волн H_s и турбулентное число Ленгмюра La_t , рассчитываемое через динамическую скорость в воде и стоков дрейф.

При легких и слабых ветрах ни одна из моделей не дает даже удовлетворительного совпадения с экспериментальными данными, т. е. объективная параметризация в данном случае отсутствует.

При умеренных скоростях ветра ($4 < V_{10} < 7$ м/с) до появления обрушивающихся волн, вклад сдвига скорости составляет более 95% в слое до глубины $\sim H_s$ (остальная часть турбулентной энергии обуславливается нелинейным эффектами волновых движений) и практически 100% ниже этого слоя. При скоростях ветра свыше 8–9 м/с, до глубины $\sim 4H_s$ доминирующим механизмом генерации турбулентности является обрушение волн ($> 50\%$), ниже – сдвиг скорости дрейфового течения ($> 80\%$).

Видимое проявление ЦЛ в виде полос на поверхности не является обязательным признаком существования таких циркуляций. Расхождение экспериментальных оценок скорости диссипации с модельными при наличии ЦЛ может составлять от 0,5 до 2-х порядков величины. Числа Ленгмюра для этих условий находились в пределах от 0,8 до 2,4.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВКЛАДА НАГОННЫХ ЯВЛЕНИЙ В ПОСТУПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДЕЛЬТУ ДОНА

Шевердяев И.В.

*ЮНЦ РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия
ig71089@yandex.ru*

Ключевые слова: дельта Дона, ветровые нагоны, затопление, моделирование, Таганрогский залив, NEC-RAS.

Дельта Дона – зона взаимодействия речных и морских процессов. Годовая, сезонная и даже суточная изменчивость уровня воды в Таганрогском заливе и в речном стоке Дона определяют условия преобразования дельты как геоморфологического объ-

екта. Речной сток и морские воды в условиях сильной антропогенной нагрузки на Нижний Дон являются для дельты Дона также и источниками загрязнений.

В современных условиях пониженного стока реки Дон влияние этих источников на содержание тяжелых металлов в воде и в почве может измениться. Взаимовлияние источников загрязнения вод в дельте Дона усложняется усилившимися в начале XXI века сгонно-нагонными явлениями.

Современные достижения теоретической гидрологии формализованы в виде математических моделей, которые позволяют проводить расчеты динамики воды в реках, на поймах и на морском мелководье. С использованием гидрологического моделирования и на основе рядов наблюдений за уровнем, составом воды и метеорологическими условиями в ЮНЦ РАН в 2018–2019 гг. выполняется проект РФФИ № 18-35-00441 «Выявление вклада нагонных явлений в поступление тяжелых металлов в дельту Дона». За первый год выполнения проекта были проведены:

- анализ архива наблюдений уровня воды в дельте Дона;
- исследования сезонного хода шероховатости в дельте Дона по преобладающим типам поверхности;
- адаптация гидрологической модели HEC-RAS и расчет сценариев затопления при нагонах и речном стоке различной повторяемости;
- зонирование дельты Дона по характеру взаимодействия морских и речных вод при нагонах.

В 2019 г. проводятся работы по моделированию динамики форм тяжелых металлов в дельте Дона при нагонах и сгонах на основе полученных в первый год выполнения проекта расчетов гидрологических сценариев. Для этого разработана гидрохимическая надстройка гидрологической модели HEC-RAS. Ячейки используемой расчетной сетки сгруппированы в районы (компарменты), выделенные как ряд русел основных рукавов дельты и как правые и левые их водосборы. Для оценки динамики взвешенных веществ используются балансовые уравнения, использующие расходы воды через границы выделенных районов, а также свойства (содержание форм ТМ) поступающей речной и морской воды. Также будут оценены поступление, накопление и динамика

форм тяжелых металлов в дельте Дона в годовом выражении для 2015–2018 гг.

В результате выполнения проекта в 2019 г. планируется получение следующих результатов:

- база данных собственных натурных данных и фондовых материалов по концентрации тяжелых металлов (ТМ) во взвешенной и растворенной формах, содержащая, в том числе, наблюдения 2019 г.;

- гидрологическая модель дельты Дона с функционалом расчетом поступления, динамики и выноса форм ТМ;

- рассчитанные сценарии динамики форм ТМ в дельте Дона при нагонах различной повторяемости в условиях переменной водности Дона;

- графики динамики форм ТМ в дельте Дона при развитии нагонов различной повторяемости и различной водности Дона;

- оценка валового поступления форм ТМ по источникам для всей дельты с выделением характерных участков.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00441.

МОДЕЛИРОВАНИЕ БРИЗОВОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ В АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОМ РЕГИОНЕ

Шокуров М.В., Краевская Н.Ю.

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

Ключевые слова: бризовая циркуляция, численное моделирование, WRF, Азово-Черноморский регион.

Бризовая циркуляция влияет на погоду прибрежных регионов. Она может развиваться при условии слабых фоновых градиентов давления. В Азово-Черноморском регионе такие условия наблюдаются в летний период.

Численному моделированию бризовой циркуляции для Азово-Черноморского региона посвящена серия работ, в которых отмечено, что географические особенности бризовой циркуляции определяются рельефом и конфигурацией береговой черты.

Структура и динамика бриза зависит от состояния окружающей атмосферы и значительно отличается изо дня в день. Поэтому представляет интерес рассмотреть бризовую циркуляцию в конкретный день, когда она наиболее выражена.

Целью работы является описание региональных особенностей бризовой циркуляции в Азово-Черноморском регионе. Для этого, был выбран день (7 сентября 2016 г.), для которого было проведено численное моделирование, используя модель WRF-ARW.

В результате моделирования получено, что общим для большей части региона является связанное с бризом суточное изменение направления ветра.

Днем над сушей формируется бризовый фронт, продвигающийся вглубь суши, над морем резкий фронт не наблюдается. Область, занимаемая бризовой циркуляционной ячейкой, характеризуется повышенными значениями скорости, как над сушей, так и над морем. Размер этой области увеличивается в течение дня.

Ночью вдоль всего горного побережья Черного моря развивается сильный склоновый ветер, приводящий к формированию линий конвергенции, продвигающихся вглубь моря.

Можно выделить отдельные области, где бризовая циркуляция имеет особенности. Например, Азовское море в ночное время подвержено влиянию склонового ветра с Крымских гор, а днем большая часть моря охвачена классической равнинной ячейкой бризовой циркуляции.

У западного и северо-западного берегов Черного моря горизонтальный размер бризовой ячейки наибольший по сравнению с другими берегами региона.

Вблизи Кавказских гор днем над морем формируется поток, направленный вдоль берега, в это время на суше ветер направлен в сторону гор. Вечером происходит формирование склонового ветра с гор, что приводит к образованию мезомасштабного прибрежного вихря.

Особенностью Крыма является формирование нескольких бризовых фронтов и их столкновение в вечернее время.

Работа выполнена в рамках темы института № 0827-2018-0001 «Взаимодействие океана и атмосферы».

ИЗМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОРСКОЙ ВОДЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ МИКРОБИОТЫ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЕРИМЕНТА

Шоларь С.А.¹, Степанова О.А.², Стельмах Л.В.³

¹*МГИ, г. Севастополь, Россия*

²*ИПТС, г. Севастополь, Россия*

³*ИнБЮМ, г. Севастополь, Россия*

sa.sholar@mail.ru

Ключевые слова: показатель ослабления света, прозрачность морской воды, численность клеток, микробиота, микроводоросли, альговирусы, вирусный лизис.

Вирусы гидросферы самые многочисленные и наименее изученные среди гидробионтов, и при этом они играют значительную роль в функционировании водных экосистем. По мнению ученых морские вирусы занимают ключевые позиции, как главные игроки в глобальной экологии.

По результатам различных лабораторных экспериментов при использовании представителей микробиоты тихоокеанских регионов выявлено, что водные, в т. ч. и морские вирусы в процессе вирусного лизиса оказывают значительное влияние на состав (РОВ, ОВВ), а также и на оптические характеристики водной среды. Зафиксированные характерные изменения было предложено использовать как показатели вирусного лизиса, свидетельствующего о гибели хозяев-микроорганизмов и микроводорослей, в акваториях по данным оптического дистанционного зондирования (со спутников) или контактными методами (с научно-исследовательских судов, буев и т. д.). Однако роль вирусов и вирусного лизиса в изменении различных физических параметров среды их обитания, а также и с позиций их учета в качестве активных компонентов оптики гидросферы пока не рассматривалась. И этот аспект представляет собой новое, недостаточно изученное в области физики и оптики моря, как в практике, так и в теории, научное направление. Недостаточно сведений и о роли

черноморских вирусов по их влиянию в ходе вирусного лизиса на изменение прозрачности морской среды.

Цель проводимого исследования – в условиях эксперимента установить изменения в динамике показателя ослабления света (ПОС) морской воды под влиянием черноморской микробиоты, в состав которой включали разные виды культур микроводорослей, моделируя пик цветения фитопланктона с добавлением альговирусов (опыт) и без них (контроль) с возможным учетом и экстраполяцией в дальнейшем полученных результатов на морскую среду черноморского региона.

Ранее в 2018 г. были выполнены эксперименты по влиянию на ПОС вирусного лизиса черноморских микроводорослей с использованием лабораторной установки с одной емкостью. Однако отсутствие одновременных измерений в опыте и в контроле (без вирусного лизиса) явилось существенным недостатком. Поэтому для проведения дальнейших исследований был разработан экспериментальный лабораторный стенд. Его основой являются две идентичные емкости, куда в равных объемах наливали пастеризованную морскую воду (до 15 л), культуры микроводорослей (до 1,2 л), полученные из коллекции водорослей ИнБЮМа, а также в опыт помещали вирусные суспензии альговирусов (до 1,2 л), а в контроль в том же объеме – пастеризованную морскую воду. При помощи спектрального измерителя ослабления света, созданного на базе МГИ, фиксировали значения ПОС в динамике экспериментов.

Полученные результаты экспериментов, выполненных в 2019 г., позволили сделать следующие выводы:

- подтверждено влияние вирусного лизиса на снижение ПОС и численность клеток вирусных хозяев – микроводорослей;
- отмечена тесная связь, описанная линейным регрессионным уравнением с высоким коэффициентом детерминации (до 0,933) между ПОС и численностью клеток;
- выявлено, что вирусный лизис не оказывал существенного влияния на спектр распределения ПОС по длинам волн.

Работа выполнена в рамках гос. задания по теме № 0827-2018-0002 МГИ РАН; по госбюджетной теме ИПТС № 0012-2019-0003 и гос. задания ИнБЮМа РАН № AAAA-A18-118021490093-4.

НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПРИБРЕЖНЫХ ТЕЧЕНИЙ У ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА В 2017–2019 ГГ.

Щербаченко С.В., Кузнецов А.С., Зима В.В.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
vicyla@mail.ru*

Ключевые слова: информационная технология, циркуляция прибрежных вод, спектр кинетической энергии течений.

С 2015 г. Морской гидрофизический институт (МГИ) возобновил регулярные судовые экспедиционные исследования структуры и динамики вод в российском секторе северной части Черного моря вдоль побережья Крыма.

Одновременно МГИ продолжает многолетний мониторинг циркуляции и динамики прибрежных вод у Южного берега Крыма (ЮБК) со стационарной океанографической платформы Черноморского гидрофизического полигона (пгт Качивели) у мыса Кикинеиз. Основные результаты этого натурального динамического эксперимента за девятилетний период с 2008 по 2016 гг. представлены в цикле работ.

В настоящей работе обсуждаются результаты дальнейших исследований динамики прибрежных вод, выполненных авторами в прибрежном экотоне моря у мыса Кикинеиз ЮБК со стационарной океанографической платформы в течение 2017–2019 гг.

При проведении многолетнего динамического эксперимента использована технология мониторинга динамики прибрежных вод антенным комплексом отечественных векторно-осредняющих измерителей течений. При анализе изменчивости течений использовались синхронные данные вертикальной измерительной антенны в составе четырех эквидистантно расположенных по глубине векторно-осредняющих измерителей течений типа МГИ-1308. Работа измерителей программировалась в двух режимах дискретности измерений векторных характеристик, равных 1 и 15 сек. В результате обработки таких данных существенно сни-

жен энергетический вклад турбулентности и поверхностных гравитационных волн в осредненные характеристики прибрежных течений, особенно существенный в мелководной прибрежной зоне.

Сформирована репрезентативная векторная база данных динамики прибрежных течений за 2017–2019 гг. По результатам спектрального анализа изменчивости кинетической энергии прибрежных течений выполнена оценка вклада сейшевых, инерционных колебаний и особенностей их сезонной трансформации в инерционно-гравитационном диапазоне прибрежного внутреннего волнения. Выполнены сопоставления временной изменчивости режима средних прибрежных течений и их синоптических колебаний за анализируемый трехлетний период с их среднесуточной изменчивостью.

Технология измерений позволила детализировать, упорядочить и систематизировать разномасштабные природные гидродинамические процессы в регионе при повышении качества исследования течений. Полученные новые знания о динамике прибрежных вод полезны при решении ряда различных прикладных задач для прибрежного экотона моря у ЮБК, в том числе при оценке сохранения качества окружающей среды в условиях усиления антропогенных нагрузок и устойчивого развития приморских территорий.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2018-0004 «Прибрежные исследования».

НЕКОТОРЫЕ ВИДЫ ЗАВИХРЕННЫХ ТЕЧЕНИЙ В МОРСКИХ И РЕЧНЫХ АКВАТОРИЯХ, ИХ ВЛИЯНИЕ НА ВОДООБМЕН, ПЕРЕНОС НАНОСОВ И СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ ИМИ

Щодро А.Е.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
alexeyug@hotmail.com*

Ключевые слова: гидроэкология, буны, заливы, завихренные течения.

В морских заливах и других природных акваториях часто наблюдаются ветро-волновые течения, структура которых и скорости соответствуют тем метеорологическим условиям, которые господствуют в данном регионе. Часто возникает задача об интенсификации массообмена в акватории, при этом скорости естественного происхождения оказываются недостаточными. Возникает задача, как усилить скорости в какой-либо зоне акватории. Это возможно при использовании систем направляющих, которые будут устанавливаться под некоторым углом к господствующим течениям.

Если поверхностные скорости по своему направлению и величине определяются ветровыми условиями, то придонные формируются, как правило, компенсационными течениями.

При этом поверхностные токи обеспечивают достаточный захват кислорода из воздуха и увеличивают интенсивность биохимических реакций, приводящих также к деструкции молекул загрязняющих и вредных веществ (ЗВ), и к их окислению.

Достаточно интенсивные винтообразные течения в сравнительно мелкой акватории или в прибрежной зоне с высокой антропогенной нагрузкой могут быть сформированы как стационарными плавающими средствами, так и специальными гидротехническими сооружениями. При этом необходимым и эффективным гидродинамическим фактором является концентрированное вихревое течение, обладающего вращательным и поступательным движением вдоль оси винта. Такие течения создаются потоками, сходящими под острым углом с острой кромки водослива. В качестве такового может выступать вертикально установленная пластина, прикрепленная к плоскому дну плавсредства или ко дну акватории.

В области отрывного течения скорости, как правило, превышают скорости придонных течений и имеют повышенные турбулентность и наносотранспортирующую способность. В качестве специальных устройств можно предложить простые и технологичные, – донные пороги (буны), устанавливаемые под углами 30–50° к направлению обтекающего потока. При этом решаются многие задачи, в частности, – это управление движением наносных отложений защита и оздоровление территорий.

Для промыва залива, например, рекомендуется использовать донный стационарный порог высотой от 1–1,5 м до 1/3 глубины потока, более высокое препятствие, небольшое по своим горизонтальным размерам, и входное отверстие с плавными очертаниями входной части для свободного входа потока в пространство за буной. Угол установки порога относительно направления набегающего потока порядка 30–40°. Промыв прибреговой зоны для рек и водохранилищ может быть осуществлен с помощью аналогичных устройств.

Важное значение имеют также искусственные прокопы и естественные косы, возникающие на дне акватории под действием течений и волнения.

Например, устройство прокопа глубиной более 15 м в озере Донузлав сосредоточило придонные течения вдоль прокопа; за косой Тузла возникли интенсивные локальные отрывные течения, которые по группе признаков могут быть классифицированы как винтообразные, вызвавшие местные размывы глубиной до 3,5–4 м.

ДИНАМИКА ВОД В РАЙОНЕ СЛУПСКОГО ЖЕЛОБА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Щука С.А.¹, Григорьев А.В.², Кубряков А.И.³

¹*ИО РАН, г. Москва, Россия*

²*ГОИН, г. Москва, Россия*

³*МГИ, г. Севастополь, Россия*

s_shchuka@mail.ru, ag-privat@mail.ru,

alexander.kubryakov@mhi-ras.ru

Ключевые слова: термохалинные поля, скорости течений, Балтийское море, Слупский желоб, численное моделирование.

Слупский желоб и его пороги – ключевой район в водообмене Балтийского моря. В ходе выполнения здесь в 2001–2019 гг. экспедиционных исследований получен уникальный массив данных

измерений температуры, солености, кислорода и течений на протяженных высокоразрешенных разрезах и изучена изменчивость термохалинной структуры и динамики вод. На восточном склоне Слупского порога с 2011 г. выполняются непрерывные постановки автономного профилирующего комплекса «Аквалог», который в процессе зондирования водной толщи 15–69 м (глубина места 72 м) измеряет вертикальное распределение температуры, солености, кислорода, скорости и направления течений в автоматическом режиме с интервалом 2 часа.

Моделирование термохалинной структуры и динамики вод в районе Слупского желоба Балтийского моря проводилось с использованием региональной модели Princeton Ocean model (POM) RuReM. В качестве начальных гидрофизических полей использовались данные, полученные в ходе экспедиционных исследований.

Анализ и систематизация имеющихся данных на разрезах термохалинных полей и полей течений на порогах и в желобах Балтики показали, что переток более плотных вод при слабом затоке (типичная ситуация в Балтийском море) может происходить за счет вихрей и длиннопериодных волн. Оценки периода этих волн по данным, полученным с помощью «Аквалога», составляют ~ 20–30 часов. Анализ данных профилей течений выявил значительную временную изменчивость их скорости во всей толще вод, за небольшим исключением в придонном слое.

Данные результатов моделирования показывают, что в Борнхольмском бассейне существуют крупномасштабные вихри, под влиянием которых происходит возвышение уровня на западной периферии Слупского порога. Что, в свою очередь, приводит к переносу вод через порог. В то же время, какого-то одного преобладающего механизма движения плотных вод через Слупский порог на основе современных данных натурных наблюдений и проведенного к настоящему времени моделирования не выявлено.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ-РГО № 17-05-41196.

СЕКЦИЯ 3

«ДИСТАНЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ В МОРСКОЙ СРЕДЕ»

ТРАНСПОРТ ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА СУБМЕЗОМАСШТАБНЫМИ ВИХРЯМИ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

**Алескерова А.А., Кубряков А.А.,
Станичный С.В., Медведева А.В.**

*МГИ, г. Севастополь, Россия
annete08@mail.ru*

Ключевые слова: взвешенное вещество, субмезомасштабные вихри, Landsat, Sentinel-2.

Малые размеры и высокие орбитальные скорости субмезомасштабных вихрей приводят к высоким значениям завихренности и вертикальной скорости (10–100 м/день), что может способствовать возможности захватывать суммарное взвешенное вещество (ВВ) и переносить его в своем ядре без перемешивания.

В настоящей работе данные Sentinel-2 и Landsat, которые имеют высокое пространственное разрешение, использовались для изучения мелкомасштабной структуры субмезомасштабных вихрей. Для описания воздействия субмезомасштабных вихрей использовались ежедневные данные MODIS-Aqua и MODIS-Terra Level 2.

В данном исследовании показано, что субмезомасштабные циклонические вихри могут существовать более 5–10 дней и транспортировать ВВ на относительно большое расстояние 100–150 км в своих ядрах. Данные вихри перемещаются с большой

скоростью (около 0,1–0,3 м/с), которая соответствует скорости потока, и поэтому способствуют быстрому выносу ВВ от берега в открытое море.

Проанализировано изменение концентрации ВВ и хлорофилла *a* в ядрах субмезомасштабных вихрей за время их существования. Отмечено, что с течением времени эти показатели уменьшаются, а температура увеличивается. Таким образом, субмезомасштабные циклоны в процессе своей эволюции постепенно смешиваются с окружающими водами и в конечном итоге исчезают без каких-либо признаков увеличения их размеров. Уменьшение конвергенции при замедлении субмезомасштабных циклонов может быть одной из возможных причин выброса ВВ в окружающие воды, наблюдаемого по спутниковым данным.

Исследование выполнено при поддержке гос. задания по теме № 0555-2019-0001 и гранта РФФИ 19-05-00479 А

ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАСХОДА РЕК СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ЧЕРНОГО МОРЯ

Андросович А.И.

МГИ, г. Севастополь, Россия
androsovih@mhi-ras.ru

Ключевые слова: расход реки, время добегания, режим осадков.

Режим речного стока во взаимодействии с системой прибрежных течений (в основном связанных с меандрированием ОЧТ) на достаточно узком (от 1,5 до 10 км.) шельфе северо-восточного берега Черного моря представляет весьма большой интерес по широкому спектру вопросов: начиная с прогнозирования состояния сооружений береговой и прибрежной зоны, режима распространения биоресурсов, планирования эффективного использования курортной зоны Краснодарского Края и Абхазии и пр. В нашем случае данные по расходам 14 рек SKIRON (Мзымта, Хоста, Туапсе, Сочи, Бзыбь, Кодори и др. с площадью водосбора более 100 км²) восстанавливались с использованием данных (количество осадков, испарение, температура поверхности и на 10 м) за

период с 2007 по 2018 год. Данные по расходам рек планируется использовать в численных экспериментах на основе модели, разработанной в МГИ РАН (модель Демышева С.Г., Коротаева Г.К.) [Демышев С.Г. Численный прогностический расчет течений в Черном Море // Морской Гидрофизический Журнал. 2011. №1, С. 36–47], модернизированной для варианта вложенных сеток (минимальный шаг 400 м).

Для восстановления использовалась модель, построенная на основе открытых боксов 4 типов, располагающихся вдоль русла реки и ее притоков. Тип боксов определялся в зависимости от особенностей ландшафта, свойств подстилающих поверхностей, наличия и свойств растительности и характеристик русла. Для каждого типа русла проводилась коррекция на основе натурных наблюдений (туристические отчеты по сплаву) скорости течения и характеристик водного потока. В связи с горным характером (значительные перепады по высоте) русла рек северо-восточного побережья Черного моря роль коротких прибрежных пойм в аккумуляровании водной массы в многоводные периоды половодья и паводка и, следовательно, деформации профиля расхода воды не рассматривалась. Расход воды в нижнем створе каждого бокса сводился к

$$Q_{n,t} = Q_{n-1,t-\tau} + \int_0^t q \, d\ell$$

где ℓ – длина n -го бокса с учетом извилистости русла, τ – время прохождения водяного потока по n -му боксу, $Q_{n,t}$ – расход в нижнем створе бокса n , $Q_{n-1,t-\tau}$ – расход в нижнем створе бокса $n-1$ (при $n = 0$ $Q_{n-1,t-\tau} = 0$) в момент $t-\tau$, q – боковые притоки в основное русло в период времени с $t-\tau$ до t . В случае слияния нескольких притоков в боксе n количество слагаемых типа $Q_{n-1,t-\tau}$ соответствует количеству притоков. Время прохождения потока по боксу (или время добегаания) определялось как $\tau = (16,7 \cdot L \cdot \kappa) / (\alpha \cdot I^{1/3} \cdot Q^{1/4})$, где L – длина главного русла, I – уклон реки в ‰, α – коэффициент шероховатости ($\alpha \approx 0,15$), $\kappa = 2,0$ (для горных рек) [Коваленко В.В. Динамические и стохастические модели гидрологического цикла. Цикл лекций ЛГМИ. Ленинград. 1988].

С учетом приповерхностной и температуры на 10 м, а также длительности или периодичности температурного режима и наличия осадков, определялись параметры накопления и таяния

снежного покрова, которые уточнялись на основе спутниковой информации [<http://worldview.eathdata.nasa.gov>].

Для расчета горизонтальных компонентов скоростей течений рек в устьевом срезе использовались соотношения [Киселев П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1950. – 568 с.]: $(Q_{t-\tau} / Q_t)^2 = (h_{t-\tau} / h_t)^\beta$, $Q_t = v_t * h_t * b$, где h_t и $h_{t-\tau}$ – высоты уровня воды в устье, v_t – модуль скорости течения, b – ширина устья, $\beta = 3,0$ при $h \ll b$, $\beta = 4,0$ при параболической форме дна устья, $\beta = 3,4 - 2,8 / (\alpha + 2)$, где $\alpha = 2 b / (h_{\min} + h_{\max})$, $h_{\min}$ и $h_{\max}$ – минимальное и максимальное значения уровня воды у устья, соответственно.

При разделении горизонтальных компонент использовались данные по конфигурации русла и направлению устьевого потока.

Результаты моделирования сведены в таблицы (шаг по времени 2 часа) по годам (2008–2018 гг.). Расчеты за 2007 г. были использованы как устанавливающие снежного покрова в зиму 2007–2008 гг. На основе суммарного расхода (табл. 1, расход приведен в км³/год), Q_y – средние значения годового расхода по [Джаошвили Ш.В. Реки Черного Моря // Технический отчет №71. Европейское агентство по охране окружающей среды. 2002], K – коэффициент корреляции, произведена оценка презентативности полученных результатов.

В таблице не приведены данные по 2018 г., так как не обработан декабрь. Невысокий коэффициент корреляции (менее 0,8) для некоторых рек, возможно, объясняется неучетом в модели: антропогенного фактора, огрубленной привязки данных SKIRON (сетка 5×5 км) к территории водосбора. Более тщательной проработки требует анализ параметров водоудержания различными почвами и типами растительного покрытия. При рассмотрении результатов моделирования расходов и скоростей потока поведение межсезонной изменчивости можно выделить три группы рек. Первая группа с основной высотой водосбора 200–300 м (Аше, Булан, Хоста, Мезыбь, Нечепсухе, Пшада, Нечепсухо, Туапсе). Их характеризует резкий и сильный отклик на изменение режима осадков, а также в силу довольно высоких зимних температур, на месте основного водосбора (не успевает сформироваться значительный слой снега) слабый весенний паводок (рис. 1, расход в устье р. Мезыбь м³/мин за 2008 год).

Таблица 1. Расход некоторых рек в км³/год.

Год	Бзыбь	Мзымта	Пшадла	Аше	Сочи	Хоста	Мезыбь	Булан	Шахи	Псеуапсе
2008	4,53	1,20	0,28	0,40	0,40	0,14	0,18	0,24	1,10	0,44
2009	4,58	1,55	0,37	0,51	0,47	0,14	0,17	0,30	1,26	0,55
2010	4,21	1,30	0,34	0,46	0,43	0,12	0,17	0,29	1,12	0,50
2011	3,69	1,41	0,36	0,54	0,46	0,13	0,17	0,29	1,21	0,58
2012	4,06	1,09	0,33	0,39	0,34	0,90	0,19	0,27	0,99	0,41
2013	3,90	1,36	0,39	0,46	0,45	0,13	0,14	0,31	1,13	0,49
2014	3,29	1,08	0,27	0,38	0,33	0,10	0,15	0,23	0,87	0,39
2015	3,37	1,22	0,29	0,38	0,37	0,11	0,16	0,24	0,93	0,42
2016	4,57	1,54	0,32	0,45	0,47	0,14	0,15	0,28	1,24	0,51
2017	4,63	1,29	0,35	0,37	0,38	0,11	0,17	0,29	1,10	0,44
сред	4,06	1,30	0,33	0,43	0,42	0,12	0,16	0,27	1,10	0,47
Q _y	3,74	1,562	0,31	0,39	0,508	0,155	0,122	0,20	1,161	0,486
К	0,92	0,83	0,94	0,91	0,82	0,78	0,76	0,74	0,95	0,97

Вторая группа рек со средней высотой водосбора 500–600 м (Мзымта, Псеуапсе, Шахи, Сочи) отличается от первой группы наличием хорошо выраженного весеннего паводка (рис. 2, расход в устье р. Мзымта м³/мин за 2008 год).

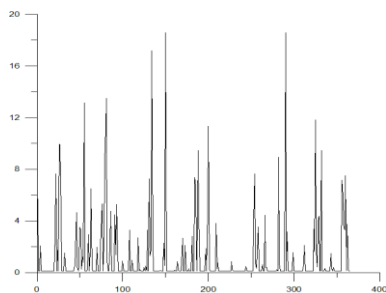


Рисунок 1

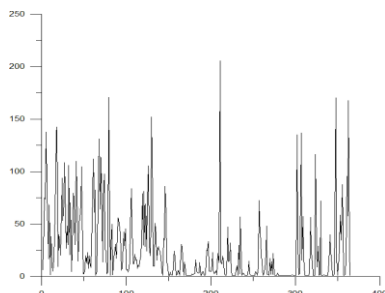


Рисунок 2

Третья группа с высотами водосбора 750–950 м и выше (Бзыбь, Кодори) отмечается большей зависимостью от среднегодовых температур на горизонтах выше 800 м, т. к. это, по-видимому, влияет на дебет снеготаяния многолетних ледников. Следует заметить, что в разброс данных расхода рек по различным источникам довольно велик [Кочетов Н.И. Речные наносы и пля-

жеобразование Грузии на северо-востоке Черноморского побережья Кавказа // Океанология. 1991. Т.31. вып.2. С.296–300; Хмаладзе Г.Н. Баланс жидкого и твердого стока водотоков Черноморского побережья Кавказа // География в Грузинской ССР. Тбилиси. Мецнисреба, 1975. Вып.2. С.78–85]. Тем не менее, с учетом изложенных замечаний и уточнений, представляется возможным использование полученных данных с хорошей степенью доверия.

Как отмечалось выше, описанные результаты намечается использовать в дальнейшем для численного моделирования, естественно для полноты учета данных расхода рек, принимая соленость равной нулю, необходимо восстановить также и значения температуры воды. Такого рода работа уже проводится.

ВОЛНЫ РОССБИ В АЦТ

Белоненко Т.В.¹, Гневыхев В.Г.²,
Кубряков А.А.³, Фролова А.В.¹

¹ СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия

² ИО РАН, г. Москва, Россия

³ МГИ, г. Севастополь, Россия

bvtvlisab@yandex.ru

Ключевые слова: волны Россби, мезомасштабные вихри, струйное течение, Антарктическое циркумполярное течение, дисперсионное соотношение, нелинейная теория, альтиметрия.

В последние годы наблюдавшийся прогресс в области дистанционного зондирования Земли способствовал развитию эмпирических представлений о волнах Россби в океане, которые проявляются в океане в виде мезомасштабных вихрей. Скорости перемещения мезомасштабных вихрей в целом неплохо согласуются с дисперсионными соотношениями бароклинных волн Россби, хотя при этом многие авторы замечают, что эмпирические скорости несколько превышают теоретические фазовые скорости, полученные в линейном приближении для гармонических волн. В области мощных струйных течений линейная теория не работает. Как показывают спутниковые наблюдения, в област Ан-

тарктического циркумполярного течения (АЦТ) мезомасштабные вихри перемещаются не только западным, но и в восточном направлении, а само АЦТ является волноводом, в котором захватывается кинетическая энергия мезомасштабных вихрей.

Основная проблема описания взаимодействия волн Россби с АЦТ заключается в том, что предлагаемые теории исходят из предположения, что скорости среднего потока и волн сравнимы, а критический слой образуется лишь тогда, когда скорости становятся равны. Однако с развитием спутниковой альтиметрии и накопления данных появилась реальная возможность оценки этих скоростей. Оказалось, что скорости АЦТ значительно превышают скорости волн Россби, характерные для этих широт. Это обстоятельство делает непригодными ранее выдвинутые теории описания волн Россби на течении, в которых скорости течения и волн принимались сравнимыми или равными по величинам. В данном исследовании предлагается новый подход, который свободен от подобного рода ограничений. Новое дисперсионное уравнение проверяется при помощи данных спутниковой альтиметрии для области, расположенной в зоне АЦТ. Предложенная нелинейная теория может быть применена для других областей Мирового океана.

Анализируется изменчивость уровня по данным спутниковой альтиметрии для региона, расположенного в АЦТ. Применяется новая оригинальная нелинейная теория, в которой нелинейность в длинноволновом приближении в точности компенсирует доплеровский сдвиг. Это позволяет получить принципиально новое дисперсионное соотношение для волн Россби на струйном потоке. Новый теоретический подход верифицируется для волн Россби в АЦТ. Для области, расположенной в зоне АЦТ, проводится сравнение эмпирических скоростей, рассчитанных по альтиметрическим данным, и теоретических фазовых скоростей волн, определенных по нелинейному дисперсионному соотношению с использованием эквивалентного β -эффекта. Сравнение показывает, что полученное в рамках нелинейного подхода новое дисперсионное соотношение позволяет описать перемещение, как в западном, так и в восточном направлении, мезомасштабных вихрей в поле аномалий уровня, идентифицируемых, как волны Россби.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №17-05-00034.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СПЕКТРОВ КОСМИЧЕСКИХ ОПТИЧЕСКИХ И РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ

Бондур В.Г., Воробьев В.Е., Замшин В.В.

*НИИ «АЭРОКОСМОС», г. Москва, Россия
viktor.v.zamshin@gmail.com*

Ключевые слова: дистанционное зондирование, морская поверхность, пространственный спектральный анализ, спутниковый мониторинг, прибрежные акватории.

Для описания пространственно-временной структуры морской поверхности применяются методы, основанные на пространственном спектральном анализе космических изображений. Пространственные спектры космических оптических и радиолокационных изображений связаны с двумерными спектрами возвышений или уклонов морской поверхности, и обычно имеют локальные максимумы, обусловленные различными системами поверхностного волнения, а также проявлениями различных глубинных процессов.

В контексте решения задач многоцелевого спутникового мониторинга морской среды в прибрежных акваториях, в условиях введения в эксплуатацию всё большего числа космических аппаратов, возникают новые научно-технические задачи. Одна из них – это обработка значительно увеличивающегося потока исходных данных, получаемых в оптическом и радио диапазонах спектра электромагнитных волн и используемых для пространственно-спектрального анализа при мониторинге морской поверхности.

Для решения поставленной задачи в настоящей работе предлагается автоматизированный метод анализа статистических характеристик пространственно-частотных спектров оптических и радиолокационных космических изображений морской поверхности, который минимизирует степень влияния экспертных оценок на итоговый результат обработки данных. При этом обеспе-

чивается универсальность – метод позволяет проводить пространственный спектральный анализ космических изображений водной поверхности для решения различных тематических задач.

Реализованная в разработанном методе автоматизированная оценка статистических характеристик пространственно-частотных спектров оптических и радиолокационных космических изображений морской поверхности базируется на вычислении и анализе набора информативных признаков пространственных спектров фрагментов этих изображений в априорно установленных диапазонах пространственных частот. Исследование продолжает развитие подходов к анализу пространственных спектров изображений морской поверхности, составляющих основу метода дистанционной пространственно-частотной спектрометрии.

Исследование выполнено при поддержке Минобрнауки России.

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕГИСТРАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СПЕКТРОВ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ КОСМИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ

Бондур В.Г.¹, Мурынин А.Б.^{1,2}

¹*НИИ «АЭРОКОСМОС», г. Москва, Россия*

²*ФИЦ ИУ РАН, г. Москва, Россия*

amurynin@bk.ru

Ключевые слова: дистанционное зондирование, взволнованная морская поверхность, спектры волнения, обработка космических изображений, пространственный спектральный анализ.

В связи с необходимостью обработки больших объемов данных дистанционного зондирования обширных акваторий актуальна разработка высокопроизводительных методов и алгоритмов восстановления спектров поверхностного волнения по оптическим изображениям высокого пространственного разрешения. Такие методы и алгоритмы основаны на выполнении процедур восстановления спектров уклонов и возвышений морской поверхности с применением восстанавливающих операторов, учи-

тывающих нелинейный характер модуляции поля яркости уклонами морской поверхности. В предлагаемой работе задача решается с использованием параллельных вычислительных потоков.

Для тестирования разработанных алгоритмов использовались изображения высокого пространственного разрешения, полученные в различных акваториях. Для оценки работы алгоритмов вычислялись значения таких характеристик как ускорение времени регистрации пространственных спектров и эффективность распараллеливания вычислений.

Проведённые вычислительные эксперименты показали целесообразность применения используемого подхода и разработанных алгоритмов для увеличения вычислительной производительности при решении задач регистрации спектров уклонов и возвышений морской поверхности по спектрам космических изображений.

Результаты работы могут быть использованы при создании программного обеспечения многопроцессорных аппаратно-программных комплексов, создаваемых для оперативного мониторинга процессов и явлений, происходящих в различных акваториях мирового океана по данным, поступающим с аэрокосмической аппаратуры.

Представленная разработка основана на развитии методов, описанных ранее в работах: 1) Bondur V.G., Murynin A.B. Measurement of Sea Wave Spatial Spectra from High-Resolution Optical Aerospace Imagery // in book Surface Waves Farzad Ebrahimi, IntechOpen. 2018. P. 71-88. Available from: <https://www.intechopen.com/books/surface-waves-new-trends-and-developments/measurement-of-sea-wave-spatial-spectra-from-high-resolution-optical-aerospace-imagery>. 2) Bondur V.G., Dulov V.A., Murynin A.B., Ignatiev V.Yu. Retrieving sea-wave spectra using satellite-imagery spectra in a wide range of frequencies // Izvestia, Atmospheric and Oceanic Physics. 2016. Vol. 52. No. 6. P. 637-648. DOI: 10.1134/S0001433816060049; 3) Мурынин А.Б., Хачатрян К.С. Методы распараллеливания вычислений при решении задач космического мониторинга морской поверхности // Сборник тезисов докладов Шестнадцатой Всероссийской конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». С.47, 12–16 ноября 2018, Москва, ИКИ РАН, ISBN 978-5-00015-018-4, DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a

Исследование поддержано Минобрнауки России, Государственное задание № 075-00896-19-00.

**ОСОБЕННОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ
АЗОВСКОГО И ЧЕРНОГО МОРЕЙ В 2018 Г.
ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ
И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ
И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОМЫСЛОВЫХ СКОПЛЕНИЙ
РЫБНЫХ ОБЪЕКТОВ**

**Боровская Р.В., Смирнов С.С.,
Загайный Н.А., Кочергин А.Т.**

*АзНИИРХ, г. Керчь, Россия
borovskaya_r_v@azniirkh.ru*

Ключевые слова: Азовское море, Черное море, гидрологические условия, лед, апвеллинги, зоны гипоксии и заморов рыбы.

В качестве исходных материалов использован массив снимков с искусственных спутников Земли (ИСЗ) серии NOAA, Meteor, LandSat-8, Sentinel-2, Sentinel-3, MODIS Terra/Aqua, Suomi VIIRS в видимом и инфракрасном диапазоне с ноября 2017 г. по декабрь 2018 г. При сборе, обработке материалов с ИСЗ применялись программы SNAP (Sentinels Application Platform), QGIS (Quantum GIS). Расчет производился в системе координат WGS 84 / UTM zone 36N (EPSG:32636). Дешифрирование и анализ спутниковых снимков выполнялся по стандартным методикам.

В гидрологических условиях Азовского моря отмечались следующие особенности. Зима 2017–2018 гг. относилась к типу мягких зим, средняя сумма градусо-дней мороза по 4 пунктам Азовского моря – 85. Лед в отдельных районах моря отмечался с середины января по вторую декаду марта 2018 г. В целом, ледовые условия не являлись препятствием для промысла тюльки и пиленгаса, так как промысловые районы были полностью открыты ото льда.

Во второй половине (7–8) первой декады апреля температура воды на большей части прибрежных районов Азовского моря устойчиво была выше 6,0–7,0° С, что благоприятно способствовало переходу бычков к активному образу жизни и образованию промысловых скоплений.

Отмеченный значительный прогрев вод Азовского моря в летний период способствовал образованию зон гипоксии и заморов рыбы, однако в результате ветровой деятельности, близкой к средним многолетним показателям в июне-июле и повышенной ветровой активности в августе, образования зон гипоксии и заморов рыбы практически не наблюдалось. Температурный режим и ветровая деятельность не способствовали образованию зон гипоксии и заморов рыбы в раннеосенний сезон.

В осенний сезон 2018 г. в связи с аномально теплыми условиями в южной половине Азовского моря, достаточно постепенным снижением температуры воды в октябре (на 0,1–0,2 °C/сутки), выход хамсы (низкая жирность – 10–15%) в предпроливную зону и Керченский пролив происходил мелкими разряженными скоплениями, не представлявшими промыслового интереса.

В Черном море формирование ледового покрова отмечалось в северных лиманах на северо-западе моря, в Егорлыцком и Тендровском заливах, в западной части Джарылгачского и восточной части Перекопского залива.

Благоприятные условия для миграции анчоуса из Черного моря в Керченский пролив сложились с 7 апреля в южной части пролива на траверзе с. Заветное – восточная оконечность косы Тузла, с 8 апреля в Таманском заливе, с 11 апреля в южной части Азовского моря, когда температура воды превысила 10,0 °C.

В весенний сезон в районе Феодосии отмечалась квазипостоянная локальная зона пониженной температуры воды, связанная, вероятно, с проявлением прибрежного апвеллинга и затоком более холодных вод с Азовского моря.

Периодически вдоль крымского и северной части кавказского побережий моря прослеживались апвеллинги разной интенсивности. К югу, юго-западу от Керченского предпроливья моря с 4 по 22 августа, а также 1–24 сентября и 8–16 октября в центральной части моря прослеживались очаги холодных вод (циклонической завихренность).

В целом термические условия в весенне-летний сезон 2018 г. не оказывали отрицательного влияния на образование промысловых скоплений шпрота, а в осенний сезон не способствовали их раннему распаду.

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК ПРИПОВЕРХНОСТНОГО ТЕЧЕНИЯ ПО ВИДЕОЗАПИСЯМ ВОЛНЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ

Дулов В.А., Юровский Ю.Ю.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
dulov@gmail.com*

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

На сегодняшний день не имеется стандартных средств, позволяющих измерять скорость течения на глубинах несколько сантиметров от поверхности моря в условиях, когда уровень самой поверхности испытывает колебания из-за поверхностного волнения. Подход к решению этой задачи, предложенный в работе [Stewart, Joy, 1973], реализован для съемки течений на глубинах в несколько метров с помощью радиолокационных систем высокочастотного диапазона (например, CODAR [Barrick et al., 1977]). Для оценки скоростей на горизонтах более близких к поверхности предложены подходы, опирающиеся на использовании сравнительно сложной аппаратуры, такой как радиолокационные установки, стерео- или поляризационные видеозаписи. В данной работе для решения этой задачи рассмотрена возможность использования обычной видеокамеры.

Цифровые видеозаписи были выполнены в контролируемых условиях с океанографической платформы в Кацивели. Путем их обработки были получены трехмерные спектры коротких волн $S(k_x, k_y, f)$. Различные сечения спектров демонстрируют дисперсионное соотношение коротких поверхностных волн, деформированное течением из-за эффекта Допплера, причем деформации на различных волновых числах связаны с течениями на различных горизонтах.

В результате исследования была разработана методика оценки профиля течения на горизонтах от нескольких сантиметров до 20 см. Полученные скорости течения практически однородны по вертикали. Величины скоростей согласуются с единичными инструментальными измерениями и дистанционными оценками,

полученными другими методами. Вертикальные градиенты скорости течения, построенные в пристеночных координатах теории турбулентности, определено ниже, чем для логарифмического погранслоя. В то же время они согласуются с полученными ранее данными лагранжевых дрейфтеров и теоретическими представлениями о турбулентности верхнего слоя моря в условиях обрушения ветровых волн [Kudryavtsev et al., 2008].

Работа выполнена в рамках государственного задания МГИ РАН № 0827-2019-0004 «Прибрежные исследования».

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЛЩИНЫ МОРСКОГО ЛЬДА В АРКТИКЕ ПО ДАННЫМ СПУТНИКА CRYOSAT-2 ЗА 2017–2019 ГГ.

**Замшин В.В.¹, Ибраев Р.А.², Кауркин М.Н.²,
Кудряшов П.Д.¹, Шлюпиков В.А.¹**

¹*НИИ «АЭРОКОСМОС», г. Москва, Россия*

²*ИО РАН, г. Москва, Россия*

viktor.v.zamshin@gmail.com

Ключевые слова: морской лед, дистанционное зондирование, Арктика, Северный Ледовитый океан, толщина льда, спутниковый мониторинг.

В работе приводятся результаты исследования динамики пространственного распределения толщины морского льда в Арктике. В качестве исходных материалов используются информационные продукты Sea Ice Thickness₁ (далее – SIT-данные), предоставленные организацией Centre for Polar Observation and Modelling₂, сформированные на основе данных, полученных со спутника Cryosat-2 в 2017–2019 гг.

Системно организованные информационные продукты, характеризующие толщину морского льда, основанные на результатах

¹ Толщина морского льда

² Центр полярных наблюдений и моделирования (Великобритания)

обработки спутниковых измерений являются относительно новым типом данных. В настоящее время на орбите Земли действует спутник CryoSat-2, запущенный в 2010 году. Его основная полезная нагрузка – это радиолокатор с синтезированием апертуры с функцией интерферометрического альтиметра. В ходе настоящей работы по формируемым на основании данных Cryosat-2 «двухсуточным» распределениям SIT для Арктики (от 60° с. ш.) исследовалось в динамике поле распределения толщин морского льда, вычисленных на 5-километровой сетке.

В результате исследования выявлены и локализованы различные типы динамики толщин морского льда для двух периодов нетаяния (с ноября по апрель): 2017–2018 гг. и 2018–2019 гг. Даны предварительные оценки качества SIT-данных, формируемых по результатам работы космического аппарата Cryosat-2.

Одним из возможных вариантов перспективного применения получаемых данных о толщине морского льда является их усвоение в вихреразрешающей модели мирового океана.

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НЕФТЕПРОЯВЛЕНИЙ В РАЙОНЕ РОССИЙСКОГО ШЕЛЬФА ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЗА 2017–2018 ГГ.

Замшин В.В., Матросова Е.Р., Харченко В.Д., Ходаева В.Н.

*НИИ «АЭРОКОСМОС», г. Москва, Россия
viktor.v.zamshin@gmail.com*

Ключевые слова: космический мониторинг, Черное море, нефтепроявления, загрязнения акваторий, геоинформационная система.

Рассматриваются особенности пространственного распределения нефтепроявлений в районе российского шельфа Черного моря, выявленных по данным космического мониторинга за 2017–2018 гг. Исследование основано на результатах обработки

космических оптических и радиолокационных изображений, полученных со спутников Landsat-7/8, Sentinel-1A/B, Sentinel-2A/B. Для обнаружения нефтепроявлений применялись визуальные и автоматизированные методы обработки космических изображений. Комплексно анализируются и развиваются результаты, полученные в серии предыдущих работ.

Ключевой особенностью настоящего исследования является анализ взаимного расположения обнаруженных нефтепроявлений и различных типов их потенциальных источников: месторождений нефти и газа, судоходных трасс, грязевых вулканов и др. В ходе анализа выполнялся подсчет сочетаний обнаруженных нефтепроявлений и их потенциальных источников в пространственной сетке с размером ячеек 20×20 км (всего 27×15 ячеек).

Исследование позволило установить, что наиболее часто появление нефтяных пятен встречается вблизи судоходных трасс и грязевых вулканов. Даны количественные оценки пространственной согласованности обнаруженных нефтяных загрязнений и четырех типов их потенциальных источников.

Исследование выполнено при поддержке Минобрнауки России.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ НЕФТЕПРОЯВЛЕНИЙ В КАСПИЙСКОМ МОРЕ ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЁМКИ

Замшин В.В., Ходаева В.Н.

*НИИ «АЭРОКОСМОС», г. Москва, Россия
viktor.v.zamshin@gmail.com*

Ключевые слова: нефтепроявления, космический мониторинг, морская поверхность, оптические изображения, радиолокационные изображения, Каспийское море.

С применением данных космической оптической (спутники Landsat-7/8, Sentinel-2A) и радиолокационной (спутники Sentinel-1A/B) съёмки был исследован и проанализирован на предмет

нефтепроявлений природно-территориальный комплекс акватории Каспийского моря.

В ходе исследования в целях улучшения качества интерпретации нефтепроявлений была разработана специализированная тематическая геоинформационная среда, в которую были интегрированы: физико-географическая информация о морском бассейне и природных условиях, данные по объектам топливно-энергетического комплекса, тектонические характеристики, известные естественные источники нефтепроявлений и др. Были обобщены и проанализированы основные критерии и признаки проявлений нефтяных загрязнений на космических оптических и радиолокационных изображениях морской поверхности. На основании проведённого анализа была предложена методика дешифрирования нефтепроявлений по космическим оптическим и радиолокационным изображениям, ориентированная на исследования акваторий Каспийского моря.

С использованием разработанной методики выполнен космический мониторинг Каспийского моря, в результате которого в период с 1 мая по 31 августа 2018 г. было обнаружено 89 естественных и 166 антропогенных нефтепроявлений общей площадью 242,2 км² и 1482,7 км² соответственно. На основании комплексного анализа результатов мониторинга в геоинформационной среде были определены районы сосредоточения интенсивных нефтепроявлений (области Апшеронского и Бакинского архипелагов, западный борт Южно-Каспийской впадины). В период исследования антропогенные нефтепроявления преимущественно были обнаружены вблизи судоходных трасс, нефтяных платформ и у побережий Каспийского моря. При анализе расположения обнаруженных нефтепроявлений естественного происхождения было выявлено, что они сконцентрированы преимущественно вблизи грязевых вулканов.

Актуальность работы обусловлена значительными темпами разведки и добычи углеводородов в акваториях Каспийского моря, что приводит к увеличению количества источников загрязнений, в связи с чем повышается необходимость в мониторинговых исследованиях.

Исследование выполнено при поддержке Минобрнауки России.

ДИНАМИКА ВИХРЕЙ И ВНУТРЕННИХ ВОЛН В АРКТИКЕ ПО ДАННЫМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ СПУТНИКОВЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Козлов И.Е., Плотников Е.В., Михайличенко Т.В.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
igor.eko@gmail.com*

Ключевые слова: вихри, короткопериодные внутренние волны, спутниковая радиолокация морской поверхности, орбитальная скорость вращения вихрей, фазовая скорость внутренних волн, Арктика.

В настоящей работе продемонстрированы новые возможности по использованию квазисинхронных измерений спутниковых радиолокаторов с синтезированной апертурой Sentinel-1 A/B для оценки динамических характеристик вихрей и короткопериодных внутренних волн на безледных участках акватории Северного Ледовитого океана, а также в прикромочной ледовой зоне. Новизна работы обусловлена запуском в последние годы полярно-орбитальных спутников Sentinel-1A/B, частота измерений которых в Арктике достигает 2–4 раз в сутки. На основе анализа последовательных РСА изображений определяется поле горизонтальной скорости течений, в котором отчетливо идентифицируются вихревые образования различного размера и знака вращения. По последовательным изображениям также оценивается фазовая скорость распространения короткопериодных внутренних волн. Представленная в работе методология анализа спутниковых РСА данных может служить основой для исследования динамических процессов верхнего слоя Северного Ледовитого океана как в субмезомасштабном интервале пространственно-временной изменчивости, так и на больших масштабах.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ № 18-77-00082.

ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ БОЛЬШОЙ АМПЛИТУДЫ В АРКТИКЕ: МЕХАНИЗМЫ ГЕНЕРАЦИИ И РОЛЬ В ТУРБУЛЕНТНОМ ПЕРЕМЕШИВАНИИ

Козлов И.Е.^{1,2}, Фер И.³, Зубкова Е.В.²

¹*МГИ, г. Севастополь, Россия*

²*РГГМУ, г. Санкт-Петербург, Россия*

³*Университет Бергена, г. Берген, Норвегия*

igor.eko@gmail.com

Ключевые слова: внутренние волны, приливы, турбулентное перемешивание, контактные измерения, спутниковая радиолокация морской поверхности, Северный Ледовитый океан.

В работе представлены результаты исследования короткопериодных внутренних волн, полученные на основе совместного анализа спутниковых радиолокационных наблюдений и контактных измерений в отдельных районах Арктики. Основу для анализа составили измерения спутниковых радиолокаторов с синтезированной апертурой Sentinel-1 А, В за летний период 2016–2018 гг. По данным спутниковых наблюдений выделены районы, где, согласно данным прямых измерений, наблюдаются интенсивные внутренние волны больших амплитуд. Приводятся результаты контактных измерений, выполненных летом 2018 г. к северу от арх. Шпицберген, позволивших зарегистрировать внутренние волны рекордных амплитуд с высотой колебаний до 40–50 м. Показано, что прохождение внутренних волн большой амплитуды вызывает интенсивное турбулентное перемешивание как в слое пикноклина, так и в более глубоких слоях.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ №18-35-20078 мол_а_вед.

МОДУЛЯЦИЯ ОБРУШЕНИЙ ДЛИННЫМИ ВЕТРОВЫМИ ВОЛНАМИ

**Кориненко А.Е., Дулов В.А.,
Малиновский В.В., Кудрявцев В.Н.**

*МГИ, г. Севастополь, Россия
korinenko.alex@gmail.com*

Ключевые слова: обрушения ветровых волн, морские натурные исследования, модуляция обрушений длинными волнами, воздействие длинных волн на спектр коротких волн.

Обрушения ветровых волн играют важную роль в процессах на морской поверхности—газообмене между океаном и атмосферой, диссипации волновой энергии, генерации турбулентности в приповерхностном слое моря. Учет рассеяния электромагнитных волн на обрушениях важен при анализе данных дистанционного зондирования океана, в особенности радиолокационных.

Отдельный интерес представляют исследования пространственного распределения обрушений при наличии доминирующих поверхностных волн. С одной стороны, сильные модуляции обрушений длинными волнами участвуют в формировании модуляционной передаточной функции (МПФ) радиолокационного сигнала. С другой стороны, результаты исследований влияния длинных волн на пространственное распределение обрушений позволяет изучать динамику ветровых волн.

Целью настоящей работы является анализ распределения доли морской поверхности, покрытой барашками, по профилю длинной волны.

Экспериментальное исследование влияния доминирующих поверхностных волн на пространственное распределение обрушения было выполнено в октябре 2018 г. на Стационарной океанографической платформе в Голубом заливе, пгт Кацивели, Крым.

Определение доли морской поверхности, покрытой обрушениями, выполнялись по видеозаписям. Выделение обрушений на фоне морской поверхности основано на расчете порога, который определяется при анализе функции распределения вариаций яркости натуральных видеозаписей. Измерения обрушений сопровож-

дались регистрацией скорости ветра и возвышений морской поверхности. Для определения положения обрушения вдоль профиля доминантной волны в поле зрения видеокамеры находился волнограф. Синхронизация видеоряда и возвышений морской поверхности была осуществлена путем записи акустического канала видеокамеры и волнографа в единый файл с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП).

Выполненный анализ показал, что влияние доминантных волн на обрушения приводит к сильным модуляциям доли поверхности, покрытой барашками. Обрушения концентрируются в области гребня длинных волн и подавляются в районе их впадины. Данные были проанализированы в терминах МПФ. Показано, что вариации доли морской поверхности, покрытой обрушениями, в 18 раз больше крутизны волны. Получено, что с увеличением скорости ветра модуляция обрушений уменьшается. В тоже время, с увеличением возраста волн наблюдается рост МПФ.

Представлена физическая модель эволюции спектра обрушающихся волн в поле орбитальных скоростей волн спектрального пика. Сопоставление модельных и экспериментальных результатов показало их хорошее соответствие.

Исследование выполнено по теме государственного задания № 0827-2019-0003 «Океанологические процессы», а также при поддержке гранта РФФИ № 19-05-00547.

БИООПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ КОККОЛИТОФОРИДНОГО ЦВЕТЕНИЯ В ЧЕРНОМ МОРЕ ПО СПУТНИКОВЫМ И КОНТАКТНЫМ ДАННЫМ, ИЮНЬ 2017 Г.

Корчемкина Е.Н., Маньковская Е.В.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
korchemkina@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: показатель ослабления света, коэффициент яркости, показатель рассеяния, показатель обратного рассеяния, неорганический углерод, кокколиты, хлорофилл, Черное море.

По данным натурных оптических измерений в июне 2017 года (экспедиция НИС «Профессор Водяницкий» 14.06–30.06) и по спутниковым данным о коэффициенте яркости моря и содержании углерода в минеральной взвеси получены оценки биооптических характеристик вод Черного моря в период массового развития кокколитофорид.

Величины коэффициента яркости в максимуме составили 10% и оказались завышенными в ~10 раз по сравнению с характерными для данного района и периода времени.

Среднее значение показателя обратного рассеяния взвешенных частиц, восстановленное по спутниковым данным о коэффициенте яркости с помощью полуаналитического алгоритма, составило $b_{bp}(550) = 0,028 \pm 0,004 \text{ м}^{-1}$. По данным MODIS-Aqua/Terra Level 3 эта величина, пересчитанная из значений для длины волны 443 нм, оказалась аналогичной и составила $b_{bp}(550) = 0,028 \pm 0,005 \text{ м}^{-1}$. Это на порядок выше типичных для Черного моря значений, наблюдаемых вне периода интенсивного развития кокколитофорид.

Данные контактных измерений величины показателя ослабления света $c(520)$ и рассчитанные по ним значения показателя рассеяния взвесью $b_p(550)$ завышены по сравнению со среднемесячными в этом районе в 2–3 раза и составили в среднем $c(520) = 0,81 \pm 0,13 \text{ м}^{-1}$ и $b_p(550) = 0,069 \pm 0,13 \text{ м}^{-1}$.

Средняя концентрация пигментов хлорофилла составила $C_{ph} = 0,25 \pm 0,14 \text{ мг/м}^3$. Такая величина не является завышенной для июля, т. к. в целом цветение кокколитофорид не приводит к существенному росту поглощения пигментами фитопланктона.

Средняя концентрация кокколитов, рассчитанная по значениям показателя обратного рассеяния взвесью $b_{bp}(550)$, составила $N_{cocc}(b_{bp}) = (2,56 \pm 0,38) \cdot 10^{11} \text{ м}^{-3}$, а рассчитанная по спутниковым данным о содержании углерода – $N_{cocc}(pic) = (4,73 \pm 0,90) \cdot 10^{11} \text{ м}^{-3}$. Предположительно, такое превышение вызвано тем, что спутниковые значения pic завышены при значениях $b_{bp}(550) > 0,02 \text{ м}^{-1}$.

Работа выполнена в рамках государственного задания по темам № 0827-2019-0002 и № 0827-2019-0004.

МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛЮМА ДУНАЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА БИООПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО СПУТНИКОВЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ

Кубряков А.А., Станичный С.В., Зацепин А.Г.

МГИ, г. Севастополь, Россия

ИО РАН, г. Москва, Россия

arskubr@ya.ru

Ключевые слова: ветровое волнение, спутниковые снимки Landsat 2, разгон волн.

Речной сток оказывает существенное влияние на гидрофизические и биологические характеристики Черного моря

Настоящая работа посвящена исследованию межгодовой изменчивости распространения плюма Дуная и основных, вызывающих ее динамических факторов. В работе создана модель лагранжевых частиц, которая позволяет на основе альтиметрических и метеорологических данных исследовать оценивать распространение Дунайских вод. На основе данной модели были рассчитана межгодовая изменчивость ареалов распространения Дунайских вод в летний период 1992–2015 гг.

Результаты моделирования хорошо согласуются с данными оптических сканеров MODIS и SeaWiFS. Анализ результатов позволил провести условную классификацию типов движения речных вод в различные года. В основном Дунайские воды движутся от устья рек на юг вдоль континентального склона вместе с Основным Черноморским течением (ОЧТ). При этом они могут быть прижаты к берегу (западный тип), либо захватываться проходящими восточнее антициклоническими вихрями (вихревой тип) в зависимости от преобладающей направленности ветра. Значительно реже можно наблюдать аномальные ситуации, когда богатые воды движутся на север от устья (северный тип), либо на восток до Западного побережья Крыма (восточный тип) и оказываются запертыми на северо-западном шельфе. Межгодовая изменчивость поля ветра определяет возникновение того или иного типа распространения: завихренность ветра определяет тип гео-

строфической циркуляции на масштабе бассейна или его крупных областей, напряжение трения ветра – перенос дрейфовыми течениями. При сильной циклонической завихренности наблюдается западный тип, при средней – вихревой, при антициклонической завихренности – восточный или северный. Интенсивность речного стока в некоторые годы оказывает влияние на формирование антициклона непосредственно у устья Дуная, который можно наблюдать по оптическим данным среднего и высокого разрешения. Этот вихрь способствует движению речных вод в антициклоническом направлении на восток и север. В зимний период при интенсивном ОЧТ воды Дуная способны проникать вдоль берега далеко на восток достигая центрального и восточного Анатолийского побережья. Изменчивость распространения вод Дуная оказывает значимое влияние на распределение поля концентрации хлорофилла a , модулируя транспорт биогенных веществ и органического вещества от рек в центральную часть моря.

Исследование влияния Дуная на биооптические свойства Черного моря выполнены в рамках гранта РНФ 19-77-00029, анализ влияния вихрей на межгодовой изменчивости движения плюма выполнены в рамках государственного задания по теме 19-05-00479, расчеты распространения речных вод выполнены в рамках государственного задания по теме 0555-2019-0001.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ СКОРОСТИ И ЗАВИХРЕННОСТИ ВЕТРА НАД ЧЕРНЫМ МОРЕМ ПО СПУТНИКОВЫМ СКАТТЕРОМЕТРИЧЕСКИМ ИЗМЕРЕНИЯМ QUIKSCAT И ASCAT

**Кубряков А.А., Станичный С.В.,
Шокуров М.В., Гармашов А.В.**

*МГИ, г. Севастополь, Россия
arskubr@ya.ru*

Ключевые слова: скорость ветра, завихренность ветра, скаттерометры, Черное море.

В работе на основе долговременных спутниковых измерений скаттерометров QuikScat за 2000–2009 гг. и ASCAT за 2009–

2016 гг. исследуется пространственно-временная изменчивость скорости и завихренности ветра над Черным морем. Сравнение натурных измерений скорости ветра, выполненных на морской стационарной платформе «Голицыно-4», с измерениями скаттерометра QuikSCAT и данными реанализов NCEP, MERRA, ERA-Interim и MM5 показало, что скаттерометрические измерения характеризуются наибольшей точностью по сравнению с данными реанализов (СКО 1,58 м/с, коэффициент корреляции 0,85).

Анализ скаттерометрических данных с высоким разрешением ($1,8^\circ$) позволяют наблюдать ряд локальных мезомасштабных особенностей поля ветра в бассейне, связанных с топографическими эффектами: интенсификация ветров после прохождения Босфора и Керченского пролива, усиления ветра из-за мысового эффекта на юге и западе Крымского полуострова, у м. Фонарь, центральных мысов анатолийского побережья; долинных ветров у Колхидской долины; зоны ветровой тени на восточном побережье Турции и западном побережье Крыма.

У восточного побережья бассейна спутниковые измерения зафиксировали три мощных и локальных пятна циклонической завихренности небольшого масштаба (радиусом около 40 км). Рост завихренности в них связан с обтеканием ветром Кавказских гор к востоку от Керченского пролива, локальным понижением гор вблизи Туапсе и долинных ветров из Колхидской долины (соответственно). Эти локальные максимумы наблюдаются в течение всего года, но интенсифицируются зимой. Они значительно влияют на общую циклоническую завихренность над Черным морем, вклад их в которую составляет 30–50%.

Данные QuikScat и ASCAT используются для описания сезонной и межгодовой изменчивости характеристик ветра в 2000–2016 гг. Спутниковые данные показывают, что скорость и завихренность ветра в западной и восточной части моря имеют значительно отличающуюся межгодовую изменчивость. В среднем в 2000–2010 гг. скорость ветра падает, но завихренность растет. При этом основное падение скорости ветра происходит в западной части моря, а рост завихренности в восточной. Такая структура изменений и корреляционный анализ изменчивости завихренности ветра над бассейном и поля давления показал, что воз-

можной причиной наблюдающихся изменений является смещение Сибирского антициклона на запад. Смещение области высокого давления к северу от Черного моря приводит к изменению направления ветра от северо-западного до северного. Такое незначительное изменение доминирующих ветров приводит к формированию области высокой циклонической завихренности над восточной частью моря, связанной с поворотом северных ветров на восток при их взаимодействии с Понтийскими горами.

Валидация скаттерометрических измерений выполнена в рамках государственного задания по теме 0555-2019-0001, анализ изменчивости завихренности ветра выполнен в рамках государственного задания по теме 0827-2019-0002, анализ изменчивости скорости ветра выполнен в рамках гранта 19-05-00752.

ЗИМНИЕ «ЦВЕТЕНИЯ» КОККОЛИТОФОРИД В ЧЕРНОМ МОРЕ ПО СПУТНИКОВЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ

Кубрякова Е.А., Кубряков А.А., Станичный С.В.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
elena_kubryakova@mail.ru*

Ключевые слова: Черное море, «цветение» кокколитофорид.

Кокколитофориды являются одним из доминирующих типов фитопланктона в Черном море. По данным натурных и спутниковых наблюдений отмечается регулярное «цветение» кокколитофорид *Emiliania huxleyi* в начале лета. В [Kubryakov A.A., Mikaelyan A.S., Stanichny S.V. Summer and winter coccolithophore blooms in the Black Sea and their impact on production of dissolved organic matter from Bio-Argo data // J. Marine Systems. – 2019 (in press)] совместный анализ спутниковых данных и измерений буев Био-Арго позволил описать изменчивость зимнего «цветения» кокколитофорид, ранее зафиксированном также в ряде экспедиционных работ.

В настоящей работе на основе оптических и инфракрасных измерений данных спутника MODIS-Aqua за 2003–2017 гг. исследуется межгодовая изменчивость зимних «цветений» кокколитофорид в Черном море и основные вызывающие ее факторы.

Анализ спутниковых данных позволил условно выделить годы с интенсивным «цветением» кокколитофорид, охватывающим всю глубоководную часть моря, с локальными «цветениями» и годы, в которые «цветение» и массовое развитие кокколитофорид не наблюдалось.

В январе 2005 г. и в конце декабря 2012 г. – в январе 2013 г. «цветение» наблюдалось практически по всей центральной части моря со значениями коэффициента яркости водной толщи R_{rs} от 0,007 до 0,01 ср^{-1} , что по оценкам [Kubryakov A.A., Mikaelyan A.S., Stanichny S.V. Summer and winter coccolithophore blooms in the Black Sea and their impact on production of dissolved organic matter from Bio-Argo data // J. Marine Systems. – 2019 (in press)] соответствует $1 - 1,35 \cdot 10^6$ кл/л. Отметим, что в январе 2005 г. высокие значения R_{rs} наблюдались в центрах циклонических круговоротов и отсутствовали в районе континентального склона. В период зимнего «цветения» 2012–2013 гг. высокие значения R_{rs} также зафиксированы вблизи континентального склона в восточной и южной частях моря. В декабре 2006 г., в январе 2011 г. и со второй декады декабря 2013 г. в течение месяца наблюдалось массовое развитие кокколитофорид ($2,5 - 7 \cdot 10^{-3} \text{ ср}^{-1}$) в глубоководной части моря.

В некоторые годы интенсивные «цветения» кокколитофорид наблюдаются в основном в восточной части моря вблизи берега (декабрь 2005 г. – январь 2006 г., январь 2007 г., декабрь 2007 г.) или в восточном циклоническом круговороте (февраль 2007 г., январь 2008 г.).

Локальные «цветения» кокколитофорид в южной части моря вблизи Анатолийского побережья наблюдались в октябре 2005 г., ноябре 2010 г., октябре 2014 г., декабре 2015 г. и в ноябре 2016 г. В октябре 2005 г. такое «цветение», вызванное действием интенсивного квазитропического циклона, было особенно сильным.

В некоторые годы (2003, 2012) высокие значения R_{rs} , характеризующие «цветение» кокколитофорид, наблюдались только в локальных районах, положение которых совпадало с положением

Севастопольского (2003 г.) или Батумского антициклона (январь 2012 г.). Адвекция вихрями вод шельфа, подверженных влиянию речного стока, в этом случае могла выступать причиной такого распределения.

В работе исследуется влияние различных физических факторов (штормовых ветров, выхолаживания, осадков, кросс-шельфового обмена) на интенсивность, пространственное распределение и эволюцию «цветений» кокколитофорид в холодный период года.

Анализ межгодовой изменчивости кокколитофорид выполнен в рамках гос. темы № 0827-2019-0002 (шифр «Оперативная океанология»). Обработка спутниковых данных выполнена в рамках гос. темы №0555-2019-0001. Исследование влияния штормовых ветров на возникновение аномальных цветений кокколитофорид поддержано грантом РФФИ 17-05-41102.

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ (AQUA/TERRA, 2000–2019 ГГ.) ОБ ИСТОЧНИКЕ ВОДЫ, БЫЮЩЕМ С БЫВШЕГО ДНА АРАЛЬСКОГО МОРЯ

Кузьмичёва Т.Ф.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
tfk12.93@yandex.ru*

Ключевые слова: Восточный Арал, заполнение водой с юга, спутники AQUA/TERRA, 2000–2019 гг.

Аральское море на современном этапе превратилось в совершенно уникальную естественную лабораторию, в которой можно изучать процессы, которые в условно-естественный период (до 1960-го года) были недоступны.

Долгое время считалось, что, после того как южная граница Аральского моря ушла на несколько сотен километров от устья Амударьи к северу, воды Амударьи больше не смогут поступать в Восточный Арал. Анализ снимков, полученных со спутников AQUA/TERRA за 2008–2019 гг., показал, что на юге Восточного Арала в результате высыхания образовался полуостров, который является как бы продолжением ветланда Джилтыр-Бас-2 и клином вдавливается в воды Восточного Арала. У основания этого клина,

в точке с координатами приблизительно 44° 11' с. ш., 59° 40' в. д., время от времени появляется водоем (озеро), который впервые был замечен автором 22.09.2009. У водоема есть подземный источник, который в 2010, 2012, 2015, 2017 гг. заполнил с юга весь Восточный Арал.

В 2017 г. этот водоем (озеро) появился 14.05.2017. К 15.06.2017 воды этого озера, стекая поперек изобат вниз на север, объединились с водами Восточного Арала, находящимися на севере (приблизительно в районе 44,82° с. ш.). За 32 дня воды прошли расстояние приблизительно в 77,7 км, т. е. двигались на север приблизительно со скоростью 0,1 км/ч. Если в 2014 г. восточная часть бывшего Аральского моря высохла полностью, то к 30.06.17 г. воды в ней появилось почти столько же, сколько в самом полноводном за последние 10 лет 2010 году.

Анализ снимков, полученных со спутников AQUA/TERRA за 2000–2008 гг., размещенных на сайте EOSDIS Worldview, показал, что впервые это озеро появилось 04.07.2002 и просуществовало до осени этого же года. Затем оно появлялось в 2003–2005 годах. В 2006–2008 годах озеро не появлялось. 2006–2008 годы были настолько засушливыми, что не было воды и в Промежуточном Арале.

Сравнение характера ледостава в Аральском море в различные годы дает основание предположить, что в 2001 году в этом месте так же была из-под земли пресная вода, но в 2001 году источник был покрыт водами Восточного Арала. Другими словами, найденный водоем может быть одним из источников, бивших со дна Аральского моря, о существовании которых предполагалось, но никаких сведений о них в условно-естественный период не было.

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ В МРАМОРНОМ МОРЕ ПО ОПТИЧЕСКИМ СНИМКАМ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

**Медведева А.В., Станичный С.В., Кубряков А.А.,
Алескерова А.А., Плотников Е.В.**

МГИ, г. Севастополь, Россия

shift@mail.ua

Ключевые слова: Мраморное море, Верхнебосфорский поток, вихри, внутренние волны, данные дистанционного зондирования.

Мраморное море занимает промежуточное положение между Черным и Эгейским морями, соединяясь с ними проливами Босфор и Дарданеллы, что обуславливает взаимное влияние между этими тремя морями и в поверхностном, и в глубинных слоях.

По оптическим данным высокого разрешения (Sentinel-2 и Landsat-8) дается характеристика процессам и явлениям Мраморного моря, обнаруженным в период май-сентябрь за 2017 и 2018 гг. В отдельных случаях выявление субмезомасштабных и мезомасштабных процессов осуществлялось по радиолокационным снимкам Sentinel-1. Дополнительно привлечены данные сенсоров MODIS и VIIRS о яркости восходящего излучения и концентрации хлорофилла-а для случаев цветения фитопланктона в мраморноморских водах.

Значительную роль в формировании гидрологической структуры бассейна играет Верхнебосфорский поток. Он имеет преимущественно юго-восточное направление и в видимом диапазоне в отдельные дни выявляется на расстояниях до 30–40 и более км от выхода из пролива. В отдельных случаях по мере продвижения черноморских вод вглубь бассейна поток меандрирует и формирует вихревые структуры.

В летний сезон регулярно на выходе из Босфорского пролива выявляются воды с более низкой – до 3–5°C – температурой, которые нередко отличаются повышенным содержанием хлорофилла-а. Эти воды имеют черноморское происхождение, в пролив поступают как надтермоклинные, так и непрогретые подтермоклинные воды, которые в процессе перемешивания становятся в среднем холоднее мраморноморских вод. Черноморские воды отличает также меньшая плотность, обусловленная низкой соленостью, что и является причиной их выноса к поверхности.

Наличие квазисинхронных снимков позволило вычислить скорости смещения отдельных явлений. В частности, анализ пары Landsat-8 (время – 08:44:47 UTC) и Sentinel-2 (время – 09:05:23 UTC) от 13 августа 2018 г выявил, что скорости сдвига

элементов Верхнебосфорского потока варьировали от 0,6 до 0,8 м/с на малом расстоянии от выхода из пролива и снизились до 0,3–0,4 м/с по мере распространения вглубь бассейна.

Различие в плотностях черноморских и мраморноморских вод также способствует интенсивной генерации внутренних волн. Наиболее часто поверхностные проявления внутренних волн обнаруживается вблизи Босфорского пролива, но множество разнонаправленных и перекрывающихся цугов в сочетании с проявлениями корабельных следов существенно ограничивают возможность характеристики отдельных пакетов внутренних волн.

Малые размеры моря выступают ограничивающим фактором при эволюции вихрей: максимальные диаметры структур обычно не превышают 30–35 км. Наиболее крупные вихри формируются в центральной части моря, в большем количестве вихри меньших размеров выявляются в западной части моря и в прибрежных районах.

Исследование выполнено в рамках госзадания МГИ РАН 0827-2019-0002 и при поддержке проекта РФФИ 19-05-00752.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ МНОГОЗОНАЛЬНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ПРИ ПОИСКАХ ПРИБРЕЖНЫХ РОССЫПЕЙ И МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ В СЕВЕРНЫХ МОРЯХ РОССИИ

Миловский Г.А.

*НГИЦ РАН, г. Москва, Россия
oregas@mail.ru*

Ключевые слова: космическая съемка высокого разрешения, россыпи золота, месторождения углеводородов, шельф.

Многозональная космическая съемка высокого разрешения (1 м) открывает новые возможности для поисков полезных ископаемых на морском шельфе в прибрежной зоне северных морей России.

Исследование акватории моря Лаптевых на наличие месторождений углеводородов показало, что в прибрежной зоне путем

синтеза изображений в различных спектральных каналах можно изучать особенности рельефа дна и структурные элементы, как трассирующиеся с материковой части, так и развитые только в пределах шельфовой зоны. В эстуарии р. Хатанга дистанционными методами исследовано строение акватории и выявлены структуры, перспективные на наличие залежей углеводородов. Установленные в пределах кряжа Прончищева россыпные проявления алмазов позволяют рассматривать примыкающую к кряжу Прончищева акваторию моря Лаптевых в качестве перспективной на наличие россыпей алмазов. Отмечается связь современных шлиховых ореолов минералов-спутников алмаза с их более древними коллекторами, сформировавшимися в прибрежно-морских условиях [Фолисеви́ч, 1999].

Преобладающая часть запасов и прогнозных ресурсов золота шельфовых зон России сосредоточена в Арктике. Потенциал золотоносности шельфовых зон связан, главным образом, с Таймыро-Североземельской золото-россыпной провинцией, охватывающей о. Большевик и северную часть п-ова Таймыр. На мелководном шельфе Чукотского моря известны россыпи золота в районе мыса Шмидта, однако разрабатываются только погребенные россыпи на территории, прилегающей к береговой линии. На россыпном месторождении Рывеем было добыто около 250 тонн золота, при среднем содержании 81 г/м^3 [Агибалов, 2019]. Отсутствие богатых коренных источников уникальных Рывеемских россыпей предполагает либо их эродированность, либо наличие еще не выявленных коренных источников. Космическая съемка высокого разрешения позволяет выявлять структурные факторы, контролирующие пространственную локализацию прибрежных россыпей. К этим факторам относятся минерализованные зоны тектонических нарушений вдоль которых развивались линейные коры выветривания, являвшиеся вероятными источниками питания россыпей, а также малоамплитудные неотектонические движения отдельных блоковых морфоструктур, которые определяли условия образования россыпей в древних долинах.

В акватории Берингова моря россыпное золото добывается на Аляске в районе Нома. Вдоль береговой линии Чукотского полуострова также выявлены россыпи золота, приуроченные к палео-

руслам рек, расположенным на мелководном шельфе. Наибольший промышленный интерес могут представлять дельтовые россыпи рек Чеутакан, Эргувеем, Энмелен. Исследование этих объектов дистанционными методами позволяет выделить участки размыва отложений дельты мигрирующими рукавами в надводной части дельты и прибрежными донными течениями на глубинах до 5 м.

Для выявления новейших тектонических деформаций в пределах прибрежного шельфа были использованы также данные магнитометрической съемки.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ТИПОВ И МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЮЖНОГО БЕРЕГА ТАГАНРОГСКОГО ЗАЛИВА

Мисиров С.А.¹, Беспалова Л.А.²

¹ЮНЦ РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия

²ЮФУ, г. Ростов-на-Дону, Россия
sam.misirov@gmail.com

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, абразионный берег, оползневой берег, овражно-балочная сеть, ортофотоплан, цифровая модель местности, Таганрогский залив.

Исследование направлено на оценку возможности использования БПЛА при изучении морфологических и морфометрических характеристик берегов для осуществления мониторинга береговых процессов водоемов, а также на дополнение уже существующей информации о побережье по данными экспедиционных исследований с 1980 по 2018 г., проводимых кафедрой Океанологии Южного Федерального Университета совместно с Южным Научным Центром РАН.

В качестве полигона для отработки методики было выбрано два участка Южного побережья Таганрогского залива в пределах Ростовской области. Оба участка имеют длину около шести километров.

На первом этапе были проведены полевые исследования с применением сверхлегкого БПЛА типа мультикоптер – «Phantom 3 Professional» производства компании «DJI» (Китай) с установленной, стабилизированной по трем осям камерой. В ходе которых получены фотоматериалы и контрольные точки для последующей обработки в цифровой фотограмметрической системе «PhotoScan» компании «Agisoft».

Построение и уравнивание фототриангуляции, для съемки с высоты 200 м выполнено с использованием 10 контрольных точек для каждого участка. Шесть из них использовались как опорные, а остальные четыре – контрольные. Среднеквадратические ошибки составили 46,8 см в плане, 49,9 см по высоте, ошибка репроецирования составила 0,566 пиксела. Конечное разрешение матрицы высот 17,6 см/пикс, а ортофотоплана 8,8 см/пикс.

Таким образом на основе съемок с БПЛА, с помощью стандартных инструментов PhotoScan были созданы различные слои: «ортофотоплан сверху», «матрица высот», «плотное облако точек», трехмерная реалистичная модель.

Весь комплекс материалов куда входили слои, полученные при обработке в цифровой фотограмметрической системе PhotoScan, а также детальная фото и видео съемка клифов, позволил провести детальное изучение морфологических и морфометрических характеристик, таких как: уклоны склонов, площади аккумулятивных и оползневых тел, ширину пляжей, высоту клифов, ширину абразионной ступени, морфологию склонов, пляжей и оползневых тел.

Основываясь на проведенных исследованиях можно сделать вывод, что материалы, полученные при помощи БПЛА, позволяют проводить детальное изучение морфометрических и морфологических характеристик. Повторное проведение полевых исследований с применением БПЛА позволит оценить степень развития происходящих процессов, конкретизировать условия развития, свойственные определенному отрезку морского берега и таким образом, облегчит выработку рекомендаций по хозяйственному использованию побережья или способам берегозащиты.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-05-80082.

СУБМЕЗОМАШТАБНЫЕ И МЕЗОМАШТАБНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПРЕДУСТЬЕВОЙ ЗОНЕ ДУНАЯ

Михайличенко Т.В., Медведева А.В.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
fsbsi.mhi.tamara@yandex.ru*

Ключевые слова: дистанционное зондирование, субмезомасштабные процессы, Дунай, Черное море.

В последние годы активно используются данные высокого пространственного разрешения, особенно находящиеся в свободном доступе. В частности – данные оптических сканеров спутников MSI Sentinel-2 и Landsat-8 OLI/TIRS C1 Level 1 с соответствующим разрешением от 10 и 15–30 м, использование которых позволяет исследовать различные суб- и мезомасштабные процессы. Специфика предустьевой зоны Дуная заключается в наличии большого количества выносимых рекой пресных вод, которые, перемешиваясь с морскими, формируют сложную гидрологическую структуру. В результате в этом районе наблюдается интенсивная генерация внутренних волн и регулярное образование субмезомасштабных вихрей. По оптическим данным высокого разрешения были исследованы поверхностные проявления внутренних волн преимущественно в весенне-летние месяцы за 2017, 2018 и 2019 гг. На основе 25 Landsat-8/OLI и Sentinel-2/MSI получены пространственные характеристики субмезомасштабных и мезомасштабных вихрей, а также проявлений внутренних волн. Отмечено проявление структур, как в изменении коэффициента яркости водной толщи, так и за счет модуляции отраженной компоненты измеряемого излучения. Дополнительно для исследования динамических процессов вблизи дельты Дуная привлекались квазисинхронные оптические снимки (пара спутниковых изображений с фиксацией одного и того же района с временным шагом от первых десятков минут до первых часов), по данным которых выявлялись направление движения внутренних волн и вычислялись скорости их сдвига. Было рассмотрено взаимодействие внутренних волн и вихревых структур, обозначены источники генерации внутренних волн – границы фронтальных зон и мезомасштабные вихри.

Исследование выполнено в рамках госзадания МГИ 0827-2019-0002 и при поддержке проекта РФФИ 19-05-00752.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЦВЕТЕНИЙ КОККОЛИТОФОРИД НА ПОТОК CO₂ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОГО ДАТЧИКА ORBITING CARBON OBSERVATORY-2

Морозов Е.А.¹, Кондрик Д.В.², Чепикова С.С.²

¹МГИ, г. Севастополь, Россия

²Фонд «Нансен-Центр», г. Санкт-Петербург, Россия
frisman@list.ru

Ключевые слова: CO₂, кокколитофориды, Orbiting Carbon Observatory-2, Арктика, спутниковое дистанционное зондирование.

Кокколитофориды являются наиболее активными производителями кальцита в мировом океане. Растворенный углекислый газ атмосферного происхождения взаимодействует с растворенным кальцитом с образованием HCO₃ и Ca. Таким образом, увеличение парциального давления атмосферного CO₂ приводит к изменению соотношения между взвешенным неорганическим и органическим углеродом в морской воде. На основе разработанной ранее методики идентификации цветений *E. huxleyi* был получен временной ряд пространственного распределения цветений в арктическом и субарктическом районах мирового океана за 1998–2018 гг. Случаи цветения *E. huxleyi* за период 2015–2018 гг. были выбраны таким образом, чтобы датчик OCO-2 захватывал и цветение и соседние свободные от цветения участки воды. Выбранные случаи были анализированы для определения количественного влияния областей цветения *E. huxleyi* на значения XCO₂ измеренные датчиком OCO-2.

Средние 8-дневные данные по ветру CCMR (Cross-Calibrated Multi-Platform) являющиеся результатом объединения спутниковых, буйковых и модельных данных были получены с www.rems.com/measurements/ccmr/.

В качестве данных характеризующих содержание CO_2 в атмосфере использовался параметр XCO_2 , осредненная по атмосферному столбу молярная доля двуокиси углерода в сухом воздухе. Данные XCO_2 были получены спутниковым датчиком ОСО-2. Датчик ОСО-2 обзревает всю Землю раз в 16 дней и получает значения XCO_2 с точностью 0,5–1 частей на миллион при значении солнечного зенитного угла до 70° . Размер пикселя на поверхности земли составляет $1,25 \times \sim 2,4$ км.

Маски областей цветения *E. huxleyi* были получены за период 1998–2018 гг. на основе данных цвета воды ОС ССІ (Ocean Color Climate Change Initiative) путем анализа спектра коэффициента яркости водной толщи, $\text{Rrs}(\lambda)$. Методика описана в деталях в [Kondrik et al., 2017, 2019].

Результаты представляют собой 8 детально рассмотренных случаев в Баренцевом, Гренландском и Северном морях и в районе Исландии. Получаемый в результате выработки кальцита в клетках *E. huxleyi*, CO_2 доступен для фотосинтеза, что приводит к уменьшению потребления растворенного в воде атмосферного CO_2 . Таким образом поверхностные морские воды в областях цветения *E. huxleyi* в меньшей степени потребляют CO_2 . Более того, увеличенное таким образом парциальное давление CO_2 в воде может приводить к обнулению потока CO_2 из атмосферы в океан или даже приводить к изменению его направления.

ИЗУЧЕНИЕ ПРИБРЕЖНЫХ ВИХРЕЙ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ СПУТНИКОВ LANDSAT И SENTINEL

Нижниковская О.Ю., Зацепин А.Г.

ИО РАН, г. Москва, Россия
olga0g@yandex.ru

Ключевые слова: морская поверхность, спутниковый мониторинг, прибрежные вихри, Черное море.

Выполнено исследование прибрежных вихрей в северо-восточной части Черного моря, основанное на анализе дистанционных оптических данных высокого разрешения (спутники Landsat и Sentinel), полученных в период с 2013 по 2019 гг.

Установлена широкая распространенность вихрей в исследованной акватории. Идентифицировано более 200 вихрей различного знака с временным периодом жизни менее 2 недель и диаметром менее 20 км. Выполнен анализ количества и продолжительности существования прибрежных вихревых структур, их геометрических характеристик. Выделены районы преимущественного возникновения и исчезновения вихрей, их наиболее частой встречаемости. Найдены характерные траектории и скорости их перемещения, проанализирована изменчивость их различных характеристик как функции «возраста» вихря.

Результаты проведенных исследований показали, что для уточнения закономерностей изменчивости гидрофизических полей под влиянием прибрежных вихрей необходимо совместное использование спутниковых данных и контактных измерений. В этом направлении поставлены задачи дальнейших исследований.

Работа выполнена в рамках темы госбюджета 0149-2019-0004.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ВЫЧИСЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ПОТОКА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОЛЕЙ СКОРОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ МОРСКИХ ТЕЧЕНИЙ, А ТАКЖЕ ДРЕЙФА ЛЕДЯНЫХ ПОКРОВОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕРИЙ СПУТНИКОВЫХ И РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ВЫСОКИМ РАЗРЕШЕНИЕМ

**Плотников Е.В., Медведева А.В., Козлов И.Е.,
Кубряков А.А., Холод А.Л., Алескерова А.А.**

*МГИ, г. Севастополь, Россия
ev.plotnikov@ya.ru*

Ключевые слова: морские поверхностные течения, оптический поток, спутниковое зондирование морских акваторий.

В последние десятилетия методы расчета оптического потока, применяемые к сериям спутниковых изображений, относящихся к морским акваториям, успешно используются для восстановле-

ния полей скорости поверхностных течений, оценки скорости ледяного дрейфа и других океанологических задач. При определенных ограничениях в метеоусловиях и наличии в текстурах изображений выраженных контрастных структур, такой подход в ряде ситуаций эффективнее традиционных контактных измерений или использования спутниковых альтиметрических данных, по которым вычисляется геострофическая компонента скорости.

В представленном докладе кратко описаны алгоритм вариационной ассимиляции изображений и метод максимальной кросс-корреляции, использовавшиеся для расчета оптического потока. Демонстрируются результаты экспериментальных расчетов, относящихся к Черному, Азовскому, Мраморному морям, а также к некоторым регионам Арктики, полученные по последовательностям изображений NOAA AVHRR, MODIS TERRA/AQUA, Sentinel-2, Landsat-8, а также по радиолокационным изображениям. Кроме того, демонстрируются результаты сопоставления с данными, полученными из других независимых источников.

СУТОЧНЫЙ ХОД ТЕМПЕРАТУРЫ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ СКАНЕРА SEVIRI И МОДЕЛИ NEMO И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА СТРАТИФИКАЦИЮ

**Рубакина В.А., Кубряков А.А.,
Станичный С.В., Мизюк А.И.**

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

Ключевые слова: температура поверхности моря, SEVIRI, NEMO, суточный ход температуры, дневной прогрев, стратификация.

В настоящей работе исследован суточный ход температуры в Черном море по данным сканера SEVIRI, установленного на метеорологических спутниках Meteosat Second Generation и модели NEMO. Используемые данные имеют высокое временное раз-

решение – 1 час. Проанализированы суточные, пространственные и сезонные особенности распределения температуры. Выполнено сопоставление температуры поверхностного слоя (ТПМ) по данным сканера и температуры на первом горизонте (1,3 м) по данным NEMO для всего Черноморского бассейна. Более детально рассмотрены несколько районов в глубоководной части бассейна. Выявлен ряд особенностей суточного хода, проанализированы случаи значительного дневного прогрева и выхода жидкости. Отмечена хорошая корреляция сопоставляемых данных.

Также в представленной работе выполнена оценка стратификации вод Черного моря и глубины залегания верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) в различные сезоны года по данным NEMO о полях температуры и солености на различных горизонтах.

Анализ глубины залегания ВКС осуществлялся по двум параметрам – значению потенциальной плотности и по значению частоты Брента – Вайсяля (N). Был выделен суточный ход глубины залегания ВКС для всех сезонов года, который непосредственно связан с суточным ходом температуры. Во все сезоны наблюдается наличие суточного хода глубины залегания ВКС.

При оценке параметра потенциальной плотности было получены следующие результаты. Зимой глубина залегания ВКС ~26–29 м. Минимальная глубина приходится на 14–16 ч. Весной глубина залегания ВКС варьируется от ~23–27 в марте до ~3,5–6 м в мае. Минимальная глубина – в 13–15 ч. Лето: глубина залегания ВКС находится в пределах 3,5–7 м. Минимум приходится на 13–16 часов. Осенью происходит заглубление ВКС. Глубина залегания ВКС изменяется от ~5,5 м (в сентябре) до ~20 м (в ноябре). Минимальная глубина залегания ВКС – в 14–17 ч.

Оценка частоты Брента – Вайсяля показала следующие результаты: в январе-марте устойчивая стратификация отсутствует на всех рассматриваемых горизонтах (0–30 м); в некоторые дни, однако, можно отметить наличие максимумов N в 16:00–17:00 как признака дневного термоклина. В апреле-мае происходит развитие стратификации на горизонтах 5–25 м. Минимальные значения N приходятся на утренние часы – проявление ночной конвекции. В летние месяцы (июнь-август) имеет место устойчивая

стратификация на горизонтах 10–20 м. На горизонтах от поверхности до ~7–10 м значения N наименьшие, минимум – в 5:00–7:00 (ночная конвекция). В сентябре–декабре происходит «опускание» стратифицированных слоев – заглубление ВКС.

Исследование особенностей суточного и сезонного хода, а также пространственного распределения температуры выполнено при поддержке гранта РФФИ 19-05-00752 А. Оценка стратификации вод Черного моря и глубины залегания верхнего квазиоднородного слоя выполнена в рамках государственного задания по теме №0555-2019-0001.

МЕТОД СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ В МОРСКОЙ СРЕДЕ

Рябовая В.О.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
valentina_rb@mail.ru*

Ключевые слова: информационные системы, структурный синтез, мониторинг, анализ, прогноз.

Развитие информационных систем мониторинга процессов и явлений в морской среде, а именно анализ и прогноз ее состояния, всегда представляет собой актуальную задачу по мере того, как изменяется их сложность.

Метод структурного синтеза информационных систем мониторинга процессов и явлений в морской среде позволяет повысить эффективность сбора и анализа данных модельных расчетов Черноморского центра морских прогнозов (ЧЦМП) ФГБУН МГИ, где функционирует автоматическая оперативная система анализа и прогноза состояния Черного моря (<http://bsmfc.net>), провести классификацию требований к системе, с целью определения ее качественных характеристик. Преимущество метода, по

сравнению с существующими – более полный учет данных, минимизация функциональной избыточности элементов системы в составе одного решения по мере наращивания задач.

Функционирование информационной системы мониторинга процессов и явлений в морской среде осуществляется с учетом реализации двух видов требований: к данным (точность, качество) и к самой системе (функции и ресурсы).

Для стандартной реорганизации информационных систем мониторинга процессов и явлений в морской среде проводится анализ данных, синтез, прогноз состояний, их оценка и т. п., что приводит к значительным временным затратам. Использование метода структурного синтеза, а именно реструктуризация информационной системы мониторинга процессов и явлений в морской среде, позволяет значительно (вдвое) сократить время этих мероприятий, интегрировать большие объемы обрабатываемых данных, классифицировать их и интерпретировать смысл интегральных оценок.

В процессе исследований также было выявлено, что при возникновении новых требований (или их корректировке) к данным (достоверность, своевременность и т. д.) и к работе самой системы (быстродействие, надежность, изменение частоты измерений), возможны проблемы оценки моделей системы. Для решения этой задачи применяется критериальный подход. Критериями, участвующими в отборе, являются: достоверность информации, своевременность реализации требований к системе и к данным мониторинга, надежность системы.

Использование метода структурного синтеза информационных систем мониторинга процессов и явлений в морской среде на основе критериального подхода, позволило сократить сроки внедрения и адаптации системы, повысить точность оценок параметров системы (от удовлетворительной до хорошей), своевременно осуществить сбор первичной информации о состоянии морской среды, создать и вести базы данных о состоянии и загрязнении компонентов состояния Мирового океана и Арктического бассейна, проанализировать текущую экологическую обстановку и спрогнозировать динамику ее развития.

Полученные результаты используются для оптимизации сбора и анализа данных в информационных системах экологического

мониторинга Мирового океана и Арктического бассейна, это позволяет повысить такие свойства системы как качество, эффективность и точность полученных данных, а также в создании системы поддержки принятия решений (СППР) по реструктуризации таких систем.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 17-77-30001 «Новые методы и суперкомпьютерные технологии анализа и прогноза Мирового океана и Арктического бассейна».

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ДИСТАНЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ В МОРСКОЙ СРЕДЕ

Рябовая В.О., Холод А.Л.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
valentina_rb@mail.ru*

Ключевые слова: информационные системы, дистанционные исследования, поддержка принятия решений, мониторинг.

Система поддержки принятия решений (СППР) в дистанционных исследованиях – совокупность четко определенных целенаправленных действий для решения поставленных перед системой задач с целью повышения эффективности работоспособности системы и улучшения процесса принятия решений на различных этапах ее функционирования.

Комплекс задач, решаемых с помощью СППР достаточно широк. Основные из них это анализ системы, формирование композиций, улучшение характеристик, комплексная оценка, оперативная помощь решения проблем (например, сбои в работе, которые оказывают непосредственное влияние на качество или номенклатуру продуктов системы).

В Черноморском центре морских прогнозов (ЧЦМП) ФГБУН МГИ функционирует автоматическая оперативная система анализа и прогноза состояния Черного моря (<http://bsmfc.net>).

В состав системы входит два основных модуля: модуль, предназначенный для выполнения морских прогнозов, и модуль, предназначенный для хранения данных и их передачи потребителям в графической и цифровой формах представления данных. Взаимодействие между модулями осуществляется посредством внутренних компьютерных сетей передачи данных, файл-сервера данных и средств сети Internet. В модуль выполнения морских прогнозов входят подсистема ввода и подготовки входных данных, необходимых для выполнения морских прогнозов, три подсистемы диагноза и прогноза состояния морской среды и подсистема валидации результатов диагноза и прогноза физических полей Черного моря.

Безотказное функционирование системы морских прогнозов основано на тщательном проектировании ее структуры и достижения максимально возможного уровня автоматизации ее работы. Однако не всегда удается получить полный объем данных (ошибки при получении, на сервере, и т. д.) и в этом случае, для обеспечения более точного прогноза, их приходится дублировать или вводить «вручную».

Целью создания информационной системы поддержки принятия решений для автоматической оперативной системы анализа и прогноза Черного моря является не только улучшение качества анализа и прогноза данных мониторинга, за счет получения и учета более полной информации, но и помощь оператору (лицу, принимающему решения) системы по выполнению комплекса действий, связанных с отсутствием информации, оперативной ликвидацией последствий аварийных ситуаций, которые могут возникать в процессе функционирования системы.

В основе информационной СППР для автоматической оперативной системы анализа и прогноза состояния Черного моря лежат методы выбора наилучшего варианта решения поставленной перед системой задачи. В частности, это выбор структурно-функционального условия (приоритета) относительно измеряемых параметров (температуры, солености, уровня моря и скоростей течений морской воды).

Таким образом, использование СППР в автоматической оперативной системе анализа и прогноза состояния Черного моря позволяет получить более эффективную информацию, соответствующую пользовательскому запросу.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 17-77-30001 «Новые методы и суперкомпьютерные технологии анализа и прогноза Мирового океана и Арктического бассейна».

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕНОСА ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПРИБРЕЖНЫМИ ТЕЧЕНИЯМИ В РАЙОНЕ МЫСА АЙЯ

Савоськин В.М.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
sv78.vladimir@gmail.com*

Ключевые слова: изучение, перенос, загрязнения, прибрежные течения, мыс Айя.

Актуальность обнаружения загрязнений на поверхности моря и изучение их перемещения под воздействием ветра, течений и волн вдоль берегов Крыма не вызывает сомнения. На них, в свою очередь, оказывает влияние состояние и изменчивость атмосферы, положение солнца и луны, ареография берегов и рельеф дна, вращение Земли и субмаринная разгрузка в гротах и на дне, которая существенно изменяет стратификацию морской воды в рассматриваемом районе.

Для того, чтобы понять, как переносятся загрязнения, необходимо выполнить следующее: изучить влияние нагревания и охлаждения скал на возбуждение бриза в атмосфере над морем; выяснить воздействие, оказываемое местными ветрами на формирование прибрежных течений в рассматриваемом районе; исследовать возбуждение ветровых волн вблизи берега под его действием над морем и прибрежных течений; выяснить причины изменения границ пляжей под воздействием течений и волн.

Помимо видимых глазом на поверхности моря загрязнений, в морской воде могут находиться невидимые, растворенные в ней углеводороды. Причиной их появления, как правило, являются загрязнения, попадающие в воду с судов, моторных катеров и яхт, так и нефтепродукты, выходящие через разломы на морском дне.

Для определения переноса загрязнений прибрежными течениями необходимо систематически измерять следующие гидрофизические параметры: скорость нагревания скал солнцем и их остывание после его захода; скорость ветра над берегом и над поверхностью моря; температуру и соленость воды, а также скорость течения на поверхности моря и в его толще для заданных горизонтов и на различных расстояниях от берега.

Получение регулярных данных натурных измерений на мысе Айя может осуществляться защищенным от осадков автоматическим приборным комплексом, который будет через заданные промежутки времени измерять температуру и влажность воздуха, количество выпавших осадков, скорость ветра, а с помощью веб-камеры может запечатлеваться поверхность моря напротив пляжа мыса Айя.

Возможно применение GPS навигаторов для определения координат объектов (мини дрифтеров и плавсредств) на море, а также для построения треков их перемещения. Это позволит рассчитывать скорости поверхностных и подповерхностных течений. Предполагается оснастить объекты световыми индикаторами разного цвета для наблюдения за ними в темное время суток. Изменение плотности и давления с глубиной может измеряться с помощью часов, используемых для занятий дайвингом.

Для получения других значений гидрофизических величин необходимо использовать: ИК-радиометр для измерения температуры скал, прозрачномер для измерения концентрации взвеси, содержащейся в морской воде, многоканальный сканер для определения наличия растворенного в море углеводорода, кино и фото аппаратура позволит фиксировать трассы объектов, перемещающихся по поверхности моря.

При проведении подобных исследований нет необходимости в использовании больших и средних НИС. Натурные измерения на море можно осуществлять с помощью мини дрифтеров и малых плавсредств. Это позволит существенно уменьшить расходы на проведение научной экспедиции.

**ВАЛИДАЦИЯ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ МОРСКОЙ СРЕДЫ
НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ПОДСПУТНИКОВОМ
КОНТРОЛЬНО-КАЛИБРОВОЧНОМ ПОЛИГОНЕ
В ЦЕЛЯХ ГИДРОФИЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА
ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ЮБК**

Симонова Ю.В.¹, Станичный С.В.², Метик-Диунова В.В.²

¹*МГИ, пгт Кацивели, Крым, Россия*

²*МГИ, г. Севастополь, Россия*

julia.simonova.0502@gmail.com

Ключевые слова: прибрежная зона, мониторинг, гидрофизические параметры, дистанционное зондирование, подспутниковый полигон.

Как известно, прибрежные зоны являются неустойчивой частью окружающей среды. Обычно данные районы характеризуются наибольшей плотностью населения, здесь развиваются морские хозяйственные комплексы, зачастую интенсивно развита рекреационная деятельность. К таким зонам относится и Южный берег Крыма (ЮБК).

Все возрастающая антропогенная нагрузка может существенно увеличивать риск возникновения в прибрежных районах техногенных аварий. Поэтому мониторинг состояния прибрежных зон, как контактными методами, так и дистанционными, очень важен для обеспечения экологической безопасности и рационального природопользования.

Для мониторинга морской среды и контроля ее состояния удобной базой является Черноморский экспериментальный подспутниковый полигон, расположенный в пгт Кацивели (ЭО ФГБУН МГИ РАН).

Целью данной работы является сопоставление и уточнение данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) по основным гидрометеорологическим характеристикам с данными контактных наблюдений на экспериментальном полигоне в Кацивели за 2016–2018 гг.

Произведено сопоставление значений сезонной изменчивости температуры поверхности моря (ТПМ) по данным спутниковых сенсоров в инфракрасном диапазоне (AVHRR NOAA, TIRS Landsat-8) и натурных наблюдений берегового поста Экспериментального отделения. Кроме того, использованы данные термомосы, установленной на океанографической платформе в Кадивели. При этом исследованы характеристики ряда прибрежных апвеллингов, как составляющей части микроклимата прибрежных районов, оказывающей влияние на условия хозяйственной и рекреационной деятельности.

Используя данные спутниковой альтиметрии, продемонстрированы возможности комплексного использования данных дистанционных и контактных наблюдений для анализа сгонно-нагонных явлений в районе ЮБК.

Выявлено, что контактные наблюдения точнее измеряют характеристики процессов и явлений, в зоне сопряжения суши и моря, однако не позволяют получать информацию о пространственных структурах. Комбинирование спутниковых и контактных наблюдений позволяет получать наиболее полную информацию о состоянии морских экосистем.

Работа выполнена в рамках госзадания № 075-00803-19-01.

ВЫДЕЛЕНИЕ СЛУЧАЕВ ВРЕМЕННОГО РАЗВИТИЯ ВОЛНЕНИЯ ИЗ ТРАДИЦИОННЫХ ВОЛНОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Скиба Е.В.¹, Дулов В.А.¹, Кудрявцев В.Н.²

¹*МГИ, г. Севастополь, Россия*

²*РГГМУ, г. Санкт-Петербург, Россия
katerinys87@gmail.com*

Ключевые слова: морские натурные исследования, ветровые волны, анализ волнографических данных, полуэмпирические законы развития волн.

Степенные законы развития ветровых волн начали исследоваться в 70-х годах прошлого века, за это время было найдено достаточно подтверждений, но несмотря на это данные закономерности остаются предметом экспериментальных исследований. Для обоснования данных законов используются изучение изменения пространственно-однородного поля ветровых волн по времени и развитие волн в пространстве (разгон волн от берега). Пространственные законы лучше изучены. Для временных зависимостей гораздо меньше натурных данных, так как редко удастся начать измерения из состояния «покоя». Следовательно, получение новых натурных данных о временных законах ветрового волнения является актуальной задачей

Основная цель данной работы состоит в том, чтобы исследовать эмпирические законы временного развития ветровых волн и установить их связь с пространственным развитием, используя стандартные волнографические данные полученные со стационарной платформы в пгт Кацивели.

Были проанализированы волнографические данные за 2005–2016 гг., которые обрабатывались по стандартной методике и с использованием триплет-анализа. Далее выбирались два вида записей. Первый вид записей, для которых разгон был определен как расстояние от платформы до берега. Второй вид – временная эволюция ветровых волн в открытом море при постоянном ветре, выбирались записи, в которых было повышение энергии волн и уменьшение энергии пика.

Простая параметрическая модель применена к анализу контактных волнографических данных для выделения фрагментов эволюции ветровых волн, отвечающих «чисто» временному развитию. Выделенные данные согласуются с известными немногочисленными экспериментальными данных по временному развитию волн и подчиняются закону временного развития волн в терминах теории слабой турбулентности.

Работа выполнена в рамках государственного задания МГИ РАН № 0827-2019-0003 «Океанологические процессы» и проекта РНФ №17-77-30019 (РГТМУ).

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗГОНА ВЕТРОВЫХ ВОЛН ПО ОПТИЧЕСКИМ СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Скиба Е.В., Кубряков А.А., Дулов В.А.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
katerinys87@gmail.com*

Ключевые слова: ветровое волнение, спутниковые снимки Landsat-8, разгон волн.

Измерения яркости высокочувствительной аппаратуры спутников Landsat дают возможность анализировать характеристики ветровых волн с длинами от 60 м на больших акваториях. В настоящей работе на основе спутниковых оптических снимков высокого разрешения Landsat-8 исследуется трансформация волн под действием их разгона сильными кататических ветрами в Лионском заливе (Мистраль) и перешейка Теуантепек.

С помощью спектрального анализа по спутниковым снимкам на было построено поле длин и направлений ветровых волн с разрешением 1 км при интенсивных ветрах, дующем с берега. линии тока их распространения. Далее анализировалось изменчивость длины волны вдоль линий тока направления движения волн в зависимости от расстояния от берега. Применение этого метода на обширных спутниковых снимках позволило получить большой объем уникальных данных о разгоне волн на расстояниях длиной более 200 км. Вдоль линий тока был проведен анализ частотного спектра. По мере увеличения разгона волн растет уровень спектра (энергия волн), а частота пика спектра уменьшается.

На основе полученных данных получена зависимость безразмерной частоты пика спектра от безразмерного разгона. Рассчитанная зависимость согласуется с теоретической с эксперимента JONSWAP и [Захаров, Заславский, 1983].

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме: № 0555-2019-0001 (Шифр «Перспективные методы») при поддержке проекта РФФИ № 19-05-00752 А.

СРАВНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА-А (СТАНДАРТНОГО ПРОДУКТА MODIS-AQUA) С НАТУРНЫМИ НАБЛЮДЕНИЯМИ В ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ СЕВАСТОПОЛЯ

Скороход Е.Ю.¹, Моисеева Н.А.², Ефимова Т.В.¹,
Землянская Е.А.¹, Суслин В.В.², Чурилова Т.Я.¹

¹ ИнБЮМ, г. Севастополь, Россия

² МГИ, г. Севастополь, Россия

e.skorokhod.sev@gmail.com

Ключевые слова: концентрация хлорофилла-а, стандартный спутниковый продукт, дистанционное зондирование, Черное море.

Существующие возможности дистанционного зондирования позволяют осуществлять оперативный мониторинг водной среды. Одним из весомых параметров при оценке продуктивности вод является концентрация хлорофилла-а (C_a).

Для сравнения C_a создали сводную базу данных, включающую результаты определения концентрации хлорофилла-а со спектрорадиометра MODIS-Aqua (C_{a-ma}) и результаты измерений C_a *in situ* (C_{a-i}) в период с февраля 2009 по март 2019 гг. в прибрежных водах Севастополя. Область спутниковых данных вокруг станции *in situ* измерений находилась в пределах координат $44^{\circ}37'26''\pm 0,015^{\circ}$ с. ш. и $33^{\circ}26'05''\pm 0,009^{\circ}$ в. д.

В ходе сравнения C_a выделили ряд особенностей:

- на протяжении года различия между значениями C_{a-i} и C_{a-ma} , не смотря на сопоставимые относительные погрешности, не были однотипными: летом значения C_{a-ma} были завышены, а весной – существенно занижены. Средняя относительная погрешность измерений составила $\pm 60\%$;

- погрешности измерений весной и осенью превышают погрешности измерений зимой и летом;

- наблюдается хорошая обеспеченность данными на протяжении года, однако весной и летом она в 2,5–3 раза превышает обеспеченность данными осенью и зимой.

- флаг «Возможно наличие облачности или льда» (*Probable cloud or ice contamination – CLDICE*) является наиболее распространенным.

Результаты сравнения показали, что стандартный спутниковый продукт некорректно представляет сезонный ход и, в целом, годовую динамику концентрации хлорофилла-*a*.

Целесообразно произвести аналогичное сравнение для других стандартных спутниковых продуктов.

Исследование выполнено в рамках ГЗ по теме НИР ФГБУН ИМБИ № АААА-А19-119061190081-9 и проекта РФФИ №18-45-920070.

КОММУНАЛЬНЫЕ СТОКИ В АКВАТОРИЯХ ЮЖНОГО И ЗАПАДНОГО КРЫМА – ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПРОЯВЛЕНИЯ В МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

**Станичный С.В., Медведева А.В., Кучейко А.Ю.,
Алескерова А.А., Кубряков А.А.**

*МГИ г. Севастополь, Россия
sstanichny@mail.ru*

Ключевые слова: сточные воды, дистанционное зондирование, многоспектральный подход.

Сточные воды являются одним из основных источников загрязнения прибрежных акваторий. Контроль такого рода загрязнений особенно важен в рекреационных зонах, где может находиться большое количество отдыхающих. Основной целью предлагаемого исследования являлось исследование с помощью спутниковых данных подводных источников вблизи Балаклавы, Севастополя, Ялты и Сак. Решались две основные задачи: анализ проявления сточных вод в многоспектральных данных; изучение характеристик распространения загрязнений.

Для анализа были отобраны данные оптических сканеров OLI, MSI, теплового сканера TIRS и радара SAR C. Проявление сточных

вод было зафиксировано в данных всех сканеров при благоприятных условиях съемки. Показано, что сточные воды могут изменять оптические характеристики поверхностного слоя – увеличивать или уменьшать коэффициент яркости водной толщи или изменять спектральные индексы, изменять отражательные характеристики поверхности за счет пленок ПАВ или локальных динамических процессов. Изменение шероховатости поверхности, вызванное последними двумя факторами, позволяет выделять стоки с данных радаров.

Отличие температуры сточных вод от температуры поверхностного слоя или вызываемые стоками апвеллинги могут регистрироваться тепловыми сканерами. Причем, индикаторы сточных вод могут быть различными в зависимости от фоновых характеристик и внешних воздействий. Представлены типичные зоны распространения стоков для исследуемых районов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-45-920065, часть данных по отражательным характеристикам была получена в рамках гранта РФФИ 19-05-00752.

ВСЕМИРНАЯ ГЛОБАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ ПРОГРАММА «БУДУЩЕЕ ЗЕМЛИ»: РАДИАЦИОННОЕ ПОЛЕ, АТМОСФЕРА, ОКЕАНЫ И МОРЯ

**Сушкевич Т.А., Стрелков С.А., Максакова С.В., Фомин Б.А.,
Козодеров В.В., Пригарин С.М., Страхов П.В., Зимовая А.В.,
Белов В.В., Фалалеева В.А., Николенко А.А., Шурыгин Б.М.,
Кузьмичёв А.С., Колокутин Г.Э., Краснокутская Л.Д.**

*ИПМ РАН, г. Москва, Россия
tamaras@keldysh.ru*

Ключевые слова: Будущее Земли, Всемирная Программа, радиационный форсинг, атмосфера, океаны и моря.

Важнейший проект, не имеющий аналогов по масштабам и значимости для всего человечества в мировой истории, и гло-

бальный вызов «Повестки XXI-го века» – это Всемирная Глобальная Научная ПРОГРАММА «Будущее Земли» (World Global Research Projects «Future Earth» <http://futureearth.org>), фундаментальные основы для реализации которой заложены в XX-м веке благодаря изобретению компьютера и выхода человека в космос при создании «Ракетно-ядерного щита».

В отличие от «Киотского протокола» и других соглашений, которые создавались под диктатом глобалистов и в интересах экономики, формирование ПРОГРАММЫ началось в 2014 г. прогрессивным научным сообществом для координации международных исследований по устойчивому развитию окружающей среды и общества по совместной инициативе Международного совета по науке (ICSU) и Международного научного совета по общественным наукам (после объединения в 2018 году переименованы в «Международный научный совет» (ISC), представляющий 133 страны, 29 международных научных союзов и 24 научные ассоциации) при поддержке крупнейших международных правительственных организаций в сфере науки, образования и культуры: ЮНЕСКО, Программы Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП), Международного университета ООН, Международной метеорологической организации (WMO), Бельмонтским форумом, сетью организаций по устойчивому развитию (SDSP) и др.

В ПРОГРАММУ вошли международные программы по изучению глобальных изменений: Международная геосферно-биосферная программа (IGBP), Международная программа по общественному измерению глобальных изменений (IHDP), Всемирная программа по изучению климата (WCRP), Международная программа по изучению биоразнообразия (Diversitas), Партнерство наук о Системе Земли (ESSP), Глобальный анализ, интеграция и моделирование (GAIM), Синтез и интеграция Системы Земли (AIMES) и др.

В 2018 году к ПРОГРАММЕ присоединилась Россия в лице Российской академии наук: Постановлением Президиума РАН от 27 июня 2018 года № 117 создан Российский национальный Комитет РАН по международной программе «Будущее Земли».

Для количественных оценок значимости разных климатообразующих факторов, зависящих от радиационного поля Земли,

ввели специальную характеристику Климатической системы Земли (КСЗ) – «радиационное воздействие» (форсинг). По экспертным оценкам от 40 до 60% приходится на радиационный форсинг на эволюцию КСЗ и Земли как планеты.

Радиационный форсинг – это изменение притока излучения в глобальной системе Земли под влиянием радиационно-активных факторов: альбедо земной поверхности, влажность, облачность, океаны и моря, снежный и ледовый покров, газовый и аэрозольный состав атмосферы, солнечная постоянная, спектральные характеристики рассеяния и поглощения, оптико-метеорологическая «погода», биофизические, биогеофизические и биогеохимические процессы, круговорот веществ в биосфере и экосистемах, изотропные и анизотропные среды, нефтегазовый комплекс и последствия для окружающей среды.

Главные проблемы сейчас для модельных «сценариев»: детальный учет влажности и гиперспектрального поглощения, образование облаков, накопление тепла в океанах и морях и обмен излучением между атмосферой, океаном и морями.

Работа выполняется при частичной финансовой поддержке РФФИ (код проектов 18-01-00609, 17-01-00220).

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ КОНТРАСТОВ В СЛИКЕ ПО ФОТОГРАФИЯМ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Юровская М.В., Дулов В.А.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
mvkosnik@gmail.com*

Ключевые слова: поверхностные пленки, спектр волн, фотографии морской поверхности.

Спектральные контрасты (отношение спектра чистой поверхности к спектру поверхности, покрытой пленкой) возвышенных/уклонов волн были исследованы на основе анализа архивных

фотографий морской поверхности. Соответствующие эксперименты проходили в 2009–2011 гг. в районе океанографической платформы МГИ в п. Кацивели. Мономолекулярная поверхностная пленка создавалась путем разлива растительного масла с лодки. При попадании пятна в поле зрения фотоаппаратов, расположенных на платформе на высоте 4,5 м над уровнем моря под углом 30 градусов к горизонту, осуществлялась фотосъемка морской поверхности. Съемка также проводилась в течение 10–20 минут до/после прохождения слика для получения спектра чистой поверхности. Одновременно производилась запись датчиков скорости и направления ветра на высоте 21 м и запись возвышений морской поверхности с помощью решетки струнных волнографов. Для анализа было отобрано 5 экспериментальных серий, выполненных при различных условиях волнения.

Анализ автоспектров и взаимных спектров сигналов трех (RGB) каналов фотоаппарата показал, что в зеленом канале обеспечивается максимальное отношение сигнал/шум, а значит, он наиболее пригоден для анализа поля яркости морской поверхности. Спектральные контрасты оценивались в предположении, что передаточная функция от яркости изображения к уклонам морской поверхности одинакова для чистой поверхности и в присутствии пленки, тогда отношение спектров яркости соответствует отношению спектров уклонов/возвышений волн.

Были получены двумерные контрасты спектра в диапазоне длин волн от 1 м до 1 см. Проинтегрированные по углу отношения спектров при скоростях ветра 6–8 м/с соответствуют результатам, полученным ранее другими авторами. Установлено, что при малых скоростях ветра (до 3 м/с) значения спектрального контраста выше, а волны подавляются, начиная с более низких волновых чисел, чем при больших скоростях ветра. Этот эффект также наблюдается в данных волнографа.

Полученные результаты показывают работоспособность методики оценки спектральных контрастов по фотоизображениям морской поверхности и пополняют базу знаний об изменении спектра волн в присутствии поверхностных пленок.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 0827-2018–0003.

МОДЕЛЬ ДОПЛЕРОВСКОГО СДВИГА ЧАСТОТЫ РАДИОЛОКАЦИОННОГО СИГНАЛА, РАССЕЯННОГО МОРЕМ

Юровский Ю.Ю.^{1,2}, Кудрявцев В.Н.^{2,1},
Гродский С.А.³, Шапрон Б.^{4,2}

¹МГИ, г. Севастополь, Россия

²РГГМУ, г. Санкт-Петербург, Россия

³Университет Мэриленда, г. Колледж Парк, США

⁴IFREMER, г. Брест, Франция

yyyurovsky@gmail.com

Ключевые слова: обратное рассеяние, радиолокация, доплеровский сдвиг, течения.

Предлагается модель среднего доплеровского сдвига частоты радиолокационного сигнала, рассеянного морской поверхностью. Под «средним» в данном случае понимается центр тяжести доплеровского спектра (медианное значение) – величина, непосредственно измеряемая радиолокатором с достаточно большим пятном облучения, типичным для съемки с самолета или со спутника. При таких наблюдениях происходит осреднение доплеровских скоростей с весом, пропорциональным радиолокационной яркости рассеивающих элементов, которыми являются участки поверхностных волн различного масштаба. За счет этого, помимо доплеровского сдвига, вызванного течением, возникает дополнительный волновой сдвиг, который может превосходить полезный сигнал в несколько раз. Предлагаемая модель учитывает этот эффект при помощи модуляционной передаточной функции, параметризация которой получена на основе данных натурных наблюдений с океанографической платформы. Показано, что такая параметризация может быть применена в большом диапазоне углов падения, от 0 до 65 градусов. Удобство такого подхода состоит в том, что эмпирическая передаточная функция естественным образом учитывает все участвующие в формировании сигнала механизмы рассеяния (квази-зеркальный, резонансный, об-

рушения волн) и модуляции (геометрический, гидродинамический, аэродинамический) и адекватно воспроизводит их суперпозицию в переходных областях (углы падения 20–30 градусов). Предложенная модель удовлетворительно описывает как используемые в проекте данные натурных наблюдений с океанографической платформы в Черном море, так и наблюдения в других акваториях, опубликованные другими авторами. Входными параметрами модели, помимо геометрии наблюдения, являются скорость ветра и частотный спектр возвышений (его третий момент). Показано, что параметризация третьего момента частотного спектра позволяет существенно упростить практическое применение модели и использовать в качестве входных параметров стандартные метеорологические величины: частоту волн пика и значимую высоту волн. Интересным, подтверждающимся в опыте представляется тот результат, что средний доплеровский сдвиг не зависит от степени развития волнения (время действия ветра, длина разгона волн), а определяется, в первом приближении, лишь скоростью ветра. Это может существенно упростить методы доплеровской скаттерометрии, поскольку в отсутствии зыби (например, в закрытых бассейнах) поправки к измеряемому доплеровскому сдвигу для восстановления скорости течения должны определяться только скоростью ветра. С другой стороны, наличие зыби (типичное для океана) существенно влияет на доплеровские измерения и может быть учтено при помощи предлагаемой модели.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда в рамках проекта 17-77-10052.

ПЕРЕЧЕНЬ ОРГАНИЗАЦИЙ

ААНИИ – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт», г. Санкт-Петербург.

АГУ – автономное самоуправляемое учреждение высшего профессионального образования «Абхазский Государственный Университет», г. Сухум, Республика Абхазия.

АзНИИРХ – Азово-черноморский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», г. Ростов-на-Дону.

АКИН – Акционерное общество «Акустический институт им. академика Н.Н. Андреева», г. Москва.

АО «СПИИРАН-НТБВТ» – Акционерное общество «СПИИРАН – Научно-техническое Бюро Высоких Технологий», г. Санкт-Петербург.

БИП СО РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Байкальский институт природопользования Сибирского отделения Российской академии наук, г. Улан-Удэ.

БФУ – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», г. Калининград.

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.

ВЦ РАН – Вычислительный центр имени А.А. Дородницына Российской академии наук, г. Москва.

ГГО – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова», г. Санкт-Петербург.

Гидрометцентр России – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации», г. Москва.

ГНПО «СФТИ» – Государственное Научно-производственное объединение «Сухумский физико-технический институт», г. Сухум, Республика Абхазия.

ГОИН – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова», г. Москва.

ДВФУ – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный федеральный университет», г. Владивосток.

ИБРАЭ – Федеральное государственное учреждение науки Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук, г. Москва.

ИВМ РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт вычислительной математики Российской академии наук», г. Москва.

ИВМиМГ СО РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск

ИВП РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных проблем Российской академии наук, г. Москва

ИВПС КарНЦ РАН – Институт водных проблем Севера Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр Карельский научный центр Российской академии наук», г. Петрозаводск.

ИГиЛ СО РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук», г. Новосибирск.

ИЗМИРАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт Земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской Академии наук, г. Москва.

ИМГиГ ДВО РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Южно-Сахалинск.

ИМКЭС СО РАН – Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской Академии наук, г. Томск.

ИнБИОМ – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь.

ИНОЗ РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт озероведения Российской академии наук», г. Санкт-Петербург.

ИНЭП ЮФУ – Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет», г. Таганрог.

ИНЭП ЮФУ – Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения ЮФУ, г. Таганрог.

Институт морских и атмосферных исследований Университета г. Утрехта, Нидерланды

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».

ИПМех РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук», г. Москва.

ИПТС – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт природно-технических систем», г. Севастополь.

ИПФ РАН – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук», г. Нижний Новгород.

ИСЗФ СО РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск.

ИТ СО РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск.

ИФА РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук», г. Москва.

ИЭАНА – Институт Экологии Академии Наук Абхазии, г. Сухум, Республика Абхазия.

КГМТУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Керченский государственный морской технологический университет», г. Керчь.

КНЦ РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии наук», г. Апатиты.

Крыловский государственный научный центр – Федеральное государственное унитарное предприятие «Крыловский государственный научный центр», г. Санкт-Петербург.

КФ ГМУ – Филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова», г. Севастополь.

КФУ – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», г. Симферополь.

МАГУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Мурманский арктический государственный университет», г. Мурманск.

МГИ – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН», г. Севастополь.

МГРИ-РГГРУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», г. Москва.

МГУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», г. Москва.

ММБИ КНЦ РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра Российской академии наук», г. Мурманск.

МФТИ – Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)», г. Долгопрудный.

НГИЦ РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научный геоинформационный центр Российской академии наук

НГТУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород.

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.

НИИ ГСГФ – Научно-исследовательский институт гиперкомплексных систем в геометрии и физике.

НИЦ РЭВ и ФИР ВМФ НИИ ОСИС ВМФ ВУНЦ ВМФ «ВМА» – Научно-исследовательский центр радиоэлектронного вооружения и формирования информационных ресурсов Военно-морского флота Научно-исследовательского института оперативно-стратегических исследований строительства Военно-морского флота Военный учебно-научный центр Военно-морского флота «Военно-морская академия имени Николая Герасимовича Кузнецова», г. Санкт-Петербург.

ООО «Параметрика», г. Таганрог.

ПИНРО – Полярный филиал 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.

РГУ нефти и газа (НИУ) – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина», г. Москва.

РНОЦ Логос – Региональный научно-образовательный центр «Логос», г. Ярославль.

РФФИ – Российский фонд фундаментальных исследований, г. Москва.

СГУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение Высшего образования «Сочинский государственный университет», г. Сочи.

Севастопольский ЦГМС – Севастопольский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Крымское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», 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.

СОФАГ ОНЗ РАН – Секция океанологии, физики атмосферы и географии Отделения наук о Земле Российской академии наук.

СПбГУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург.

СПбГЭТУ «ЛЭТИ» – Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), г. Санкт-Петербург.

ТИНРО – Тихоокеанский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, г. Владивосток.

ТОИ ДВО РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук», г. Владивосток.

ТТИ ЮФУ – Таганрогский технологический институт Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет», г. Таганрог.

Университет г. Бергена, г. Берген, Норвегия.

Университет Мэрилэнда, г. Колледж Парк, США.

ФГУ «Азовморинформцентр» – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Информационно-аналитический центр по водопользованию и мониторингу Азовского моря», г. Таганрог.

Филиал МГУ в г. Севастополе – Филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова в г. Севастополе, г. Севастополь.

Филиал АО ЦНИИС «НИЦ «Морские берега» – Филиал Акционерного общества «Научно-исследовательский институт транспортного строительства» «Научно-исследовательский центр «Морские берега», г. Сочи.

ФИЦ ИУ РАН – Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, г. Москва.

Фонд «Нансен-центр» – Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена», г. Санкт-Петербург.

ЦАСД МГУ – ООО «Центр Анализа Сейсмических Данных МГУ им. М.В. Ломоносова», г. Москва.

ЦГиЭ в РК и гфз Севастополе – Федеральное бюджетное учреждение здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Крым и городе федерального значения Севастополе», г. Севастополь.

ЦМИ МГУ – ООО «Центр морских исследований МГУ им. М.В. Ломоносова», г. Москва.

ЦФТПЭС КНЦ РАН – Центр физико-технических проблем энергетики Севера Кольского научного центра РАН, г. Апатиты.

ЮНЦ РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук», г. Ростов-на-Дону.

ЮФУ – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет», г. Ростов-на-Дону.

ENS de Lyon (École normale supérieure de Lyon) – Высшая нормальная школа Лиона, г. Лион, Франция.

IFREMER (Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer) – Институт изучения и освоения моря, г. Брест, Франция.

Israel Oceanographic and Limnological Research, Haifa, Tel-Shikmona, Israel.

LEGI – Laboratoire des Ecoulements Geophysiques et Industriels, Grenoble, France.

198 научно-исследовательский центр МО РФ, г. Севастополь.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Алескерова А.А.	331, 359, 368, 382
Андреев О.М.	148, 167
Андросович А.И.	332
Анисимов А.Е.	149
Апухтина С.П.	282
Артамонов А.Ю.	151, 269
Артамонов Ю.В.	223, 257, 306
Артамонова К.В.	36
Архипкин В.С.	37
Багаев А.В.	52
Базыкина А.Ю.	39, 247
Баранов В.И.	153, 208
Баскакова Т.Е.	47
Батраков Г.Ф.	87
Башмачников И.Л.	40, 181
Баянкина Т.М.	272
Бежин Н.А.	42, 69
Безгин А.А.	193, 232
Белов В.В.	383
Белокопытов В.Н.	154
Белоненко Т.В.	40, 105, 336
Берзова И.Г.	160, 309
Бескоровайный А.С.	156
Беспалова Л.А.	363
Бессонова Е.А.	158
Бобылев Л.П.	181
Богатов Н.А.	81
Богуславский А.С.	160
Бондур В.Г.	338, 339
Боровская Р.В.	341
Будников А.А.	162
Будрин С.С.	28, 30
Букатов А.А.	43

Булатов В.В.	45
Бурдина Е.И.	47
Бурри С.	75
Буфетова М.В.	49
Быков Е.М.	232, 299
Вареник А.В.	51
Варенцов М.И.	151, 269
Васечкина Е.Ф.	163, 165
Веремьев В.И.	128
Вержевская Л.В.	52
Вертерич А.В.	69
Видничук А.В.	54
Виноградов Р.А.	148, 167
Вишневецкий В.Ю.	169, 170
Владимиров Ю.В.	45
Власова Г.А.	172
Воликов М.С.	193, 232
Воробьев В.Е.	338
Воронин А.А.	94
Воскресенская Е.Н.	230, 231, 239, 288
Выдыш А.А.	42
Вязилова Н.А.	56
Гавриков А.В.	269
Гайко Л.А.	174
Гармашов А.В.	176, 177, 354
Гицба Я.В.	179
Гнатюк Н.В.	181
Гневышев В.Г.	336
Годин Е.А.	154
Голенко М.Н.	113
Головизнин В.М.	58
Горбацкий В.В.	128
Горин И.И.	94
Горчаков А.Ю.	58
Григоренко К.С.	61
Григорьев А.В.	62, 329
Григорьев А.Н.	182
Гродский С.А.	387

Гузенко Р.Б.	184, 248, 263
Гуров К.И.	63, 108
Гусев Е.С.	28
Даньшина А.В.	186
Дбар Р.С.	187
Демидов А.Н.	36, 308
Демьшев С.Г.	65, 67, 99, 333
Дианский Н.А.	24
Дивинский Б.В.	98
Довгий И.И.	42, 69, 87
Доксуа Т.	75
Долгих Г.И.	28, 30
Долгих С.Г.	28
Домнин Д.А.	189, 191
Домнина А.Ю.	191
Дорофеев В.Л.	70
Драганов Д.М.	259
Дружинин П.В.	32
Дубина В.А.	117
Дулов В.А.	343, 350, 378, 380, 385
Дыкман В.З.	193, 232, 255
Дымова О.А.	65, 122
Евстигнеев В.П.	195
Евстигнеева Н.А.	67
Егоров П.А.	282
Елкин Д.Н.	71
Ерёмина Е.С.	73, 195, 273
Ермаков С.А.	81
Ерманюк Е.В.	75
Ермолов А.А.	196, 198
Ермошкин А.В.	81
Есипов И.Б.	200
Ефимов В.В.	149, 201
Ефимова Т.В.	381
Ефремов О.И.	203
Жемков Е.И.	205
Жугайло С.С.	83
Жук В.О.	206

Жук Е.В.	52, 154
Забегает И.А.	76
Завьялов Д.Д.	283
Загайный Н.А.	341
Залесный В.Б.	58
Замшин В.В.	338, 344, 345, 346
Зацепин А.Г.	62, 71, 128, 153, 208, 255, 367
Зверев С.А.	158
Зеленько А.А.	125
Землянская Е.А.	381
Зима В.В.	326
Зимовая А.В.	383
Зинченко А.В.	78
Зубкова Е.В.	349
Ибраев Р.А.	130, 344
Иванов А.Ю.	314
Иванов В.А.	52
Иванов В.В.	34, 210
Иванов И.И.	128
Иванова И.Н.	162
Иванча Е.В.	247
Иванчик М.В.	119, 132
Ивахов В.М.	78
Игнатов Е.И.	196
Игумнова Е.М.	156, 292
Илюшин Д.Г.	196, 198
Ингерев А.В.	154
Инюшина Н.В.	205
Ионов В.В.	212
Исаченко И.А.	214
Казаков С.И.	160, 243
Калинская Д.В.	51
Калинюк И.В.	80
Капустин И.А.	81
Карнаухов А.А.	117
Кароль И.Л.	78
Кауркин М.Н.	130, 344
Кизяков А.И.	196, 198

Килесо А.В.	227
Кириченко И.А.	215
Киселев А.А.	78
Клещенков А.В.	138
Кныш В.В.	92
Коваленко В.В.	128, 333
Козелков А.С.	88
Козлов И.Е.	348, 349, 368
Козловская О.Н.	69
Козодеров В.В.	383
Кокарев С.С.	82
Колесник Д.А.	169
Колокутин Г.Э.	383
Кондратьев С.И.	54
Кондрашов А.А.	113
Кондрик Д.В.	366
Коновалов Б.В.	314
Коновалов С.К.	255
Коптев А.А.	158
Корж А.О.	113
Кориненко А.Е.	350
Коровушкин А.И.	177
Коротаев Г.К.	92, 255
Корчемкина Е.Н.	351
Коршенко А.Н.	83
Котельянец Е.А.	85
Кочергин А.Т.	341
Краевская Н.Ю.	322
Краснокутская Л.Д.	383
Кременецкий В.В.	208
Кременчуцкий Д.А.	69, 87
Крыленко В.В.	217
Крыленко М.В.	217
Крыленко С.В.	219
Крылов А.А.	290
Кубряков А.А.	331, 336, 353, 354, 356, 359, 368, 369, 380, 382
Кубряков А.И.	62, 132, 255, 329
Кубрякова Е.А.	356

Кудинов О.Б.	223
Кудрявцев В.Н.	350, 378, 387
Кудряшов П.Д.	344
Кузнецов А.С.	221, 326
Кузьмичев А.С.	383
Кузьмичёва Т.Ф.	358
Куйбин П.А.	40
Куклев С.Б.	128, 153, 208
Куринная Ю.С.	63
Куркин А.А.	88
Куркина О.Е.	88
Кутузов В.М.	128
Кучейко А.Ю.	382
Лазоренко Д.И.	98
Ландер М.Р.	113
Ластовенко О.Р.	90
Латушкин А.А.	223
Лебедев Н.Е.	272
Лемешко Е.Е.	115, 160
Лемешко Е.М.	255
Линченко Е.В.	162
Липатов М.А.	225
Лисецкий И.В.	232
Лисютин В.А.	90
Литвиненко С.Р.	193
Лишаев П.Н.	92
Лобанов В.Б.	94
Лобовиков П.В.	88
Лобчук О.И.	214, 227, 228
Лубков А.С.	230, 231, 239
Лукиных А.И.	219
Лунев Е.Г.	232, 255, 299
Лушников В.А.	137
Львова М.В.	149
Люшвин П.В.	96, 97
Маас Л.	75
Магаева А.А.	233
Май Р.И.	225, 248, 263, 303

Майборода С.А.	243
Майоров Павел А.	58
Майоров Петр А.	58
Макаров К.Н.	235, 295
Максакова С.В.	383
Малахова В.В.	237
Малахова Т.В.	162
Маленко Ж.В.	80
Малиновский В.В.	350
Манилюк Ю.В.	98
Маньковская Е.В.	238, 252, 253, 351
Маньковский В.И.	238
Маркова Н.В.	99, 122
Марколия А.И.	187
Мартынов М.В.	205
Марченко С.С.	172
Марчукова О.В.	239
Матросова Е.Р.	345
Машура В.В.	153
Медведев Е.В.	76
Медведева А.В.	52, 331, 359, 365, 368, 382
Мезенцева И.В.	274
Мельникова Е.Б.	241
Меншуткин В.В.	32
Метик-Диунова В.В.	243, 377
Мизюк А.И.	369
Миклашевская Н.А.	65
Миловский Г.А.	361
Минин В.А.	245
Миронюк С.Г.	101
Мисиров С.А.	363
Михайличенко С.Ю.	247
Михайличенко Т.В.	348, 365
Михайлова Э.Н.	111, 112
Михайлюкова П.Г.	198
Моисеева Н.А.	381
Молодыхина С.В.	248
Мольков А.А.	81

Мороз В.В.	250
Морозов А.Н.	252, 253
Морозов Е.А.	366
Мотыжев С.В.	232, 255, 299
Мурынин А.Б.	339
Мысленков С.А.	128
Мыслина М.А.	51
Набатов В.Н.	113
Навроцкий В.В.	94
Нижниковская О.Ю.	367
Николенко А.А.	383
Никольский Н.В.	257
Новиков М.А.	259, 311
Новоселова Е.В.	105
Носова А.В.	123
Овсяный Е.И.	108
Орехова Н.А.	106, 108
Орлова Е.Ю.	167
Островский А.Г.	208, 255
Очередник В.В.	153
Павлов Д.Г.	110
Павлова Е.А.	263
Павлова Е.П.	94
Павлушин А.А.	111, 112
Пака В.Т.	113
Панов Б.Н.	265, 287
Парамонова Н.Н.	78
Пашкин А.Д.	151
Петренко Н.В.	90
Петров В.А.	267
Петухов В.И.	158
Пийе Г.	75
Пластун Т.В.	52
Плотников Е.В.	348, 359, 368
Подуфалов А.П.	113
Полищук В.Ю.	78
Полозок А.А.	115
Пономарев В.И.	117

Попов В.Б.	149
Попов О.Е.	200
Попович В.В.	182
Попружный В.М.	170
Привалов В.И.	78
Пригарин С.М.	383
Радченко Ю.В.	181
Ратнер Ю.Б.	119, 132
Репина И.А.	151, 269
Реснянский Ю.Д.	125
Рубакина В.А.	369
Рувинская Е.А.	88
Рудых Н.И.	172
Рябовая В.О.	371, 373
Рябушко В.И.	255
Савоськин В.М.	375
Санников В.Ф.	120
Свищев С.В.	156, 270, 292
Свищева И.А.	52
Семенец Е.С.	78
Семенов Е.В.	58
Семенов Е.К.	280
Семкин П.Ю.	94
Сендеров М.В.	122
Сергеев А.Ф.	94
Сибгатуллин И.Н.	75
Сизов А.А.	272
Сизов И.И.	187
Симонова Ю.В.	243, 377
Скиба Е.В.	378, 380
Скороход Е.Ю.	381
Скрипалева Е.А.	223, 257, 306
Скутин А.А.	148
Слепчук К.А.	274
Слепышев А.А.	123
Смирнов С.С.	341
Смирнова О.В.	182
Смоляницкий В.М.	263

Совга Е.Е.	273, 274, 276, 278
Соколихина Н.Н.	280
Соколов В.А.	282
Солдатов Г.В.	200
Соловьев А.В.	58
Соловьев Д.М.	314
Соломаха Т.А.	283
Сорокин А.Н.	285
Сорокина В.В.	138
Спиридонова Е.О.	265, 287
Станичный С.В.	331, 353, 354, 356, 359, 369, 377, 382
Старченко И.Б.	169, 170, 215
Стельмах Л.В.	324
Степаненко В.М.	151, 269
Степанова О.А.	324
Стефанович А.А.	288
Страхов П.В.	383
Стрелков С.А.	383
Строчан Т.П.	179
Струков Б.С.	125
Стурова И.В.	126
Суркова Г.В.	290
Суслин В.В.	381
Сухих Л.И.	70
Сушкевич Т.А.	383
Сюлинь С.	75
Талалушкина Л.В.	88
Таровик О.В.	263
Телегин В.А.	128
Теличко А.С.	158
Терлеева Н.В.	314
Тимченко И.Е.	156, 270, 292
Тихонова Е.А.	108
Ткачева Л.А.	126
Тлявлин Р.М.	295, 297
Тлявлиня Г.В.	295, 297
Товарчий Я.Ю.	69
Толокнов Ю.Н.	177

Толстошеев А.П.	232, 255, 299
Тузов Ф.К.	301
Тюгалева А.И.	303
Уба А.В.	305
Ушаков К.В.	130
Файман П.А.	117
Фалалеева В.А.	383
Федирко А.В.	223, 306
Федотова А.А.	308
Фер И.	349
Филатов Н.Н.	32
Филиппова Т.А.	163, 165
Фильчук К.В.	34
Флёр Я.-Б.	144
Фомин Б.А.	383
Фомин В.В.	39, 98, 119
Фролов И.Е.	34
Фролова А.В.	336
Фукс В.Р.	225
Хамицевич Н.В.	309
Харитонов В.В.	184
Харламова М.Н.	311
Хартиев С.М.	61
Харченко В.Д.	345
Хлебников Д.В.	314
Хмара Т.В.	73, 274, 276, 278
Ходаева В.Н.	345, 346
Холод А.Л.	119, 132, 368, 373
Хоружий Д.С.	51, 133
Хотченков С.В.	184
Цыбулевская М.В.	315
Чайкин Д.Ю.	69
Чашечкин Ю.Д.	135
Чепикова С.С.	366
Чехов В.Н.	137
Чикин А.Л.	138
Чикина Л.Г.	138
Чубаренко Б.В.	189

Чубаренко И.П.	214, 228
Чупин В.А.	28, 30
Чурилова Т.Я.	381
Чухарев А.М.	151, 203, 318
Шапиро Н.Б.	111, 112
Шапрон Б.	387
Шатилина Т.А.	250
Шевердяев И.В.	320
Шевцова О.В.	140
Шелушинин Ю.А.	142
Шибецкая Ю.Г.	69
Шкорба С.П.	117
Шлык Н.В.	94
Шлюпиков В.А.	344
Шмакова Н.Д.	144
Шокуров М.В.	322, 354
Шоларь С.А.	324
Шомина О.В.	81
Шульга Т.Я.	52
Шурыгин Б.М.	383
Шутов С.А.	306
Щербаченко С.В.	326
Щербинин П.Е.	94
Щодро А.Е.	285, 327
Щука С.А.	329
Щуров С.В.	255
Юлин А.В.	263
Юркевич Н.Ю.	193
Юровская М.В.	385
Юровский Ю.Ю.	343, 387
Яицкая Н.А.	145
Янковская В.С.	42
Ярославцев Н.А.	267
Ярошенко А.А.	90
Ярошенко А.А.	80

Работы сотрудников ФГБУН МГИ, представленные на конференции, полностью или частично выполнены в рамках тем государственного задания на 2018–2020 гг. № 0827-2019-0001, № 0827-2019-0002, № 0827-2019-0003, № 0827-2019-0004.

Тезисы докладов научной конференции
«Моря России: фундаментальные и прикладные исследования»

Подписано к печати 15 августа 2019 г.
Формат 60 84 1/6.

Отпечатано СРОО «Дом солнца»,
ул. Хрусталева, 143, тел. 8692 656011.
Заказ 43, тираж 250.